

---

# „Pansharpening“ - Methoden für digitale, sehr hoch auflösende Fernerkundungsdaten

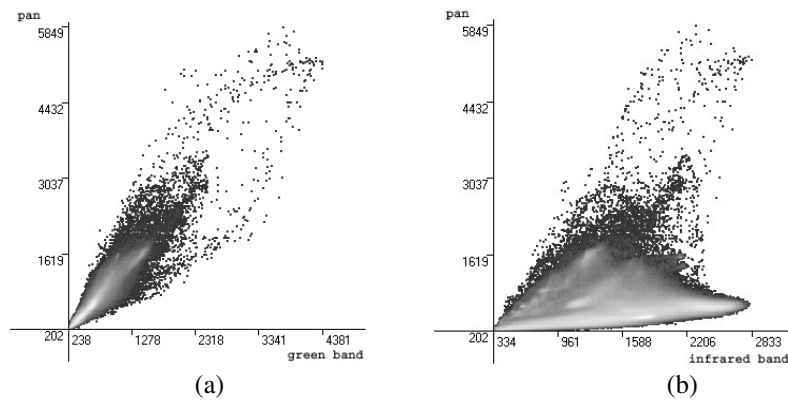
Manuela HIRSCHMUGL, Heinz GALLAUN, Roland PERKO und Mathias SCHARDT

## Zusammenfassung

In dieser Arbeit werden verschiedene Methoden zur Bildfusionierung für neue digitale Kameradaten getestet. Nach einer kurzen Beschreibung der einzelnen Ansätze werden die Resultate in drei Schritten evaluiert: durch visuelle Interpretation, anhand von Profillinien und mittels RMSE Berechnung. Es zeigt sich, dass manche Methoden (YIQ, Brovey) für visuelle Interpretation sehr gut geeignet sind, während für weitere digitale Auswertungen (z. B. Klassifizierung) andere Ansätze (Texture-based weighted fusion, Brovey modifiziert) wesentliche Vorteile in der Erhaltung der Grauwerte bringen. Speziell in Bereichen, in denen die Grauwerte von PAN und NIR negativ korrelieren, gewährleisten nur die neu entwickelten, bzw. modifizierten Ansätze eine Erhaltung der Grauwertverhältnisse zwischen einzelnen Landbedeckungsklassen.

## 1 Einleitung

Pansharpening (auch: „image fusion“, „resolution merge“, „Bildfusionierung“) ist ein Überbegriff für derzeit bereits vielfach erfolgreich eingesetzte Verfahren in der Satellitenbildfernerkundung. Eine Vielzahl von Algorithmen wurde in den vergangenen Jahren für Daten verschiedener Sensoren und mit unterschiedlichen Auflösungen entwickelt. Neben der neuesten Generation von sehr hochauflösenden Satelliten bringen auf dem Sektor der Luftbildphotogrammetrie und -fernerkundung neu entwickelte Digitalkameras eine Herausforderung für die Pansharpening Algorithmen. Die entwickelten Methoden weisen spezielle Eigenschaften auf, deren Tauglichkeit für die Fusionierung von digitalen Luftbilddaten - in dieser Studie anhand von UltraCam<sub>D</sub> Daten der Firma Vexcel Imaging Austria - überprüft wird. Neben der visuellen Qualität ist die Erhaltung der Grauwerte ein wesentlicher Anspruch an die Fusionierungsmethoden. Ansätze, diese Grauwertterhaltung zu verbessern, wurden bereits vorgestellt (ZHANG ET AL, 2002) Ein weiterer wichtiger Punkt – speziell bei den in dieser Studie verwendeten Daten - ist die Möglichkeit der Fusionierung des PAN Kanals mit dem nahen Infrarot (NIR), da hier keine spektrale Überdeckung besteht und somit eine schlechte Korrelation zwischen PAN und NIR (siehe Abb. 1) die Fusionierung erschwert. Zusätzlich zu Standardverfahren, wie sie beispielsweise im Softwarepaket Erdas Imagine verfügbar sind, werden zwei Eigenentwicklungen des Instituts für Digitale Bildverarbeitung (Joanneum Research) mit in den Vergleich einbezogen.



