

Vergleich der Orientierungsverfahren für Weltraumaufnahmen

KARSTEN JACOBSEN

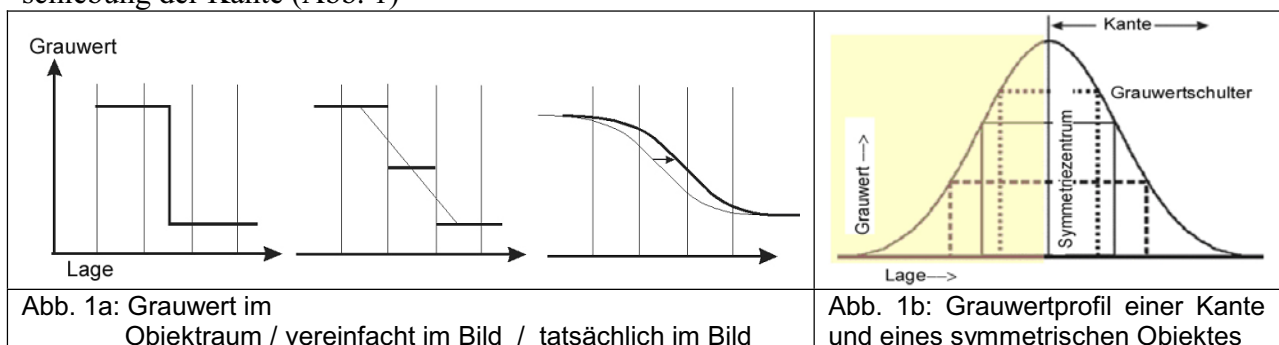
Zusammenfassung: Die Orientierung von Weltraumaufnahmen kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Im praktischen Einsatz sind die Bias korrigierten, Sensor bezogenen rationalen Polynomkoeffizienten (RPC), geometrische Rekonstruktionen der Aufnahmesituation, 3D-Affintransformationen, die direkte lineare Transformation (DLT) und die auf Passpunkten basierenden rationalen Polynomkoeffizienten. Nur die ersten beiden Methoden erlauben die Nutzung der direkten Sensororientierung. Die 3D-Affintransformation versucht die Orientierung ohne Nutzung vorhandener Orientierungsinformationen mit 8 Unbekannten, die DLT mit 11 Unbekannten und die auf Passpunkten basierenden RPC's mit einer variablen Anzahl von Unbekannten zu lösen. Dementsprechend erfordern sie eine Anzahl von dreidimensional gut verteilten Passpunkten.

1 Einführung

Moderne Erderkundungssatelliten sind mit schnell rotierenden Kreiselssystemen für alle drei Achsen ausgestattet. Werden die Kreisel abgebremst oder beschleunigt, so wirkt es sich als Drehmoment auf den Satelliten aus, der sich entsprechend dreht. Auf diese Weise können die Satelliten ihre Ausrichtung schnell und präzise, auch während der Aufnahme, ändern. Damit können die traditionellen mathematischen Modelle, die von einer konstanten Aufnahme- richtung des Satelliten in Bezug auf die Umlaufbahn ausgehen, nicht ohne Änderung übernommen werden. Moderne Satelliten können mittels eines Positioniersystems und präziser Winkelbestimmung die Aufnahme- richtung sehr genau bestimmen, so dass die aufgenommenen Objekte ohne Passpunkte mit einer Genauigkeit von bis zu $\pm 4\text{m}$ lokalisiert werden können. Für eine Genauigkeitssteigerung und eine unabhängige Kontrolle sind Passpunkte erforderlich. Die Anzahl und Verteilung der Passpunkte ist vom gewählten Orientierungsverfahren abhängig.

