

Sind Pleiades-Bilder mit 50cm Objektpixelgröße gerechtfertigt?

KARSTEN JACOBSEN¹

Zusammenfassung: Die Bilder der optischen Fernerkundungssatelliten Pleiades-1A und -1B werden mit einer Objektpixelgröße von 50cm vertrieben obwohl die physikalische Objektpixelgröße 70cm beträgt. Diese Vergrößerung sollte den Faktor für die effektive Objektpixelgröße, bestimmt durch Kantenanalyse, beeinträchtigen, was aber nicht der Fall ist. Durch Bildschärfung kann die Punktbildfunktion einer Kantenanalyse beeinflusst werden, was diese Situation erklären kann. Eine Bildschärfung führt zu einer Erhöhung des Rauschanteils, weswegen die Kantenanalyse durch eine Bestimmung des Signal-Rausch-Verhältnisses ergänzt werden muss. Airbus DS filtert allerdings auch die Bilder um das Rauschen zu reduzieren, was zu einem normalen Signal-Rausch-Verhältnis führt. Diese Art der Bildrestauration kann zum Verlust von Bilddetails führen, weswegen die Pleiades-Bilder mit anderen Weltraumaufnahmen ähnlicher Objektauflösung im gleichen Gebiet verglichen wurden.

1 Einleitung

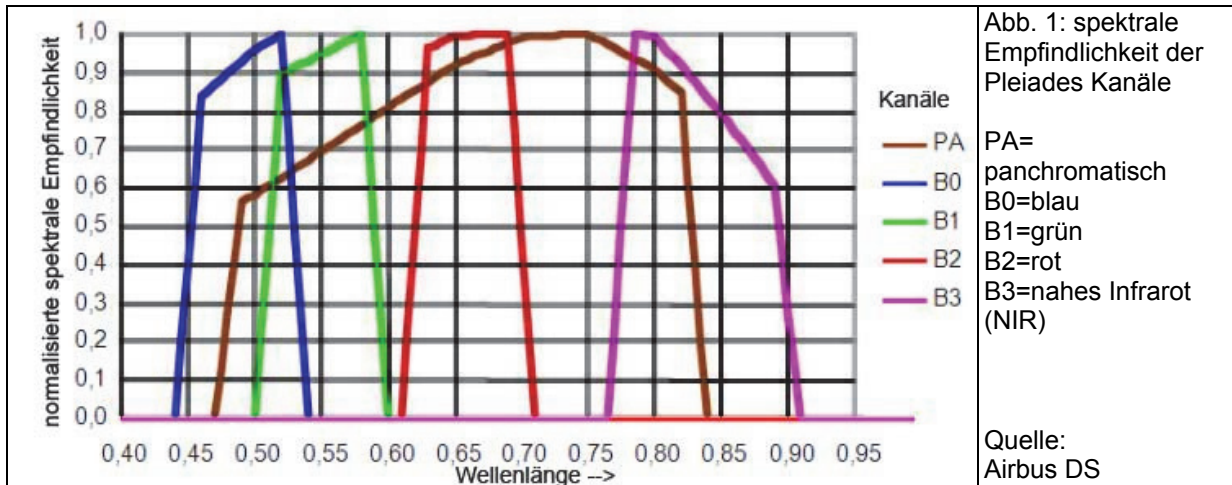
Eine Vergrößerung der Bildauflösung durch Verkleinerung der Objektpixelgröße kann nur bei sehr guter Bildqualität sinnvoll sein. Zusätzlich muss auch die Bildgeometrie dieses erlauben. Die Bildqualität sehr hochauflösender Weltraumbilder ist komplex da nur der panchromatische Kanal die hohe Auflösung aufweist, die Farbkanäle haben in der Regel um den linearen Faktor 4 größere Objektpixel. Im Rahmen einer pan-Schärfung werden aus den niedriger auflösenden Farbkanälen und dem hochauflösenden panchromatischen Kanal Farbbilder mit hoher Auflösung erzeugt. Bei der pan-Schärfung dominiert der panchromatische Kanal, der damit im Wesentlichen, aber nicht alleine, die Bildqualität bestimmt. Die pan-geschärften Aufnahmen werden für die Ableitung semantischer Objektinformation (klassische Kartenerstellung) verwendet, wogegen die automatische Bildzuordnung für die Erstellung von Höhenmodellen nur die originalen panchromatischen Aufnahmen verwendet. Eine Untersuchung der Bildqualität durch Kantenanalyse, Bestimmung des Bildrauschens und Vergleich mit anderen Weltraumaufnahmen muss deswegen die panchromatischen, die Farbkanäle und auch die pan-geschärften Bilder einbeziehen.

