

Einfluss und Auswirkung verschiedener Methoden des Pansharpening auf die multispektrale Klassifikation

Philipp Gottsmann und Christine Wessollek

TU Dresden · philipp.gottsmann@gmx.de

Full paper double blind review

1 Einleitung

Viele der aktuellen passiven Fernerkundungssensoren besitzen neben den multispektralen auch einen panchromatischen Kanal, welcher einen größeren Wellenlängenbereich abdeckt als die einzelnen spektralen Bänder. Aufgrund der dadurch entstehenden energiereicheren Rückstrahlung kann die geometrische Auflösung eines panchromatischen Sensors auf der selben Plattform höher ausfallen als bei einem multispektralen Sensor (MONTZKA 2007).

Um nun die Vorteile beider Datensätze (spektrale bzw. geometrische Auflösung) in einem Datensatz zu vereinen, wurden zahlreiche Fusionsmethoden entwickelt, mit dem Ziel die geometrische Auflösung der multispektralen Daten zu verbessern aber dabei gleichzeitig die multispektrale Informationen bestmöglich zu erhalten. Durch die Verwendung eines panchromatischen Datensatzes hat sich für diese Bildfusionen der Begriff Pansharpening durchgesetzt. Eine Vielzahl von Publikationen hat sich in der jüngsten Vergangenheit mit dem Pansharpening beschäftigt, die sich sowohl in der Datengrundlage, den angewandten Fusionsmethoden als auch in der Qualitätsbewertung unterscheiden. POHL & VAN GENDEREN (1998) und AMRO et al. (2011) geben einen ausführlichen Überblick über die in der Literatur vorgestellten Fusionsmethoden und diskutieren ebenfalls Methoden zur Qualitätsbewertung der Fusionsergebnisse. Neben der visuellen Bewertung der Fusionsergebnisse werden vorrangig statistische Maße verwendet, um die spektrale und strukturelle Qualität der Fusionsergebnisse zu quantifizieren. Einen anschaulichen Überblick über Qualitätsmaße zur Bewertung von Fusionsergebnissen liefern auch WITHARANA et al. (2013), welche Geoeye-1-Daten für den Vergleich von gleich zwölf verschiedenen Fusionsmethoden nutzen. EHLERS et al. (2010) hingegen beschäftigen sich mit der sogenannten *multi-sensor fusion* und vergleichen verschiedene Methoden für die Fusion von SPOT-Daten mit dem PAN-Kanal einer IKONOS-Szene bzw. einem TerraSAR-X-Bild. Einen Methodenvergleich für IKONOS-Daten führen KUMAR et al. (2011) durch, jedoch werden für die Bewertung nur wenig statistische Maße herangezogen. CHIKR et al. (2011) hingegen stellen einen IHS-basierte Methode für die Fusion von IKONOS-Daten vor, bei der die spektrale Verzerrung minimiert werden soll. Als Ursache für die spektrale Verzerrung führen CHIKR et al. (2011) die spektrale Empfindlichkeit der IKONOS-Bänder an. Dieser Umstand könnte aber auch als positiv bewertet werden, denn die kurzwelligen Bereiche unterliegen auch der stärksten atmosphärischen Beeinflussung (KRAUS & SCHNEIDER 1988, PETTY 2006). Außerdem deckt der panchromatische Kanal auch Wellenlängenbereiche zwischen den multispektralen Bändern ab.

Daraus lässt sich die Frage ableiten, welchen Mehrwert diese Verfahren über die bessere Interpretierbarkeit der Daten hinaus, bei der Anwendung multispektraler Klassifikationen haben können.

Zu diesem Zweck wurde eine IKONOS-Satellitenszene zunächst vorverarbeitet und dann verschiedenen Pansharpening-Methoden unterzogen. Anschließend erfolgte mithilfe unterschiedlicher Bewertungsschemata eine Analyse der generierten Daten. Wie auch in anderen Publikationen wurden neben der visuellen Bewertung, mehrere statistische Ansätze zur Bewertung herangezogen. Darüber hinaus erfolgte jedoch die Anwendung verschiedener Klassifikationsansätze sowie eine anschließende Genauigkeitsanalyse, um die konkreten Auswirkungen der verwendeten Fusionsmethoden auf die multispektrale Klassifikation sichtbar zu machen.