2 Passpunkte

Das Genauigkeitspotenzial optischer Weltraumaufnahmesysteme liegt im Sub-Pixelbereich, dieses lässt sich nur mit gut definierten Passpunkten erreichen. Plötzliche Änderungen des Grauwertes im Objektraum werden im Bildraum abgeschwächt und es kommt zu einer Verschiebung der Kante (Abb. 1)

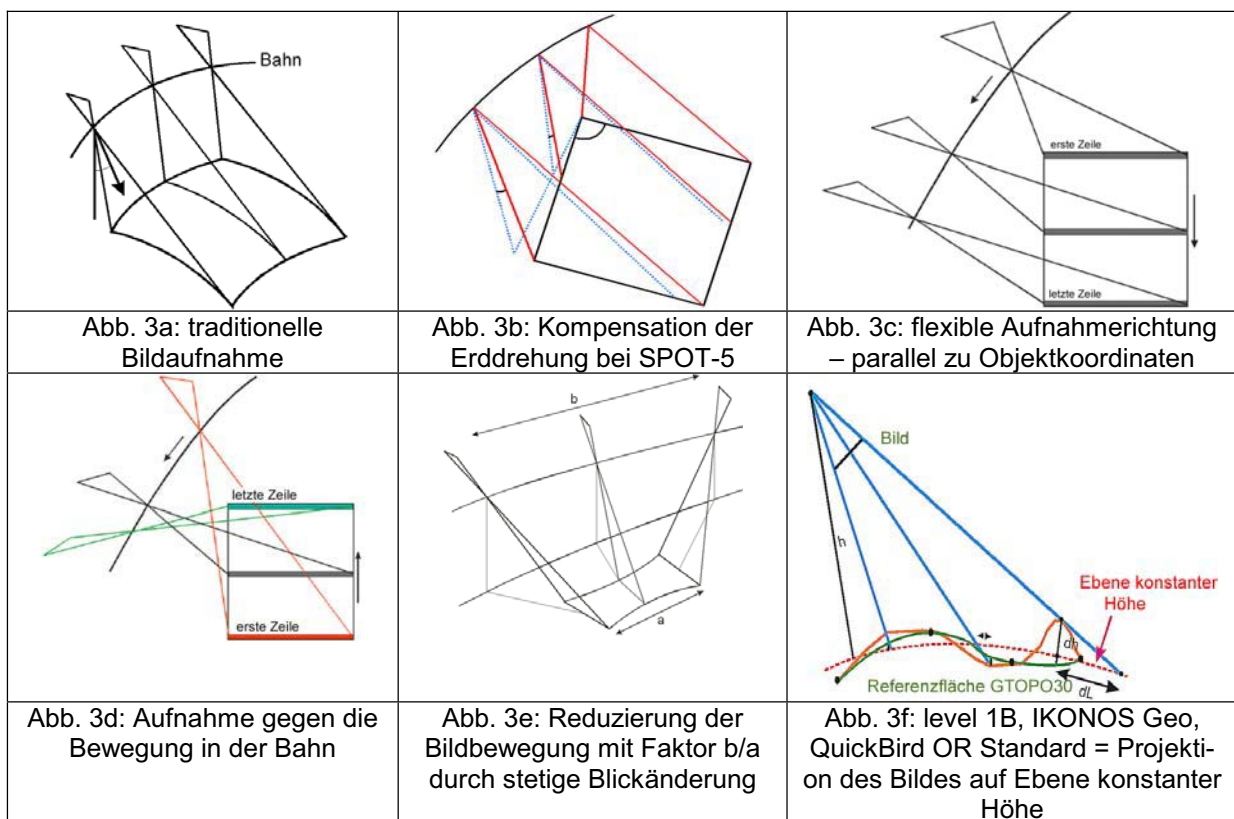


Die Kantenverschiebung, die auch in analogen Bildern auftritt, wird durch das CCD, Lichtstreuung in der Atmosphäre aber auch durch Grauwertmanipulationen zur Bildverbesserung

hervorgehoben. Werden symmetrische Objekte als Passpunkte verwendet, kommt es zu keiner Verschiebung des Zentrums (Abb. 1b und 2c), für hohe Genauigkeiten sollten deswegen symmetrische Objekte als Passpunkte verwendet werden.