2 Pan-Schärfung

Die pan-Schärfung wird durch fehlende spektrale Übereinstimmung zwischen dem panchromatischen Kanal und dem roten, grünen und blauen Kanal kompliziert. Wie Abb. 1 zeigt, umfasst der panchromatische Kanal von Pleiades den Bereich von 0,47 bis 0,83µm Wellenlänge,

¹ Leibniz Universität Hannover, Nienburger Str. 1, 30167 Hannover;
E-Mail: jacobsen@ipi.uni-hannover.de

während der rote Kanal bereits bei 0,70µm endet und der blaue Kanal ab 0,44µm darüber hinaus reicht.



Das von (EHLERS et al. 2010) vorgeschlagene Verfahren der pan-Schärfung erhält weitgehend die spektralen Eigenschaften der Farbkanäle. Der Hintergrund dieser Veröffentlichung ist jedoch die semantische Objekterfassung, für die stärker betonte Farben von Vorteil sind. Eine normale Brovey-Transformation (1) führt bei fehlender Übereinstimmung der Spektralkanäle zu starken Farbverfälschungen.

$$DN_{fused} = \frac{DN_b * 3}{DN_b + DN_g + DN_r} * DN_{pan} * MF \quad (1) \text{ Brovey-Transformation}$$

$$DN_{fused} = \frac{DN_b * 3}{DN_b + DN_g + DN_r} * \frac{DN_{pan} - F * \frac{DN_{nir}}{3}}{1 - F/3} * MF \quad (2) \text{ modifizierte Brovey-Transformation}$$

$DN_b / DN_g / DN_r / DN_{NIR} / DN_{pan}$ = Grauwerte blau / grün / rot / NIR / panchromatisch, mit F als wählbaren Faktor für den Einfluss von NIR auf den panchromatischen Kanal und MF als Korrekturfaktor für die Bildhelligkeit

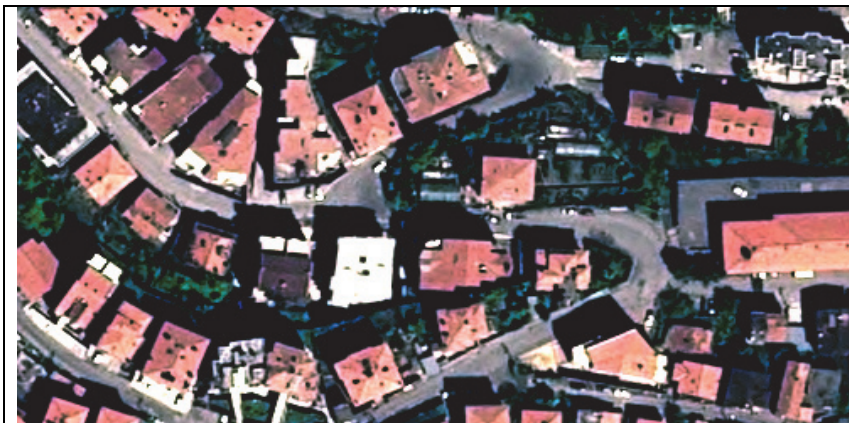


Abb. 2: pan-Schärfung eines Pleiades Ausschnitts durch modifizierte Brovey-Transformation

Mit der modifizierten Brovey-Transformation (JACOBSEN 2011) kann der starke Einfluss des Infrarotkanals auf den panchromatischen Kanal durch anteilige Subtraktion des Infrarotkanals vom panchromatischen Kanal reduziert bzw. beseitigt werden (Abb. 2). Die für die Farbkanäle individuellen Faktoren F und MF (Formel 2) erlauben eine gezielte Beeinflussung der Ausgabefarben.