2 Methoden der Bildfusion

Bei der verwendeten Satellitenszene handelt es sich um Daten des IKONOS-Systems. Da die verwendete Szene bereits geometrisch korrigiert ist, beschränkte sich die Vorverarbeitung auf die Umwandlung in *Top of Atmosphere* (TOA)-Reflektanzen nach (TAYLOR 2005).

In der vorliegenden Studie werden fünf verschiedene Fusionsverfahren verglichen. Je nach Fusionsmethode wird noch zwischen den Resamplingmethoden *nearest neighbour*, *bilinear interpolation* oder *cubic convolution* (vgl. KRAUS & SCHNEIDER 1988) unterschieden, woraus sich eine Vielzahl von Kombinationen aus Fusions- und Resamplingmethoden ergibt. Tabelle 1 gibt eine Übersicht aller generierten und geschärften Szenen.

HSV-Fusion (HSV)

Eine alternative Darstellung des RGB-Farbmodells ist das HSV-Farbmodell, bei dem eine Farbe durch den Farbton (hue), die Farbsättigung (saturation) und die Dunkelstufe (value) definiert wird. Bei der HSV-Fusion wird zunächst das RGB-Bild in den HSV-Farbraum transformiert. Dann wird das Value-Band, also der Kanal, der die Information für die Helligkeit enthält, durch den hochauflösenden, panchromatischen Kanal ersetzt. Abschließend wird vom HSV-Farbraum wieder zurück in den RGB-Farbraum transformiert. Bei dieser Fusion können nur maximal drei Kanäle geschärft werden (ITT Visual Information Solutions 2009).

Brovoy-Transformation (Brovey)

Die Brovey-Transformation (oder auch Color Normalized Sharpening) beschreibt eine mathematische Kombination der multispektralen Bänder und der geometrisch hochauflösenden Daten. Jedes durch Resampling erstellte multispektrale Pixel wird mit dem Verhältnis der entsprechenden panchromatischen Pixelintensität zur Summe aller multispektralen Intensitäten multipliziert. Diese Technik geht davon aus, dass der Spektralbereich des PAN-Kanals deckungsgleich mit dem der multispektralen Kanäle ist. Auch bei dieser Transformation ist es nicht möglich, mehr als drei Kanäle zu schärfen (SARP 2014).

Hauptkomponententransformation (PC)

Für eine solche Transformation werden zunächst die Hauptkomponenten des Multispektraldatensatzes berechnet. Danach wird die erste Hauptkomponente durch das panchromatische Band ersetzt, dieses wird jedoch auf den Wertebereich der ersetzten Hauptkomponente skaliert, sodass keine spektrale Verzerrung eintritt. Anschließend erfolgt eine inverse Hauptkomponententransformation. Die Multispektraldaten werden dann wieder mithilfe einer der Resampling-Methoden automatisch auf die Pixelgröße des panchromatischen Kanals komprimiert (ITT Visual Information Solutions 2009).

Color Normalized Spectral Sharpening (CNss)

CN Spectral Sharpening ist eine Erweiterung des Color Normalized (Brovey) Algorithmus und gruppiert die multispektralen Eingangsdaten anhand des Spektralbereichs des panchromatischen Bandes in spektrale Segmente. Die Multispektraldaten werden nur geschärft, wenn sie im Spektralbereich des panchromatischen Bandes liegen. Der Spektralbereich des PAN-Kanals wird durch die Zentralwellenlänge sowie die volle Halbwertsbreite (Full Width-half Maximum FWHM) definiert. Jedes der Multispektralbänder wird mit dem geometrisch hochauflösenden Kanal multipliziert und danach normalisiert (KUMAR 2009).