3 Bildgeometrie und Bildprodukte



Die traditionellen CCD-Sensoren wie SPOT 1-4, ASTER, IRS-1C/1D, KOMPSAT-1 und der HRS-Sensor von SPOT-5 ändern ihre Aufnahmerichtung während der Aufnahme gegenüber der Umlaufbahn nicht (Abb. 3a). Der HRG-Sensor von SPOT-5 ändert die Aufnahmerichtung kontinuierlich um die Auswirkung der Erddrehung auf erfasste Fläche zu kompensieren (Abb. 3b). Die modernen, flexiblen Aufnahmesysteme wie IKONOS, QuickBird, OrbView, EROS-A1, TES, Cartosat-1 und Formosat-2 ändern ihre Aufnahmerichtung kontinuierlich in jede gewünschte Richtung, damit kann zum Beispiel IKONOS das Bild auch gegen die Bewegung in der Bahn aufnehmen (Abb. 3d). EROS-A1 und TES haben keine TDI-Sensoren und können damit die vom Objekt reflektierte Energie nicht über mehrere Bildelemente auf-

summieren, aus diesem Grund müssen sie die Vorwärtsbewegung des Bildes durch eine kontinuierliche Änderung der Aufnahme­richtung verlangsamen (Abb. 3e). Dieses ist auch bei QuickBird trotz des TDI-Sensors erforderlich, da QuickBird ursprünglich für eine Objektpixelgröße von 1m konzipiert war und erst später durch Reduzierung der Aufnahme­höhe von 680km auf 450km die Objektpixelgröße auf 62cm verkleinert wurde. Die Aufnahme­rate konnte von 6900 Zeilen/sec nicht mehr verändert werden. Die Aufnahme­rate multipliziert mit der Objektpixelgröße führt zu einer Geschwindigkeit von 4,28 km/sec ($6900/\text{sec} * 0.62\text{m} = 4280\text{m}/\text{sec}$), das ist deutlich langsamer als die Satellitengeschwindigkeit bezogen auf die Erdoberfläche, damit muss QuickBird die Bildvorwärtsbewegung durch eine Änderung der Aufnahme­richtung um den Faktor von etwa $b/a = 1,6$ verlangsamen. EROS A1 und TES benutzen ein Verhältnis von $b/a = 5$ bis 7.

Die level 1A Bilder (SPOT, IRS, KOMPSAT, ASTER) oder QuickBird Basic stellen Originalbilder dar, die allerdings bei den meisten Sensoren aus Teilbildern zusammengesetzt sind. Die innere Orientierung ist hier bereits berücksichtigt. Für IKONOS sind diese Bilder nicht verfügbar, sondern nur das level 1B-Produkt (SPOT, IRS, KOMPSAT, ASTER), das bei IKONOS als Geo und bei QuickBird als OR Standard bezeichnet wird. QuickBird wird außerdem als Standard vertrieben, dieses stellt eine Projektion auf das grobe Höhenmodell GTO-PO30 dar.

4 Mathematische Modelle

4.1 Originalbilder

Die Handhabung der Originalbilder ist seit SPOT 1 bekannt. In dem hannoverschen Programm BLASPO wird die Bildgeometrie mittels der Blickrichtung und der Standardumlaufbahn rekonstruiert. Zusätzlich werden 6 Orientierungsunbekannte, die sich wegen der Bildgeometrie aber von den Standardparametern unterscheiden, bestimmt. So sind mindestens 3 Passpunkte erforderlich. Nur Bilder mit sehr ungenauer Angabe der Blickrichtung müssen vollständig orientiert werden, wozu 4 Passpunkte erforderlich sind, die deutlich unterschiedliche Höhen haben müssen. Andere Orientierungsverfahren, wie die 3D-Affintransformation (siehe 4.2.3) und die direkte lineare Transformation (DLT) (siehe 4.2.4) nutzen die vorhandenen Orientierungsinformationen nicht und sind deswegen grundsätzlich auf eine größere, dreidimensional gut verteilte Anzahl von Passpunkten angewiesen.