**Abb. 1:** (a) Scattergramm zwischen PAN und grünen Kanal (repräsentativ für alle drei Kanäle des sichtbaren Lichts); (b) Scattergramm zwischen PAN und NIR Kanal

## 2 Ausgangsdaten

Für die Untersuchungen steht ein Testdatensatz von digitalen Luftbildern der UltraCam<sub>D</sub> für ein Gebiet im Osten der Steiermark (Testgebiet „Burgau“) zur Verfügung. Die Daten sind sogenannte „Level02 Daten“. Das heißt, die Daten wurden grundsätzlich nur „roh“ vorverarbeitet und liegen in der originalen Farbtiefe von 16bit (effektiv 12bit) vor. Tabelle 1 zeigt die spektralen und geometrischen Eigenschaften der UltraCam<sub>D</sub> Bilddaten.

**Tab. 1:** Spektrale und geometrische Eigenschaften der UltraCam<sub>D</sub> Bilddaten

Datensatz	Spektrale Auflösung	Geometrische Auflösung
panchromatisch (PAN)	390 – 690 nm	Gesamtbild = 11500 x 7500 Pixel à 9 µm Brennweite: 101 mm (1 Pixel entspricht ca. 15 cm)
multispektral (MS) - rot	570 – 690 nm	Gesamtbild = 4008 x 2672 Pixel à 9 µm Brennweite: 28 mm (1 Pixel entspricht ca. 55 cm)
MS - grün	470 – 660 nm	
MS - blau	390 – 530 nm	
MS – nahes infrarot (NIR)	670 – 940 nm	

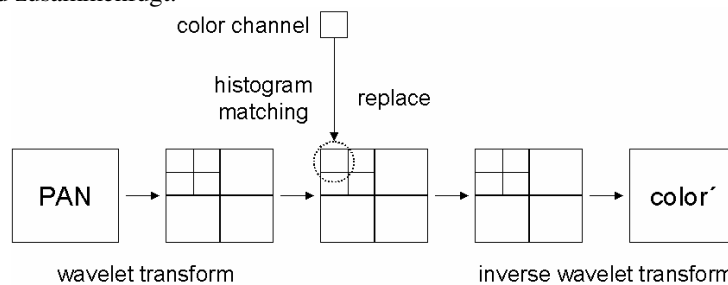
## 3 Vorstellung der verwendeten Fusionierungsmethoden

### 3.1 Principle Component (PC) und YIQ Fusionierung

Beide Methoden haben gemeinsam, dass im ersten Schritt das MS Bild auf die Größe des PAN Bildes interpoliert und dann Helligkeit von Farbinformation getrennt wird: bei der PC Fusionierung wird dies über eine Hauptkomponentenanalyse durchgeführt, bei YIQ durch die Farbraumtransformation (siehe GONZALEZ & WOODS, 1992). Anschliessend wird der Helligkeitskanal durch das hochauflösende PAN Bild ersetzt. Durch Inverse PCA bzw. Rücktransformation in den RGB Farbraum wird schließlich das geschärfte Farbbild erstellt.

### 3.2 Wavelet Fusionierung

Die Verwendung von Wavelets ist eine recht neue Entwicklung in der Bildverarbeitung, so auch für die Pansharpening Thematik. Bei der Wavelet Fusionierung (z. B. ZHANG, 2002) wird in jedem Transformationsschritt das Eingabebild (PAN, z. B. 2.5m Auflösung) in vier Komponenten zerlegt. Die erste Komponente ist das Eingabebild in einer zweifach schlechteren Auflösung (5m) und die anderen drei Komponenten stellen die hochauflösende Bildinformation (2.5m) in vertikaler, horizontaler und diagonaler Richtung dar. Handelt es sich nun um eine Level 1 - Transformation, so wird bereits an dieser Stelle die erste Komponente durch einen Kanal des MS Bildes ersetzt und anschließend die inverse Wavelet Transformation durchgeführt, die die Einzelkomponenten wieder zu einem Gesamtbild zusammenfügt.