Gram-Schmidt-Fusion (GS)

Bei dieser Sharpening-Methode wird auf Grundlage der Multispektralkanäle ein panchromatisches Band simuliert. Im Allgemeinen wird dies durch Mittelung der multispektralen Kanäle erreicht. Im nächsten Schritt erfolgt eine Gram-Schmidt-Orthogonalisierung für das simulierte sowie die multispektralen Bänder, wobei das simulierte panchromatische Band als erstes Band verwendet wird. Anschließend wird der geometrisch hochauflösende PAN-Kanal mit dem ersten Gram-Schmidt-Band ausgetauscht. Schließlich erfolgt eine inverse Gram-Schmidt-Transformation, um die PAN-geschärften, multispektralen Bänder zu generieren. Wichtig dabei ist, dass die Multispektraldaten im Spektralbereich des PAN-Kanals liegen, andernfalls werden diese beim Resampling-Prozess nicht berücksichtigt (KLONUS & EHLERS 2009).

Tabelle 1: Übersicht der generierten Fusionsergebnisse, VIS: Kanäle des sichtbaren Spektrums (blau, grün, rot), NIR: nahes Infrarot. PC: Hauptkomponententransformation, CNss: Color Normalized Spectral Sharpening, GS: Gram-Schmidt-Fusion

Resampling- methode \ Fusions- methode	nearest neighbour	bilinear interpolation	cubic convolution	keine
HSV	VIS	VIS	VIS	
Brovey	VIS	VIS	VIS	
PC	VIS, NIR	VIS, NIR	VIS NIR	
CNss				VIS, NIR
GS	VIS, NIR	VIS, NIR	VIS, NIR	

3 Bewertungsschema

Das grundlegende Prinzip der Bewertung in dieser Studie ist der Vergleich der originären Daten mit denen der Fusionsergebnisse. Die Bewertung erfolgt dabei nicht nur visuell und auf Basis statistischer Ansätze, sondern auch hinsichtlich der Auswirkungen auf verschiedene multispektrale Klassifikationsmethoden. Zu diesem Zweck wurde folgendes Bewertungsschema entwickelt.

3.1 Visuelle Auswertung

Eine Möglichkeit der Anwendung des Pansharpening ist die Bereitstellung von optisch ansprechenden Bildern für visuelle Interpretationen. Aus diesem Grund wurde zunächst die rein visuelle Qualität der geschärften Szenen verglichen. Wichtig dabei ist, dass die Bilder kontrastreich sind und den Eindruck von Schärfe vermitteln. Außerdem sollten keine spektralen Veränderungen in Form von abweichender Farbtreue auftreten.

3.2 Histogrammanalyse

Während des Pansharpenings unterliegen die Bilder spektralen Veränderungen. Die spektrale Qualität der geschärften Bilder kann ermittelt werden, indem die Veränderungen der Grauwerte zwischen den Fusionsergebnissen und den multispektralen Ausgangsdaten untersucht werden (SARP 2014). Hauptkriterium bilden also die Grauwerte. Umso größer die Unterschiede zwischen den geschärften Bildern und dem originalen Multispektraldatensatz sind, desto schlechter blieben die spektralen Informationen erhalten.

Die Analyse der Grauwerte erfolgte mithilfe von Histogrammvergleichen. Dafür wurden zunächst die Statistiken der Szenen exportiert und deren Wertebereich mithilfe der 2,5-fachen Standardabweichung angepasst. Verglichen wurden alle einzelnen Kanäle der Fusionsergebnisse mit den korrespondierenden Kanälen des Ausgangsdatensatzes sowie alle Bänder einer Szene untereinander. Aus diesen überarbeiteten Datenreihen wurden anschließend relevante Parameter wie der Modalwert, das Minimum und Maximum sowie die Histogramme des jeweiligen Kanals berechnet.