Die 3D-Affintransformation und die DLT-Methode sind Näherungsverfahren, die die Abbildungsgeometrie nicht genau repräsentieren. CCD-Zeilensensoraufnahmen aus dem Weltraum haben in der Zeilenrichtung eine perspektive Geometrie, bezogen auf ein Landeskoordinatensystem besteht in der Bahnrichtung genähert eine Parallelprojektion. Die 3D-Affintransformation basiert auf einer Parallelprojektion in beiden Richtungen, kann allerdings durch Korrekturkomponenten an die tatsächliche Geometrie angepasst werden (HANLEY u.a. 2003). Die DLT-Methode setzt eine Zentralprojektion voraus. Beide Verfahren können die Verringerung der Bildbewegung durch kontinuierliche Änderung der Aufnahme­richtung (Abb. 3e) nicht berücksichtigen, außerdem reagieren sie sehr empfindlich auf eine nicht ausreichende Höhenverteilung der Passpunkte.

	SX / SY [m]	Sx' / Sy' [Objektpixel]
<i>TK 350, Zonguldak</i>	8.3	(0,8)
<i>KVR 1000, level 1A, Duisburg</i>	3,3	(1.6)
<i>KFA 3000, Wien</i>	2.5	(2.0)
ASTER, Zonguldak	10.8	0.7
KOMPSAT-1, Zonguldak	8.5	1.3
SPOT, level 1A, Hannover.	4.6	0.5
SPOT 5, level 1A , Zonguldak	5,1	1,0
SPOT HRS, Bayern	6.1	0.7 / 1.1
IRS-1C, level 1A, Hannover	5.1	0.9
QuickBird Basic, Atlantic City	0.60	1.0
Tabelle 1: Orientierungsgenauigkeit unterschiedlicher Weltraumaufnahmen – Originalbilder		

Tabelle 1 zeigt die mit dem Programm BLASPO erreichte Orientierungsgenauigkeit verschiedener Originalbilder. Allgemein kann mit guten Passpunkten eine Subpixelgenauigkeit erreicht werden. In allen Fällen, in denen das nicht der Fall war, konnten die Passpunkte nicht gut identifiziert werden oder hatten eine eingeschränkte Genauigkeit. Das QuickBird-Bild von Atlantic City wurde auch mit der 3D-Affintransformation und der DLT orientiert, womit lediglich im Quadratmittel 10,8m bzw. 8,4m erreicht wurden. Die hauptsächliche Ursache war nicht das genäherte mathematische Modell, sondern das flache Gebiet. Alle statistischen Tests in dem benutzten Hannoverschen Programm TRAN3D zeigten selbst bei 174 flächig gut verteilten Passpunkten numerische Probleme an. Im Bereich von Phoenix wurde mit größeren Höhenunterschieden 1,7m bzw. 1,1m erreicht. Das ist im Verhältnis zur geometrisch richtig behandelten Orientierung noch kein gutes Ergebnis (PASSINI u.a. 2004). Auch die Orientierung von SPOT und SPOT HRS-Aufnahmen ergab mit der 3D-Affintransformation und der DLT um 50% bis 100% größere Standardabweichung als mit dem richtigen geometrischen Modell.

4.2 Level 1B-Bilder

Heute werden häufiger level 1B-Bilder (auf eine Ebene konstanter Höhe projizierte Bilder) als Originalbilder gekauft und verarbeitet. Von IKONOS werden Originalbilder auch nicht vertrieben. Ihre Geometrie muss mit einem anderen mathematischen Modell gelöst werden. Früher wurde teilweise aus den level 1B-Bildern die Geometrie von level 1A Bildern (Originalbilder) rekonstruiert und die Orientierung so berechnet. Das ist jedoch nicht erforderlich und hat meistens auch zu größeren Abweichungen geführt. Für die Orientierung werden teilweise strenge, aber auch Näherungslösungen eingesetzt.

4.2.1 Rationale Polynomkoeffizienten

Die geometrische Beziehung zwischen Bild- und Objektkoordinaten kann durch das Verhältnis von Polynomen genähert beschrieben werden (Formel 1) (GRODECKI 2001). Die Polynomkoeffizienten können aus einem strengen geometrischen Modell oder mittels Passpunkte abgeleitet werden. Von den Satellitenbetreibern werden die rationalen Polynomkoeffizienten (RPC) aus der direkten Sensororientierung abgeleitet (Sensor bezogene RPC). Da diese nur noch geringfügig durch Passpunkte verbessert werden müssen, können sie mit wenigen Passpunkten die Orientierung rekonstruieren.