Abb. 3: links: pan-Schärfung mit nächster Nachbarschaft Zuordnung, rechts mit bilinearer Interpolation

Die Grauwerte der Farbkanäle müssen für die pan-Schärfung linear um den Faktor 4 vergrößert werden. Erfolgt die Vergrößerung nur durch einfache Kopie der Grauwerte auf ein Feld von 4×4 Pixel, können ursprünglich gerade Farbränder gezackt sein, wie in Abb. 3 links. Eine bilineare Interpolation der Grauwerte führt zu besseren Ergebnissen (Abb. 3, rechts). Die Art der Interpolation hat keinen Einfluss auf das Signal-Rausch-Verhältnis, die Bilder basierend auf der nächste Nachbarschaft-Zuordnung haben allerdings einen um etwa 8% schlechteren Faktor für die effektive Bildauflösung.

3 Radiometrische Bildqualität

Die effektive Bildauflösung kann durch Kantenanalyse bestimmt werden (JACOBSEN 2014). Da die Kantenanalyse durch Bildschärfung beeinflusst wird, die wiederum das Bildrauschen vergrößert, ist sie durch eine Rauschuntersuchung zu unterstützen (BECKER et al. 2005). Das Bildrauschen kann zusätzlich durch Filterung reduziert werden, wodurch kleiner Bilddetails beeinflusst werden können, weswegen auch ein Vergleich mit Bildern anderer Sensoren erforderlich ist. Die Pleiades-Bilder werden von Airbus DS geschärft und gefiltert um das

Rauschen zu reduzieren, deswegen ist sowohl der Faktor für die effektive Auflösung als auch das Signal-Rausch-Verhältnis zu bestimmen und Bilder müssen mit ähnlich auflösenden anderer Sensoren verglichen werden.

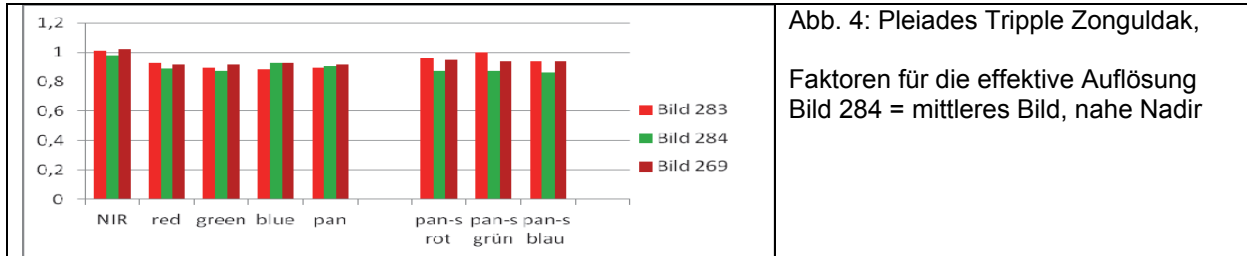


Abb. 4: Pleiades Tripple Zonguldak, Faktoren für die effektive Auflösung Bild 284 = mittleres Bild, nahe Nadir

Mit Ausnahme der etwas geneigten Aufnahmen im nahen Infrarot sind alle Faktoren für die effektive Auflösung der Pleiades-Bildkanäle kleiner als 1,0, (Abb. 4) obwohl Pleiades-Bilder mit 0,5m Objektpixelgröße (GSD), statt mit der physikalischen Auflösung von 0,7m für Nadiraufnahmen, untersucht werden. Dunklere Ränder neben hellen Objekten bestätigen eine Bildschärfung, die auch von Airbus DS angegeben wird. Eine Untersuchung des Signal-Rausch-Verhältnisses (SNR) ist deswegen erforderlich.

Das SNR ist nicht nur vom Rauschen, sondern auch von der Signalstärke, präsentiert durch die Histogramme, abhängig (Abb. 5). Die Histogramme der Farbbänder der drei benutzten Bilder sind ähnlich, nur im panchromatischen Kanal gibt es größere Unterschiede zwischen den Bildern. Weniger als 0,01% der panchromatischen Pixel haben Grauwerte über 2047 und weniger als 3% der panchromatischen Grauwerte sind größer als 1024. Von den roten, grünen und blauen Pixeln haben weniger als 0,001% Werte größer als 2047 und etwa 1% Werte über 1024. Nur das nahe Infrarot weist etwa 30% mit Werten über 1024, allerdings auch nur 0,001% über 2047 auf. Dementsprechend dominieren die dunkleren Bereiche in den 16bit-Bildern. Hellere Objekte haben grundsätzlich ein besseres SNR als dunklere Objekte. Aus diesem Grund wurden die dunklen Wasserflächen aus der Untersuchung ausgeschlossen – bei ihnen ist das SNR für topographische Auswertungen uninteressant. Das SNR muss durch automatische Analyse der Bilder bestimmt werden, das menschliche Auge ist nicht empfindlich genug um homogene Teilflächen, z.B. mit Photoshop, zu identifizieren. Werden Bildausschnitte untersucht, variiert das nach der Anzahl der akzeptierten 5x5 Pixel großen Teilflächen gewogene SNR von Teilfläche zu Teilfläche geringfügig.