3.3 Vergleich der spektralen Merkmalsräume

Die Pixel eines digitalen, multispektralen Bildes lassen sich durch ihre Lage in einem mehrdimensionalen Merkmalsraum (engl. *feature space*) beschreiben. Jeder spektrale Kanal einer Szene entspricht dabei einer Achse dieses multidimensionalen Koordinatensystems. Die Reflexionseigenschaften der Objektpunkte in den einzelnen Bändern bilden die Koordinaten auf diesen Achsen. Dadurch kann jedes Pixel eindeutig im Merkmalsraum positioniert werden (LILLESAND 2004). Werden diese Eigenschaften durch Bildschärfungsmethoden verändert, so müsste sich deren Lage im *feature space* ebenfalls verändern. Aus diesem Grund wurden zweidimensionale Merkmalsräume der geschärften Szenen erstellt und mit denen des Originaldatensatzes verglichen. Außerdem wurden identische Signaturen von bestimmten Oberflächentypen in den Bildern selbst ausgewählt (mithilfe von Trainingsgebieten), um diese dann im Merkmalsraum der jeweiligen Szene zu markieren. Dadurch lassen sich Veränderungen der spektralen Eigenschaften von Objekttypen erkennbar machen.

3.4 Klassifikation

Hier wurde untersucht, wie sich die Pansharpening-Methoden auf die multispektrale Klassifikation auswirken. Dazu kam für den originalen Datensatz und jedes Fusionsergebnis sowohl ein pixel- als auch objektbasiertes Verfahren zum Einsatz. Die pixelbasierte maximum-likelihood-Klassifikation wurde mithilfe der Software ERDAS IMAGINE durchgeführt, die objektbasierte mit dem Programm eCognition. Anschließend erfolgte eine Bewertung der Klassifikationsergebnisse in Form von Genauigkeitsanalysen. In dieser Studie wurden für jedes Klassifikationsergebnis 350 Zufallspunkte nach der *stratified random*-Methode generiert. Bei diesem Prinzip hängt die Anzahl der Zufallspunkte einer Klasse von der Häufigkeit eben dieser ab (ERDAS FIELD GUIDE 1999). Anschließend wurden die zugewiesenen Klassen der Zufallspixel mit den tatsächlichen abgeglichen, wodurch sich die relativen Genauigkeiten der einzelnen Objektklassen und Szenen errechnen lassen (ERDAS FIELD GUIDE 1999).

Mithilfe der Genauigkeitsanalyse war es möglich, Aussagen darüber zu treffen, in welcher Art und Weise bzw. in welchem Ausmaß die verschiedenen Verfahren des Pansharpening die multispektrale Klassifikation der Ausgangsdaten beeinflussen und ob Unterschiede bezüglich einzelner Objektklassen erkennbar sind.

4 Ergebnisse

4.1 Visuelle Auswertung

Der visuelle Vergleich zeigte, dass die Qualität der Ergebnisse je nach Schärfungsmethode variiert. Dabei spielen die Schärfe sowie der Erhalt der spektralen Eigenschaften eine große Rolle. Die Fusionsergebnisse der Brovey-Transformation und des CN Spectral Sharpening wiesen eine Verschiebung des Blau-Kanals auf, wodurch die Bilder insgesamt kühler wirken. Diese beiden Ergebnisse besitzen jedoch eine gute Schärfe. Ähnlich verhielt es sich auch mit der HSV-Fusion. Die Änderung der spektralen Eigenschaften äußerte sich hierbei jedoch in relativ blassen Bildern. Die Hauptkomponententransformation generierte Szenen mit einem hohen Maß an Farbtreue, aber bei der Qualität der geometrischen Schärfung wurde deutlich, dass auch die Resampling-Methode einen Einfluss auf die Fusionsergebnisse hat. Die Gram-Schmidt-Transformation generierte Bilder, die sowohl im Hinblick auf den Erhalt der spektralen Eigenschaften, als auch auf die Schärfe überzeugen konnten und deshalb für rein visuelle Zwecke am besten geeignet sind.