$x_{ij} = \frac{Pi1(X,Y,Z)_j}{Pi2(X,Y,Z)_j}$	$y_{ij} = \frac{Pi3(X,Y,Z)_j}{Pi4(X,Y,Z)_j}$	$Pn(X,Y,Z)_j = a_1 + a_2*Y + a_3*X + a_4*Z + a_5*Y*X + a_6*Y*Z + a_7*X*Z + a_8*Y^2 + a_9*X^2 + a_{10}*Z^2 + a_{11}*Y*X*Z + a_{12}*Y^3 + a_{13}*Y*X^2 + a_{14}*Y*Z^2 + a_{15}*Y^2*X + a_{16}*X^3 + a_{17}*X*Z^2 + a_{18}*Y^2*Z + a_{19}*X^2*Z + a_{20}*Z^3$
Formel 1: Rationale Polynomkoeffizienten x _{ij} , y _{ij} = Bildkoordinaten X, Y = geographische Koordinaten		

Mit den 80 Polynomkoeffizienten kann die Geometrie einer Satellitenszene ohne Genauigkeitsverluste rekonstruiert werden. Lediglich bei großen Stereoszenen oder längeren Bildstreifen können ab 50km Szenenlänge merkbare Genauigkeitsverluste eintreten.

Aus Passpunkten können wegen hoher Korrelationen keine 80 Koeffizienten berechnet werden, deswegen beschränken sich die durch Passpunkte bestimmten RPC (terrain dependent RPC) auf wenige Koeffizienten. Diese auch in kommerziellen Programmen enthaltene Orientierungsmethode reagiert äußerst empfindlich auf dreidimensional schlecht verteilte Passpunkte und Extrapolationen und sollte deswegen auf keinen Fall verwendet werden.

4.2.2 Rekonstruktion der Bildgeometrie

Für die Szenenmitte oder die Mitte der ersten Zeile wird die Blickrichtung zum Satelliten in den Header-Daten, die zusammen mit den Bildern ausgeliefert werden, angegeben. Im Falle von IKONOS heißen sie „nominal collection azimuth“ und „nominal collection elevation“. Die Satellitenbahn, deren allgemeine Parameter publiziert sind, kann so verschoben werden, dass sie die Blickrichtung schneidet, womit die aktuelle Satellitenbahn rekonstruiert ist. Aus der Szenenkomponente in Bahnrichtung kann die Strecke in der Bahn berechnet werden, wobei auch die Änderung der Blickrichtung zur Verringerung der Bildbewegung und eine Aufnahme gegen die Bahnbewegung (Abb. 3e und Abb. 3d) zu berücksichtigen ist. Damit ist die Lage des Projektionszentrums für jeden Bildpunkt bekannt. Wie die Sensor bezogenen RPC kann dieses Verfahren auch ohne Passpunkte arbeiten, wenn die direkte Sensororientierung für das jeweilige Projekt ausreichend genau ist.

4.2.3 3D-Affintransformation

Die 3D-Affintransformation benutzt keine der gegebenen Orientierungsinformationen sondern rekonstruiert die Aufnahmegeometrie genähert über Passpunkte. Die 8 Unbekannten erfordern mindestens 4 dreidimensional gut verteilte Passpunkte. Die berechneten Koeffizienten sollten statistisch überprüft werden, mindestens die Korrelation zwischen den Unbekannten ist erforderlich da sie auf numerische Probleme, verursacht durch eine schlechte Höhenverteilung hinweist. Ein einfacher Student-Test ist nicht ausreichend.

$$x_{ij} = a_1 + a_2 * X + a_3 * Y + a_4 * Z \quad y_{ij} = a_5 + a_6 * X + a_7 * Y + a_8 * Z$$

Formel 2: 3D-Affintransformation

4.2.4 Direkte Lineare Transformation (DLT)

Auch die DLT berücksichtigt keine gegebene Orientierungsinformation. Sie rekonstruiert die Geometrie einer zentralperspektiven Aufnahme einschließlich der inneren Orientierung über Passpunkte. Das sehr schmale Aufnahmebündel, das auch nur in einer Richtung zentralperspektiv ist, erlaubt in der Regel nicht die Rekonstruktion der inneren und äußeren Orientie-

zung, weswegen die Bestimmung der 11 Unbekannten noch problematischer als die der 8 Unbekannten der 3D-Affintransformation ist.