**Abb. 2:** schematischer Ablauf einer Wavelet Fusionierung (nach PERKO, 2004)

### 3.3 Multiplikative Fusionierung und Brovey Transformationen

Der multiplikative Ansatz ist eine einfache Multiplikation von MS und PAN zur Generierung des Fusionierungsergebnisses. Die originale Brovey Transformation (z. B. in Erdas Imagine) wurde hauptsächlich für die visuelle Interpretation entwickelt. Für die Berechnung der neuen (prinzipiell limitiert auf drei) Bänder werden einfache Formeln herangezogen (ERDAS, 2003). Für vierkanalige Bilder und zur Erhaltung der Grauwerte wurde in IMPACT der Brovey Algorithmus modifiziert. Dabei werden dieselben Formeln wie bei Brovey für die Transformation vom Farbraum in einen „Iabc“ Raum (I...Intensität, a, b, c...Komponenten) verwendet ( $I = nir + red + green + blue$ ;  $a = red/I$ ;  $b = green/I$ ;  $c = blue/I$ ). Vor dem Ersatz von I durch PAN und der Rücktransformation wird jedoch der PAN radiometrisch an den Intensitätskanal angepasst, so bleiben die Grauwerte besser erhalten.

### 3.4 „Texture-based Weighted Fusion“

Diese Fusionierung wurde von Gallaun ursprünglich für Landsat Daten am DIB entwickelt. Es zeigte sich allerdings, dass dieser Algorithmus auch für sehr hochauflösende Datensätze geeignet ist. Die Besonderheit dieser Methode im Vergleich zu den anderen ist die räumliche Komponente: der Einfluss des PAN (also das „Sharpening“) wird unterschiedlich gewichtet wobei eine Anpassung der fusionierten Daten an die ursprünglichen multispektralen Daten in Abhängigkeit von der Textur durchgeführt wird. Dabei sind in inhomogenen Bereichen mit hoher Textur nur die fusionierten Daten im Ergebnisbild enthalten, während in homogenen Bereichen mit geringer Textur nur die multispektralen

Daten einfließen. In Bereichen mit mittlerer Textur erfolgt eine lineare Gewichtung entsprechend der Textur.

## **4 Verifizierung und Qualitätskontrolle**

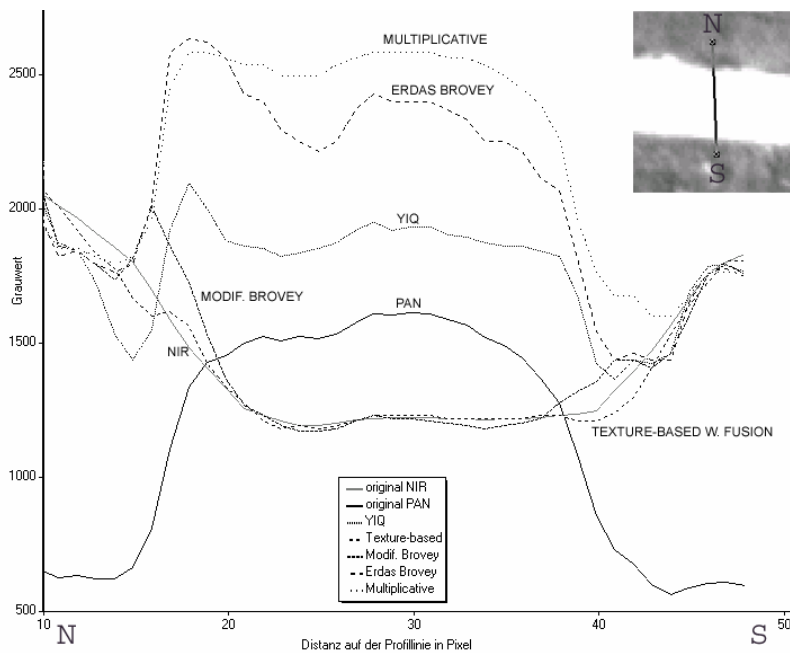
Ein Zweck des Pansharpenings ist die Bereitstellung von visuell ansprechenden, kontrastreichen Bildern für visuelle Interpretationszwecke. Diesem Ziel soll im ersten Kapitel der Qualitätskontrolle Rechnung getragen werden. Da die Abbildung der Ergebnisse aufgrund des Schwarz/Weiß-Druckes nicht zielführend ist, wird die visuelle Beurteilung der einzelnen Ergebnisse in kurzer, textlicher Form wiedergegeben. Jene Resultate, die visuell ganz schlecht sind, werden auch in die weiteren Auswertungen nicht mehr berücksichtigt. Der zweite Punkt behandelt die Veranschaulichung der Resultate im Vergleich zu den Originaldaten in Form von Profilen, die über einzelne, speziell interessante Bildbereiche gelegt wurden. Diese können natürlich nur eine stichprobenhafte Überprüfung darstellen. Eine Gesamtbeurteilung gelingt im letzten Unterkapitel, bei dem durch eine „theoretische“ Fusionierung mittels eines RMSE (root mean square error) eine quantitative Qualitätsabschätzung des Gesamtbildes möglich wird.