4.2 Histogrammanalyse

Die Auswertung der Histogramme zeigte, dass es auch hier Unterschiede im Ausmaß der Abweichungen zwischen Fusionsergebnis und Ausgangsdatsatz gibt. Besonders eklatant waren die Veränderungen des Blau-Kanals bei der Brovey-Transformation und des CN Spectral Sharpening, wodurch es auch zu einer Änderung der Mischungsverhältnisse kam. Auch die Ergebnisse der HSV-Fusion unterlagen deutlichen Abweichungen. Die geschärften Bilder der Gram-Schmidt-Transformation unterschieden sich ebenfalls von der Ausgangsszene, wenn auch in geringerem Ausmaß als bei den zuvor beschriebenen Methoden. Die geringsten Abweichungen traten bei den Fusionsergebnissen der Hauptkomponenten-

transformation auf. Im Gesamten betrachtet hat jedoch keine der geschärften Szenen den spektralen Charakter der Ausgangsszene erhalten.

Tabelle 2 zeigt die aus der überarbeiteten Statistik einer geschärften Szene berechneten Parameter. Abbildung 1 illustriert beispielhaft eines der dazugehörigen Histogramme.

Tabelle 2: Statistischer Vergleich der Kanäle des Fusionsergebnisses des CN spectral sharpening (CNss) mit denen des Ausgangsdatensatzes (ORG). Mod: Modalwert. Max: höchster Grauwert. Min: kleinster Grauwert. Abw Mod: Abweichung vom originalen Modalwert. Ädng Wb: Änderung des Wertebereichs bezogen auf den originalen (Datenquelle: EUSI).

Kanal	Methode	Mod	Max	Min	Abw Mod	Ädng Wb	Abw Mod%	Ädng Wb%
Blau	CNss	1390,69	2295,92	485,46	319,16	555,46	25,43	44,26
	ORG	1071,53	1851,66	596,66				
Grün	CNss	1272,80	2307,96	190,59	285,29	394,81	16,56	22,92
	ORG	987,51	1980,17	257,61				
Rot	CNss	983,02	2571,26	2,04	247,49	303,19	10,92	13,38
	ORG	735,53	2270,58	4,55				
NIR	CNss	2228,36	5870,67	2,51	123,67	1362,85	2,75	30,25
	ORG	2104,69	4624,61	119,30				

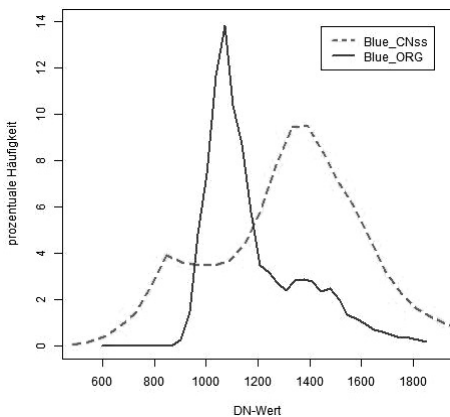


Abb. 1: Prozentuale Häufigkeit des entsprechenden Grauwertes. Gestrichelte Linie: Histogramm des Fusionsergebnisses des CN spectral sharpening. Durchgezogene Linie: Histogramm des Ausgangsdatensatzes. Blauer Kanal (Datenquelle: EUSI).

Aus der Tabelle geht hervor, dass der Wertebereich des blauen Kanals durch das Color Normalized Spectral Sharpening gegenüber dem Original um 44,26 % vergrößert wurde und der Modalwert um 25,43 % abweicht. Diese Veränderungen spiegeln sich auch im dazugehörigen Histogramm wider. Der Verlauf hat sich qualitativ und quantitativ geändert. Das bedeutet, dass dieser geschärfte Kanal sich spektral deutlich vom Original unterscheidet.