$$x_{ij} = \frac{L1 * X + L2 * Y + L3 * Z + L4}{L9 * X + L10 * Y + L11 * Z + 1} \quad y_{ij} = \frac{L5 * X + L6 * Y + L7 * Z + L8}{L9 * X + L10 * Y + L11 * Z + 1} \quad \text{Formel 3: DLT}$$

5 Empirischer Vergleich der Orientierungsmethoden

Die verschiedenen Orientierungsverfahren wurden mit IKONOS- und QuickBird-Aufnahmen im Bereich des Testgebietes Zonguldak, Türkei verglichen. Mit einer ausreichenden Anzahl von durch GPS vermessenen Passpunkten war mit dem richtigen Orientierungsverfahren eine Subpixelgenauigkeit möglich.

Die Passpunkt bezogenen RPC wurden nach einem sehr negativ ausgefallenen Test nicht weiter untersucht. Mit einem kommerziellen Programm wurde die Orientierung einer IKONOS-Szene mit einer nicht optimalen, aber für manche Fälle noch akzeptablen Passpunktverteilung berechnet. Die Widersprüche an den benutzten 8 Passpunkten lagen im Subpixelbereich und das Programm zeigte keinen Hinweis auf geometrische Probleme. Trotzdem traten an unabhängigen Vergleichspunkten innerhalb des Passpunktbereichs bis zu 50m Abweichungen auf, außerhalb des Passpunktbereichs wurden sogar bis zu 300m erreicht. Diese Methode sollte deswegen auf keinen Fall verwendet werden.

Die Orientierung mit Sensor bezogenen RPC und der geometrischen Rekonstruktion erfolgt in 2 Schritten. Im ersten Schritt wird mit der gegebenen Orientierung eine Lagekorrektur auf Grund der aktuellen Punkthöhe auf die Referenzebene durchgeführt. Die so ermittelte Lage ist durch die absolute Genauigkeit der direkten Satellitenorientierung begrenzt. In der Praxis bereitet das Datum der Landeskoordinatensysteme mehr Probleme als die Genauigkeit der Sensororientierung, weswegen Passpunkte erforderlich sind (DIAL u.a. 2002). Die Transformation von der Referenzebene auf die Passpunkte kann im einfachsten Fall durch eine einfache Verschiebung, aber auch durch eine ebene Affintransformation oder auch noch mit weiteren Unbekannten erfolgen. Bei IKONOS-Aufnahmen führte eine einfache Verschiebung bei wenigen Passpunkten zu besseren Ergebnissen an unabhängigen Vergleichspunkten als eine Affintransformation. Wurde eine größere Anzahl von Passpunkten verwendet, unterschieden sich die Ergebnisse nicht. Somit ist theoretisch ein Passpunkt für Orientierung von IKONOS-Aufnahmen ausreichend. Bei QuickBird-Aufnahmen war dagegen eine Affintransformation erforderlich, eine einfache Verschiebung führte nur zu einer Genauigkeit von etwa 1,3m bis 1,4m.