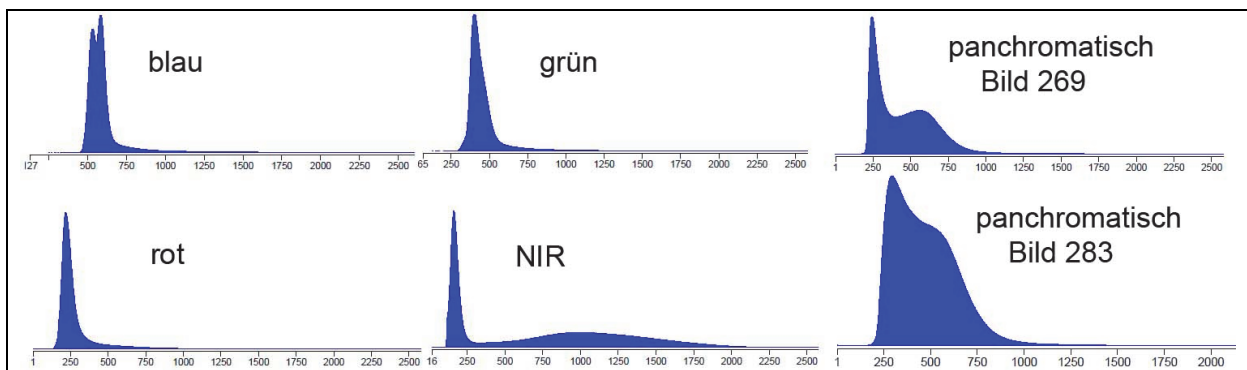


Abb. 5: Histogramme des Pleiades Bildes 269 und des panchromatischen Kanals des Bildes 283

Die 16bit-Aufnahmen haben grundsätzlich ein besseres SNR als die daraus abgeleiteten 8bit-Aufnahmen. Da die Bildschirmauflösung auf 8bit begrenzt ist, wurden die originalen 16bit-, die 8bit- und pan-geschärfte Aufnahmen untersucht, zumal eine optimale Reduktion der Bilder von 16bit auf 8bit wegen des nicht voll ausgenutzten Grauwertbereichs nicht zu einem spürbaren Informationsverlust für topographische Auswertungen führt und für semantische Auswertungen mit pan-geschärften Aufnahmen gearbeitet wird.

Die Abbildungen 6 und 7 zeigen klar die Abhängigkeit des SNR von den separat untersuchten Grauwertgruppen. Aus der Darstellung der nach der Anzahl der vorkommenden Grauwerte gewogenen Mittel zeigt sich, dass das SNR für den panchromatischen Kanal besser als für die Farbkanäle ist. Der gute Wert für NIR ist nur auf die höheren Grauwerte dieses Kanals zurückzuführen. Das SNR für die pan-geschärften Aufnahmen liegt zwischen dem der Farbkanäle und der panchromatischen Aufnahmen.