4.3 Auswertung der spektralen Merkmalsräume

Einen weiteren Schwerpunkt bildete die Analyse der spektralen Merkmalsräume. Durch den Vergleich zweidimensionaler Merkmalsräume konnten Aussagen über die Veränderung der Häufigkeiten zwischen dem Ausgangsdatensatz und den Fusionsergebnissen getroffen werden. Es hat sich gezeigt, dass der überwiegende Teil der *feature spaces* nicht mehr dem des originalen entsprach und teilweise deutlichen Veränderungen unterlag. Die Häufigkeitsverteilungen nach der Schärfung unterscheiden sich drastisch zur Clusterbildung des originalen Datensatzes. In bestimmten Regionen hat sich die Häufigkeit der vorkommenden Objektpunkte erhöht und in anderen verringert. Einzig das Color Normalized Spectral Sharpening generiert spektrale Merkmalsräume, die denen des Ausgangsdatensatzes vergleichbar waren. Mithilfe von Signaturen, welche zuvor durch Trainingsgebiete im Bild erstellt wurden, war es möglich, auch die Streuung bestimmter Klassen zu überprüfen. Dabei wurde festgestellt, dass es bei den geschärften Szenen zu einer Vergrößerung der Streuung und damit zur Vergrößerung der Überlappungsbereiche zwischen den Klassen selbst – gegenüber dem Original – kam. Dies wiederum hat eine schlechtere Trennbarkeit der Objektklassen zur Folge.

4.4 Beurteilung der Klassifikation

Den letzten Auswertungsschritt stellte ein Vergleich der Klassifikationsergebnisse dar. Mithilfe von Genauigkeitsanalysen wurde die Klassifikationsgüte der jeweiligen Szene bzw. der darin erstellten Klassen ermittelt. Tabelle 3 zeigt, dass keines der Fusionsergebnisse eine ähnlich hohe Gesamtgenauigkeit erreichte, wie der Ausgangsdatensatz.

Tabelle 3: Überblick der erreichten Gesamtgenauigkeiten für die jeweilige Fusion

Szene	Gesamtgenauigkeit	
	pixelbasiert	segmentbasiert
ORG	87,43 %	83,43 %
HSV	64,00 %	76,29 %
Brovoy	68,00 %	78,57 %
PC	77,71 %	72,86 %
GS	72,86 %	74,29 %
CNss	82,86 %	79,14 %

Die Verschlechterung der Gesamtgenauigkeiten ist auf bestimmte Klassen zurückzuführen. Bei den Klassen der PC-Methode verursachten beispielsweise besonders die Grünflächen eine Verschlechterung der Gesamtqualität. Meist erreichten die Klassen der Fusionsergebnisse geringere Genauigkeiten als die der originalen Szene. Es gibt jedoch vereinzelt Ausnahmen, wie z. B. die Sandflächen. Diese konnten in einigen Fusionsergebnissen zuverlässiger klassifiziert werden als im Ausgangsdatensatz, hierbei spielt jedoch auch die Resampling-Methode eine Rolle. Die schlechtesten Klassifikationen ergaben sich bei den Bildern, die durch die Brovay- und durch die HSV-Transformation generiert wurden. Die Klassen der durch das CN Spectral Sharpening geschärften Szene wiesen unter allen Fusionsergeb-

nissen die besten Genauigkeiten auf, sowohl bei dem pixel- als auch dem segmentbasierten Verfahren.

4.5 Bewertungsmatrix

Tabelle 4 gibt eine Übersicht der Qualität der einzelnen Fusionsergebnisse, bezogen auf das jeweilige Bewertungsschema. Hieraus ist ersichtlich, dass die Methode CNss zwar beim visuellen Vergleich sehr schlecht abschneidet, jedoch hinsichtlich der erreichbaren Klassifikationsergebnisse die besten Ergebnisse liefert. Umgekehrt verhält es sich bei der Gram-Schmidt-Fusion, welche zwar optische ansprechende Ergebnisse liefert, bei der Klassifikation jedoch nur mäßig abschneidet. Mit Blick auf konkrete Aufgaben- und Zielstellungen kann diese Tabelle als Entscheidungshilfe bei der Wahl des Schärfungsverfahrens dienen.