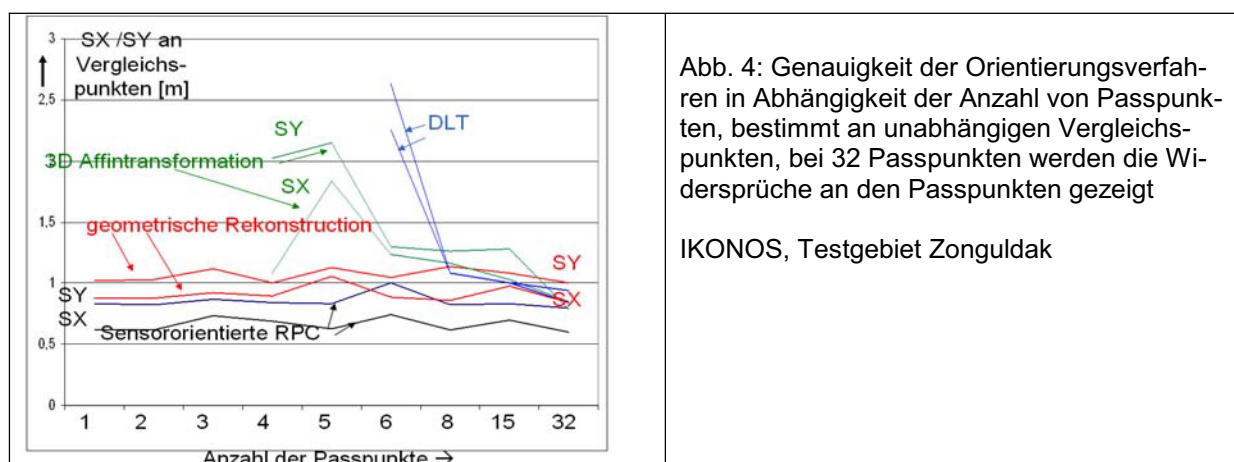


Abb. 4: Genauigkeit der Orientierungsverfahren in Abhängigkeit der Anzahl von Passpunkten, bestimmt an unabhängigen Vergleichspunkten, bei 32 Passpunkten werden die Widersprüche an den Passpunkten gezeigt

IKONOS, Testgebiet Zonguldak

Die in Abb. 4 dargestellten Ergebnisse der Orientierung einer IKONOS-Szene liefern ein klares Ergebnis, dass sich auch bei anderen Datensätzen in ähnlicher Form gezeigt hat. Die Sen-

sensor orientierten RPC und die geometrische Rekonstruktion liefern bereits mit einem Passpunkt praktisch die gleiche Genauigkeit wie mit deutlich mehr Passpunkten. Die 3D-Affintransformation und die DLT brauchen mindestens eine Überbestimmung von 2 Passpunkten bevor die Ergebnisse einigermaßen brauchbar sind, somit erfordern sie mindestens 6 bzw. 8 Passpunkte, die auch noch räumlich gut verteilt sein müssen. Mit 32 Passpunkten wurden an den Passpunkten durch alle Verfahren genähert die gleichen Widersprüche angezeigt.

Eine Orientierung basierend auf 4 Passpunkten mit deutlichen, für das Gebiet ausreichenden Höhenunterschieden ergab an unabhängigen Vergleichspunkten in der einen Koordinatenkomponente im Quadratmittel Abweichungen von 18,5m, was für IKONOS-Aufnahmen mit Objektpixeln von 1m nicht akzeptabel ist. Ursache hierfür ist, dass die Passpunkte genähert in einer schrägen Ebene liegen, womit sich numerische Probleme ergeben. Das Programm TRAN3D zeigt auch eine Warnung. Diese statische Überprüfung fehlt leider in fast allen kommerziellen Programmen.

Tab. 1: Orientierung einer QuickBird-Szene Zonguldak, mit 6 und 41 Passpunkten

Dimension: [m]	Sensor orientierte RPC		geometrische Rekonstruktion		3D-Affin-Transformation		DLT	
	SX	SY	SY	SY	SX	SY	SX	SY
6 Passpunkte, Widerspruch an den Passpunkten	0.45	.062	0.84	1.12	0.48	0.18	0.02	0.08
6 Passpunkte, Widerspruch an unabhängigen Vergleichspunkt.	0.53	0.75	0.84	1.01	0.96	2.22	1.08	1.20
41 Passpunkte, Widerspruch an den Passpunkten	0.40	0.59	0.76	0.62	1.04	1.04	1.36	1.50
41 Passpunkte, Widerspruch an den Passpunkten + 2 zusätzliche Parameter			0.48	0.46				

Die mit IKONOS-Aufnahmen erzielten Ergebnisse werden durch QuickBird-Szenen bestätigt. Die in Tabelle 1 dargestellten Ergebnisse der DLT basierend auf 6 Passpunkten sehen gut aus, sind aber ein Zufallsergebnis. Mit einer anderen Kombination von 6 Passpunkten wurden an unabhängigen Vergleichspunkten im Quadratmittel Widersprüche von 3,6m und 4,0m erzielt, womit sich die Unsicherheit der Ergebnisse basierend auf der DLT bestätigt, wenn nur die minimale Anzahl von Passpunkten verwendet wird. Mit Sensor orientierten RPC und geometrischer Rekonstruktion konnte die volle Genauigkeit bereits mit 4 Passpunkten erzielt werden.