### **4.1. Qualitätsbeurteilung mittels visueller Interpretation**

Die visuelle Beurteilung der Ergebnisse ist natürlich immer subjektiv. Trotzdem bildet sie eine wichtige Säule in der Beurteilung der Qualität, die vielleicht mit anderen Methoden nicht abgedeckt wäre. Die Beurteilungskriterien sind Artefakt- und Rauschfreiheit, Kontrastreichtum und allgemeine Bildschärfe. Die Resultate der PC Methode sind für visuelle Interpretation bedingt geeignet: zwar sind keine Artefakte vorhanden, doch ergibt sich durch diese Fusionierung ein sehr „gekörntes“ Bild. Von den angesprochenen Methoden bzw. Methodengruppen sind die Wavelet-basierten Fusionierungen visuell die schlechtesten, da alle Wavelet Ergebnisse dieser Studie Artefakte aufweisen, außerdem sind sie an den Kanten unscharf und daher für eine visuelle Interpretation nicht geeignet. Die Brovey Transformationen dagegen sind visuell sehr ansprechend, reich an Kontrast und durch keinerlei Artefakte gestört, daher für visuelle Interpretationen bestens geeignet. Ähnlich auch die YIQ Methode: ebenfalls eine sehr ansprechendes Resultat. Die letzte Methode, die „Texture-based Weighted Fusion“ ist vom visuellen Eindruck ein wenig schlechter als die beiden vorhergehenden Methoden. Dennoch sind keine Artefakte oder Bildfehler zu erkennen, lediglich die Kantenschärfe ist nicht immer optimal. Die Multiplikative Fusionierung ist wiederum der Brovey Transformation sehr ähnlich: visuell sehr gut geeignet.

### **4.2. Qualitätsbeurteilung anhand von Profillinien**

Für besonders kritische Bereiche im Bild, nämlich jene, in denen PAN und NIR Kanal negativ korrelieren, empfiehlt sich eine nähere Analyse mittels Profillinien. Neben den dargestellten Profillinien wurden auch die Wavelet und die PC Fusionierungsergebnisse mittels Profilen überprüft. Diese bestätigen allerdings nur die visuelle Einschätzung: die Linien weisen unklare Zacken und Sprünge auf (Rauschen, Artefakte). Daher wurden diese Resultate nicht weiter in den Evaluierungsprozeß einbezogen.



**Abb. 3:** Profil über eine Straße, originaler NIR und PAN im Vergleich zu den einzelnen Fusionierungsergebnissen (NIR) nach Histogramm-Matching

Klar zeigt sich in diesem Profil, dass die ursprünglichen Grauwertunterschiede im NIR zwischen Wiese und Straße bei meisten Fusionierungsergebnissen nicht mehr gegeben sind. Bei YIQ ergibt sich nachher ein gleiches Grauwertniveau, bei Erdas Brovey und der Multiplikativen Fusionierung sogar eine Trendumkehr. Nur der modifizierte Brovey Ansatz und die Texture-based weighted Fusion halten die Grauwerteverhältnisse annähernd auf ihrem ursprünglichen Niveau.

#### 4.1. „Theoretische Fusionierung“ und Berechnung eines RMSE

Hier wird nun versucht, die Qualität der Methoden zu quantifizieren. Als Qualitätskriterium gilt die Erhaltung des Grauwertes bei der Fusionierung. Dazu wird eine „theoretische Fusionierung“ durchgeführt: ein MS Bild ( $I_{ref}$ ) in ein gleich hoch auflösendes PAN ( $I_{PAN}$ ) und niedriger auflösende MS Bilder ( $I_{RGB}$ ) zerlegt wird. Dann werden diese mit den einzelnen Algorithmen fusioniert ( $I_{fused}$ ), die resultierenden Werte (nach einer Histogrammanpassung) mit denen des Ausgangsbildes verglichen und der RMSE berechnet (Schema und Formel siehe Abb. 4). Die Ergebnisse dieser Berechnung sind in Tabelle 2 dargestellt, die jeweils besten Resultate fettgedruckt. Die Ergebnisse der Texture-based weighted Fusion sind in fast allen Bändern die besten, nur im grünen Band weist die YIQ einen geringeren RMSE auf. Im allgemeinen liegen die Werte für R,G und B recht nah beisammen, die Differenzen im NIR sind aber enorm.