Tabelle 4: Bewertungsmatrix für die verschiedenen Fusionsverfahren und Bewertungsmethoden. ++ sehr gut, + gut, o mittel, - schlecht, -- sehr schlecht, / nicht vorhanden. Nearest neighbour (nn), bilinear interpolation (bi), cubic convolution (cc).

Fusionsverfahren \ Bewertungsmethode		Visueller Vergleich	Histogramm	Merkmalsraum	Klassifikation
HSV	nn	-	o	-	--
	bi	o	o	-	--
	cc	o	o	-	--
Brovey	nn	-	--	-	-
	bi	-	--	-	-
	cc	-	/	/	/
PC	nn	o	+	o	o
	bi	+	+	o	o
	cc	+	+	o	o
GS	nn	+	+	o	o
	bi	++	+	o	o
	cc	++	+	o	o
CNss		-	-	+	+

5 Fazit

Ziel der Untersuchung war die Frage, welchen Mehrwert das Pansharpening, über die bessere Interpretierbarkeit der Daten hinaus, bei der Anwendung multispektraler Klassifikationen haben könnte. Um dieser Frage nachzugehen, wurden verschiedene Methoden der Auswertung durchgeführt. Mithilfe einer visuellen und einer statistischen Analyse sowie dem Vergleich der spektralen Merkmalsräume und der Genauigkeiten konnten Unterschiede in den Resultaten der Bildfusionen festgestellt und gleichzeitig Auswirkungen dieser bei klas-

sischen fernerkundlichen Aufgaben, wie beispielsweise multispektralen Klassifikationen nachgewiesen werden.

Bezogen auf den Anwendungsfall der multispektralen Klassifikation muss aus diesem Grund festgehalten werden, dass ein objektiver Mehrwert nicht nachgewiesen werden kann. Damit vervollständigen die Ergebnisse die Angaben von YUHENDRA et al. (2012) auf den Bereich der pixelbasierten Klassifikation sowie der objektbasierten Verfahren.

Das bedeutet, wenn eine Szene klassifiziert werden soll, bildet die Bildfusion keinen empfehlenswerten Vorverarbeitungsschritt. Es muss jedoch klar herausgestellt werden, dass es sich hierbei um ein Fallbeispiel handelt und daraus keine allgemeingültigen Aussagen abgeleitet werden sollten. Wie auch bereits WITHARANA et al. (2013) nahegelegt haben, hängt die Eignung einer Fusionsmethode sowohl von der verwendeten Szene als auch von der Zielstellung ab. Diese Feststellung muss daher klar auf den verwendeten IKONOS-Sensor beschränkt werden. Deshalb ist es nötig die primäre Erkenntnis zu konkretisieren. Pansharpening hat einen besonderen Stellenwert für die schnelle visuelle Erfassung, bei der der Mensch in der Lage ist, radiometrische Unterschiede auszugleichen. Der Wert dieses Verfahrens kommt immer dann zum Tragen, wenn fernerkundliche Auswerteprozeduren auf visuell getroffenen Entscheidungen aufbauen. Im Fall der hier durchgeführten multispektralen Klassifikation bedeutet dies, dass die Ergebnisse des Pansharpening durchaus geeignet sind, den Prozess der Klassifikation in der Phase der Bestimmung geeigneter Trainingsgebiete gewinnbringend zu unterstützen. Für den eigentlichen Prozess der Klassifikation sollten diese Trainingsgebiete jedoch in den originären Datensatz übertragen werden. Dennoch muss festgehalten werden, dass der Wert durch Pansharpening-Verfahren verbesserter multispektraler Bilder für die visuelle Interpretation und für Demonstrationszwecke unbestritten ist.