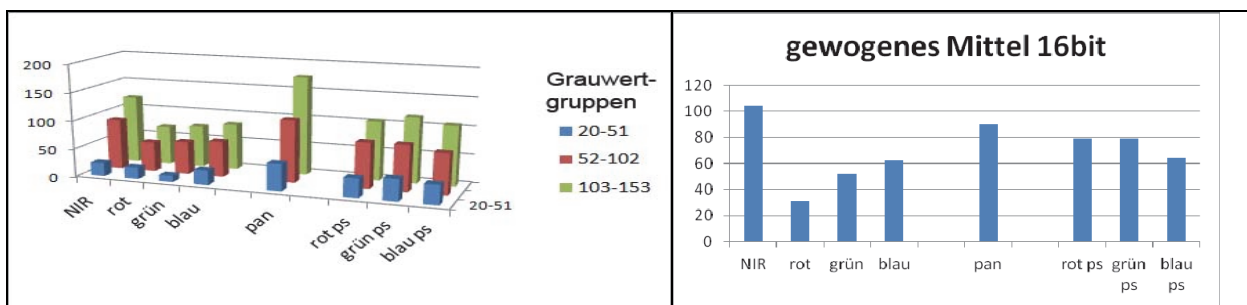


Abb. 6: gemitteltetes Signal-Rausch-Verhältnis der Pleiades-16bit-Aufnahmen ps=pan-geschärft

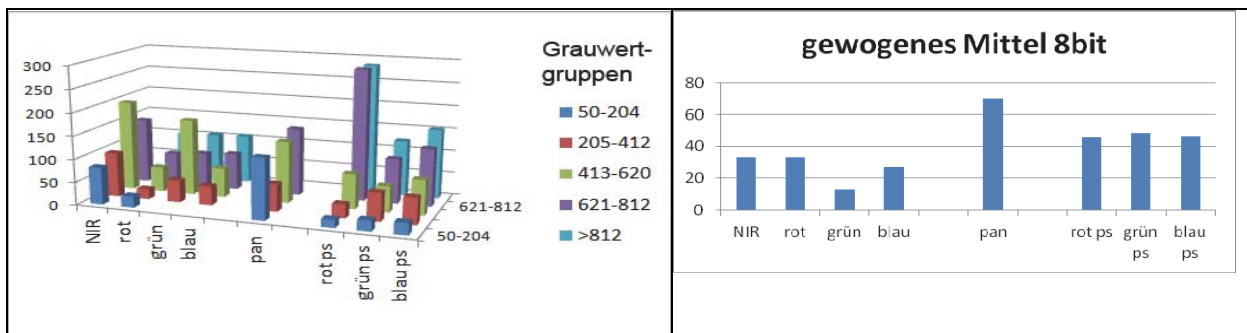


Abb. 7: gemitteltetes Signal-Rausch-Verhältnis der Pleiades-8bit-Aufnahmen ps=pan-geschärft

Sowohl für die originale radiometrische Auflösung von 16bit, als auch für 8bit-Bilder stellt das geringe Rauschen kein Problem für die Bildauswertung dar. Die durch die Bildrestauration von Airbus DS durchgeführte Bildschärfung und Filterung deutet sowohl bei den Faktoren für die effektive Auflösung, als auch beim Bildrauschen nicht auf die durchgeführte Objektpixelverkleinerung hin. Ein Vergleich mit Bildern ähnlicher Auflösung ist deswegen erforderlich.

Tabelle 1: Faktoren für die effektive Bildauflösung der panchromatischen Kanäle

Pleiades 1A	WorldView-1	QuickBird	IKONOS
0,91	1,02	1,01	1,02

Tabelle 2: SNR der verschiedenen Satellitenaufnahmen im Testgebiet Zonguldak

SNR	panchromatisch				IKONOS Farbkanäle			
	Pleiades	WorldView-1	QuickBird	IKONOS	blau	grün	rot	NIR
16bit	91	24	48	98	109	70	43	111
8bit	70	36	32	30	55	40	13	24

In dem Testgebiet Zonguldak wurden die Aufnahmen von Pleiades mit denen von WorldView-1, QuickBird und IKONOS verglichen. Die Faktoren für die effektive Bildauflösung in dem entscheidenden panchromatischen Kanal sind für Pleiades kleiner als für die der anderen Satellitenbilder (Tabelle 1). Ein Faktor 1,01 bis 1,02 bedeutet, dass die effektive Bildauflösung nahezu der nominellen entspricht. Ein Faktor von 0,91 für Pleiades bedeutet, dass die effektive Bildauflösung der panchromatischen Pleiades-Bilder sogar 0,46cm entspricht. Das Signal-Rausch-Verhältnis der panchromatischen WorldView-1 und QuickBird Bilder ist nicht so gut wie bei Pleiades, für IKONOS ist es allerdings geringfügig besser (Tabelle 2). Somit fällt auch das Bildrauschen der Pleiades-Aufnahmen nicht schlechter aus als für die Vergleichssensoren. Die Bildrestauration kann allerdings auch zu einem Verlust von kleinen Bilddetails führen, weswegen die Bilder miteinander zu vergleichen sind.