Die Beschränkungen des mathematischen Modells der 3D-Affintransformation und der DLT zeigt sich bei der Ausgleichung mit allen Passpunkten. Wegen der kontinuierlichen Änderung der Aufnahmerichtung zur Reduzierung der Bildbewegung konnte nicht die gleiche Genauigkeit wie mit den Sensor orientierten RPC und der geometrischen Rekonstruktion erzielt werden. Aber auch die geometrische Rekonstruktion ergab, zwar mit einer ebenen Affintransformation, fast Pixelgenauigkeit, die volle Genauigkeit konnte aber erst mit 2 zusätzlichen Parametern erzielt werden, die die Aufnahmerichtung in Abhängigkeit von der Lage in der Szene noch modifizieren. Erst danach zeigten die Widersprüche keine weiteren systematischen Effekte an, was mittels einer Kovarianzanalyse überprüft wurde.

6 Zusammenfassung

Die geometrische Analyse der Orientierung von Weltraumaufnahmen ist durch Genauigkeit und Identifizierbarkeit der Passpunkte bestimmt. Mit dem richtigen mathematischen Modell können ohne weiteres Subpixelgenauigkeiten erreicht werden. Es ist nicht entscheidend, ob Originalbilder (level 1A) oder Projektionen auf eine Ebene konstanter Höhe (level 1B) benutzt werden. Ein SPOT-Modell war sowohl als level 1A als auch als level 1B vorhanden, die Genauigkeit ihrer Orientierungen unterschieden sich um weniger als 5%.

Rationale Polynomkoeffizienten, bestimmt durch Passpunkte, sollten nicht verwendet werden, da die Ergebnisse kaum kontrollierbar sind und bereits kleine Extrapolationen zu sehr schlechten Ergebnissen führen können. Die 11 Unbekannten der direkten linearen Transformation sind nicht gerechtfertigt, benötigen mehr Passpunkte und führen im Durchschnitt zu schlechteren Ergebnissen als die 3D-Affintransformation. Aber auch die 3D-Affintransformation, die in der Praxis mindestens 6 räumlich gut verteilte Passpunkte erfordert, ist nicht gerechtfertigt, da mit geometrischer Rekonstruktion und Sensor orientierten RPC bereits mit weniger Passpunkten eine bessere Genauigkeit erreicht wird. Für IKONOS-Aufnahmen ist theoretisch ein Passpunkt ausreichend, aus Gründen der Zuverlässigkeit sollten aber mindestens 2 Passpunkte benutzt werden. Die Sensor orientierten RPC führten zu den besten Genauigkeiten. Leider sind die RPC nicht immer gegeben, in diesem Fall sollte auf die geometrische Rekonstruktion ausgewichen werden, die ebenfalls zuverlässige Ergebnisse mit der gleichen Anzahl von Passpunkten liefert und auch eine Subpixelgenauigkeit erreichen lässt.

7 Danksagung

Ich danke dem Forschungszentrum Jülich und TÜBITAK, Türkei für die finanzielle Unterstützung der Arbeiten im Bereich von Zonguldak.

8 Literaturverzeichnis

- DIAL, G. & GRODECKI, J., 2002: IKONOS Accuracy without Ground Control, Pecora 15 / Land Satellite Information IV / ISPRS Com. I, Denver 2002
- GRODECKI, J., 2001: IKONOS Stereo Feature Extraction – RPC Approach, ASPRS annual conference St. Louis
- HANLEY, H.B., YAMAKAWA, T. & FRASER, C.S., 2002: Sensor Orientation for High Resolution Imagery, Pecora 15 / Land Satellite Information IV / ISPRS Com. I, Denver
- PASSINI, R. & JACOBSEN, K., 2004: Accuracy Analysis of Digital Orthophotos from Very High Resolution Imagery, ISPRS Congress, Istanbul 2004, IntArchPhRS. Band XXXV, B4, pp 695-700