Literatur

- AMRO, I., MATEOS, J., VEGA, M., MOLINA, R. & KATSAGGELOS, A. K. (2011), A survey of classical methods and new trends in pansharpening of multispectral images. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing* 2011, 22.
- CHIKR EL-MEZOUAR, M., TALEB, N., KPALMA, K. & RONSIN, J. (2011), An IHS-based fusion for color distortion reduction and vegetation enhancement in IKONOS imagery. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 49 (5), 1590-1602.
- EHLERS, M., KLONUS, S., JOHAN ÅSTRAND, P. & ROSSO, P. (2010), Multi-sensor image fusion for pansharpening in remote sensing. *International Journal of Image and Data Fusion*, 1 (1), 25-45.
- ERDAS FIELD GUIDE (1999), ERDAS Field Guide. <http://www.gis.usu.edu/unix/Imagine/FieldGuide.pdf>. (26.11.2014).
- ITT VISUAL INFORMATION SOLUTIONS (2009), ENVI Help.
- KLONUS, S. & EHLERS, M. (2009), Performance of evaluation methods in image fusion. <http://www.isif.org/fusion/proceedings/fusion09CD/data/papers/0136.pdf> (27.01.2015).
- KRAUS, K. & SCHNEIDER, W. (1988), Fernerkundung. Band 1: Physikalische Grundlagen und Aufnahmetechniken. Ferd. Dümmlers Verlag, Bonn.
- KUMAR, U. et al. (2009), Pixel based fusion using IKONOS imagery. *International Journal of Recent Trends in Engineering*, 1 (1). <http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/energy/paper/ikonos/ijrte0101173177.pdf> (26.11.2014).

- KUMAR, U., DASGUPTA, A., MUKHOPADHYAY, C., JOSHI, N. V. & RAMACHANDRA, T. V. (2011), Comparison of 10 multi-sensor image fusion paradigms for IKONOS images. *International Journal of Research and Reviews in Computer Science (IJRRCS)*, 2 (1), 40-47.
- LILLESAND, T. M. et al. (2004), *Remote Sensing and Image Interpretation*. 5. Aufl. John Wiley & Sons, Inc.
- MONTZKA, C. (2007), Einsatz von multispektralen Satellitenbildern in der Wasserhaushalts- und Stoffstrommodellierung – dargestellt am Beispiel des Rureinzugsgebietes. Forschungszentrum Jülich 2008.
- PETTY, G. W. (2006), *A First Course In Atmospheric Radiation*. Sundog Publishing.
- POHL, C. & VAN GENDEREN, J. L. (1998), Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. *International Journal of Remote Sensing*, 19 (5), 823-854.
- SARP, G. (2014), Spectral and spatial quality analysis of pan-sharpening algorithms: A case study in Istanbul. *European Journal of Remote Sensing*, 47, 19-28.
http://server-geolab.agr.unifi.it/public/completed/2014_EuJRS_47_19_28_Sarp.pdf (26.11.2014).
- STEINNOCHER, K., GANGKOFNER, U. & KÖSTL, M. (2007), Vergleich der spektralen und strukturellen Qualität der Fusion sehr hochauflösender Fernerkundungsbilder. In: STROBL, J., BLASCHKE T. & GRIESEBNER G. (Eds.), *Angewandte Geoinformatik 2007*. Wichmann, Heidelberg, 781-786.
- TAYLOR, M. (2005), IKONOS Planetary Reflectance and Mean Solar Exoatmospheric Irradiance. https://apollomapping.com/wp-content/user_uploads/2011/09/IKONOS_Esun_Calculations.pdf (26.11.2014).
- WITHARANA, C., CIVCO, D. L. & MEYER, T. H. (2013), Evaluation of pansharpening algorithms in support of earth observation based rapid-mapping workflows. *Applied Geography*, 37, 63-87.
- YUHENDRA, ALIMUDDIN, I., SUMANTYO, J. T. S. & KUZE, H. (2012), Assessment of pan-sharpening methods applied to image fusion of remotely sensed multi-band data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18, 165-175.