Tabelle 3: technische Daten der verglichenen Satellitenbilder

Satellit	Aufnahme	Sonnenhöhe	Inzidenzwinkel	Objektpixelgröße	
				ausgeliefert	Original
Pleiades 1A mittleres Bild	24.4.2013	59.2°	5.8°	50 cm	70 cm
WorldView-1	16.9.2008	49.7°	28.6°	50 cm	56 cm
QuickBird	23.5.2004	64.7°	3.9°	62 cm	62 cm
IKONOS	2.7.2002	67.2°	20.3°	100 cm	89 cm

Abbildung 8 zeigt typische Ausschnitte der verglichenen Satellitenbilder. Der Zeitpunkt der Aufnahme, die Sonnenhöhe und der Inzidenzwinkel (Nadirwinkel vom Objekt zum Satelliten) unterscheiden sich (Tabelle 3). Im Objektraum hat sich allerdings nicht viel verändert. Die Sonnenhöhe ist mit mindestens 49,7° nicht kritisch, weswegen sie vernachlässigt werden kann, anders ist es mit dem Inzidenzwinkel der bei der WorldView-1-Aufnahme zu einer Vergrößerung des Objektpixels von 48cm bei Nadiraufnahmen zu im Mittel 56cm führt. Die Pleiades-Aufnahmen haben mit 70cm geometrischer Objektpixelgröße eine original geringere Auflösung als die Bilder von WorldView-1 und QuickBird was aber aus den Details in Abbildung 7 nicht ersichtlich ist. WorldView-1 hat nur den panchromatischen Kanal, aber auch abgesehen von der Farbunterstützung können die kleinen Bilddetails in den Pleiades-Bildern besser erkannt werden als in den WorldView-1- und den QuickBird-Aufnahmen. Die IKONOS-Aufnahme hat mit 100cm eine deutlich geringere Objektauflösung als Pleiades, dieses ist in Abb. 8 klar erkennbar. Bei QuickBird und IKONOS passen die Farbkanäle nicht exakt zum Pan-Kanal weswegen die Fenster um 4 bzw. 2 panchromatische Pixel versetzt wurden.



Pleiades 1A, 50cm Objektpixelgröße, abgeleitet aus 70cm originaler Objektpixelgröße



WorldView-1, wegen des Nadirwinkels geometrische Objektpixelgröße = 56cm



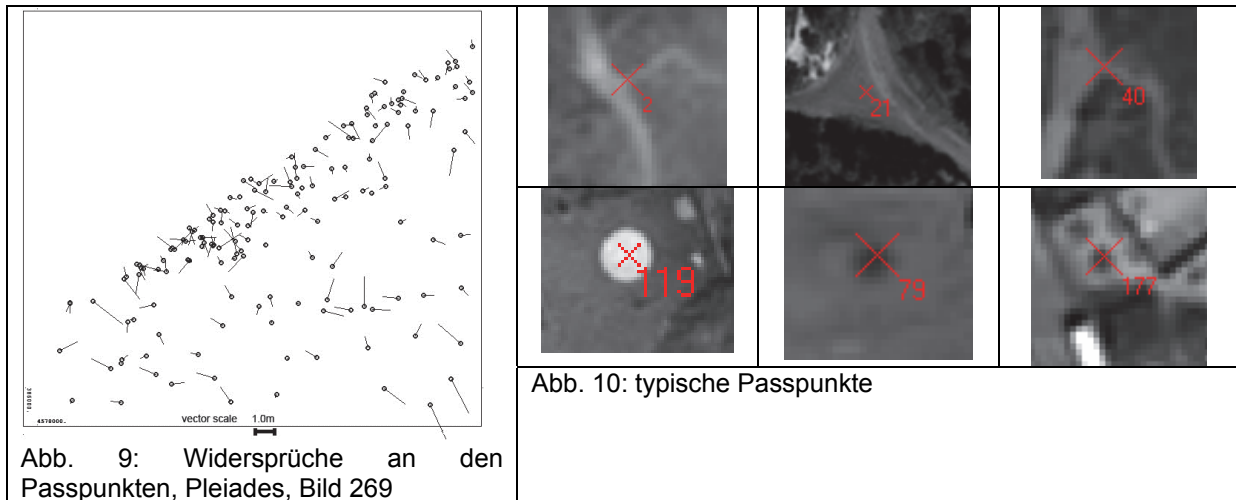
QuickBird, Objektpixelgröße = 62cm



IKONOS, Objektpixelgröße=100cm

Abb. 8: Ausschnitte pan-geschärfter, bzw. originaler Satellitenaufnahmen, Testgebiet Zonguldak