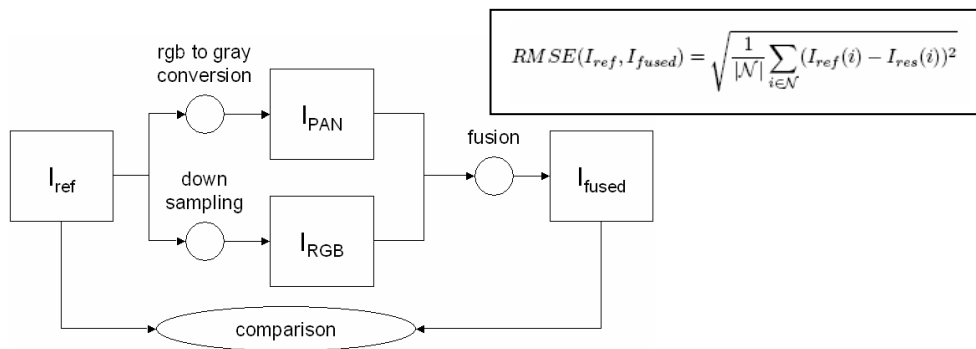


Abb. 4: Schema der Verifizierung und Formel für die RMSE Berechnung (PERKO, 2004)

Tab. 2: RMSE [in Grauwerten] für 2201 x 3001 Pixel nach Histogram-Matching

Method	Band 1 (rot)	Band 2 (grün)	Band 3 (blau)	Band 4 (nir)
Erdas Multiplikative Fusionierung	35,8799	45,0446	11,1121	265,2451
Erdas Brovey Transformation	51,3592	83,0665	19,5065	304,0709
IMPACT Brovey Transformation	39,6550	65,9168	15,3127	239,2496
Texture-based weighted fusion	<b>21,0282</b>	41,2454	<b>10,7555</b>	<b>38,2620</b>
YIQ	24,8784	<b>25,0668</b>	--	154,8387

## 5 Zusammenfassung

Diese Studie gibt einen Vergleich verschiedener Fusionierungsmethoden für neue, digitale Luftbilddaten. Anhand visueller Interpretation zeigte sich, dass beispielsweise die traditionelle Methode der Farbraumtransformation für interpretative Zwecke nach wie vor bestens geeignet ist. Demgegenüber sind für die weitere Verwendung der Daten in digitalen Auswerteprozessen andere Fusionierungsmethoden vorzuziehen, die die Grauwerte der einzelnen Landbedeckungsklassen erhalten. Im Rahmen einer RMSE Berechnung zeigt die Texture-based weighted Fusion die geringsten Abweichungen von den ursprünglichen Grauwerten.

## 6 Literatur

- ERDAS (2003): Erdas Field Guide. Sixth Edition, Erdas LLC, Atlanta, Georgia, USA, available at: <http://support.erdas.com/documentation/files/FieldGuide.pdf>
- Gonzalez, R. C. & Woods, R. E. (1992): Digital Image Processing. – Verlag Addison-Wesley Publishing Company, Tennessee, 716 S.
- IMPACT (2004): Unveröffentlichtes User Manual.
- Perko, R. (2004): Computer Vision for Large Format Digital Aerial Cameras. Unpublished Dissertation, Graz University of Technology - Institute for Computer Graphics and Vision. Graz, October 2004, 158 p.
- Zhang, Y. (2002a): Problems in the Fusion of Commercial High-Resolution Satellite Images as well as Landsat 7 Images and Initial Solutions. ISPRS, CIG, SDH Joint International Symposium on "Geospatial Theory, Processing and Applications", Ottawa, Canada, July 8-12, 2002. (Published in: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS), Volume 34, Part 4).
- Zhang, Y. (2002b). A New Automatic Approach for Effectively Fusing Landsat 7 Images and Ikonos Images. *IEEE/IGARSS'02*, Toronto, Canada, June 24-28, 2002.