4 Geometrische Bildqualität



Für die Bildorientierung der Pleiades-Aufnahmen standen 163 durch GPS bestimmte Passpunkte zur Verfügung. An ihnen traten bei der Bildorientierung im Quadratmittel Widersprüche von 51cm auf, entsprechend etwa einer Objektpixelgröße. Widersprüche der Größe eines Objektpixels sind keine besonders hohe, aber eine operationelle Genauigkeit, wenn die Passpunkte nicht durch symmetrische, künstliche Objekte definiert sind.

Die Passpunkte 2, 21 und 40 in Abbildung 10 sind typisch für die größere Anzahl der Punktidentifizierungen. Symmetrische Objekte wie 119, 79 und 177 in Abb. 10 stellen eher die Ausnahme dar. Solche Punkte sind mit Subpixelgenauigkeit zu bestimmen, nicht jedoch die anderen. Bei den Passpunkten 79 und 177 zeigen sich auch Identifizierungsfehler von 0,5 bzw. 1/3 Objektpixeln. Die Orientierung der WorldView-, QuickBird- und IKONOS-Aufnahmen wurde mit ähnlichen Passpunkten und entsprechender Genauigkeit durchgeführt.

Es deuten sich sowohl in der Verteilung und Ausrichtung der Fehlervektoren in Abb. 9, als auch in der numerischen Analyse keine systematischen Bildfehler der Pleiades-Aufnahmen an.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die Untersuchungen der Pleiades-Aufnahmen zeigen sehr zufriedenstellende Ergebnisse in Bezug auf eine Objektauflösung von 50cm. Trotz der 70cm originalen Objektpixelgröße haben die auf 50cm vergrößerten Bilder eine Bildqualität, die denen anderer Satellitenaufnahmen mit etwa 50cm GSD entspricht. Die Bestimmung der effektiven Auflösung durch Kantenanalyse, das Signal-Rausch-Verhältnis als auch der direkte Vergleich der Bildqualität und der Abbildung kleiner Details in Pleiades-Bilder mit denen von WorldView-1, QuickBird und IKONOS bestätigen dieses. Auch die geometrischen Eigenschaften sind in Bezug auf 50cm Objektpixelgröße ausreichend.

Die radiometrischen Eigenschaften der Pleiades-Aufnahmen, einschließlich der Häufigkeitsverteilung der Grauwerte, sind gut und haben teilweise Vorteile gegenüber anderen untersuchten Weltraumaufnahmen. Auch passen die Farbkanäle geometrisch genau zu den panchromatischen Kanälen.

6 Literaturverzeichnis

- BECKER, S., HAALA, N. & REULKE, R., 2005: Determination and improvement of spatial resolution for digital aerial images. ISPRS Hannover Workshop 2005: High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information, Heipke, C., Jacobsen, K. & Gerke, M. (Hrsg.).
- EHLERS, M., KLONUS, S., ASTRAND, P. & ROSSO, P., 2010: Multi-Sensor Image Fusion for Pansharpening in Remote Sensing. International Journal for Image and Data Fusion (IJIDF), **1** (1), S. 25-45.
- JACOBSEN, K., 2011: Characteristics of very High Resolution Optical Satellites for Topographic Mapping. ISPRS Hannover Workshop 2011: High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information, Heipke, C., Jacobsen, K., Rottensteiner, F., Müller, S. & Sörgel, U. (Hrsg.), **38-4/W19**, S. 137-142.
- JACOBSEN, K., 2014: Bildqualität. Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V., Band 23, Seyfert, E., Gülch, E., Heipke, C., Schiewe, J. & Sester, M. (Hrsg.), 34. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, 26.-28. März 2014 an der HafenCity Universität Hamburg, Tagungsband auf CD-ROM, Beitrag 115.