

---

# Vorverarbeitung hyperspektraler Fernerkundungsdaten – Besonderheiten und Methodenevaluation

Daniel SCHEFFLER und Pierre KARRASCH

TU Dresden · danschef@gmail.com

## Zusammenfassung

Radiometrische und geometrische Korrekturen sind ein wichtiger Bestandteil der Vorverarbeitung fernerkundlicher Daten. Speziell für hyperspektrale Daten des EO-1 Hyperion-Sensors werden verschiedene Algorithmen zur Korrektur von Bildstreifen und des Smile-Effekts vergleichend analysiert und bewertet. Mithilfe der vorgestellten Ergebnisse ist es möglich, Empfehlungen abzuleiten, die dem Anwender auf Basis unterschiedlicher Bewertungskriterien eine nützliche Entscheidungshilfe zur Verfügung stellen.

## 1 Einleitung und Problemstellung

Sowohl für multispektrale als auch für hyperspektrale Fernerkundungsdaten gilt, dass eine thematische Auswertung nur dann qualitativ hochwertig sein kann, wenn verschiedene Schritte der Vorverarbeitung durchgeführt werden. Dabei müssen radiometrische Korrekturen grundsätzlich vor geometrischen Korrekturen durchgeführt werden. Der Schwerpunkt der hier durchgeführten Untersuchungen liegt auf den radiometrischen Korrekturen aufgrund sensorinterner Effekte. Dazu gehören insbesondere Effekte des systematischen und diffusen Sensorrauschens, die zu mehr oder weniger regelmäßigen, auch visuell erkennbaren Streifen im Bild führen (Striping), oder eine ungleichmäßige Detektorempfindlichkeit während der Sensor-Betriebszeit. Ebenso kann die räumlich fehlerhafte Koregistrierung verschiedener Sensor-Arrays zu Lagedifferenzen der Aufnahmen unterschiedlicher Teilspektrometer eines Instrumentes führen. Für hyperspektrale Sensoren, die auf dem Pushbroom-Prinzip basieren (Zeilenscanner), kann es außerdem zu spektralen und räumlichen Verzerrungen der Bildinformation kommen (SCHOWENGERDT 2007, PERKINS et al. 2005). Das führt zu dem Resultat, dass die einzelnen Detektoren des Sensors nicht exakt den Spektralbereich messen, für den sie eigentlich bestimmt sind. Dieser Effekt der spektralen Verschiebung der Kanalmitten und -breiten wird als Smile-Effekt bezeichnet.

Aus diesem Katalog unterschiedlicher sensorinterner, radiometrischer Einflüsse wurden der Striping- und der Smile-Effekt ausgewählt und entsprechende Korrekturalgorithmen evaluiert. Dazu diente ein Datensatz des EO-1 Hyperion-Sensors, der einen  $7,7 \text{ km} \times 96 \text{ km}$  großen Ausschnitt einer mitteleuropäischen Region abdeckt.

## 2 Methodenevaluierung – Destripping

### 2.1 Methoden des Destripping

Im Rahmen der hier vorgestellten Vergleichsstudie wurde die Wirkungsweise von insgesamt sechs Verfahren unterschiedlicher Charakteristik getestet.

*ENVI Hyperion-Tools*: Das in die Software ENVI implementierte Tool bietet mit der Option „Flag Mask Correction“ beim Import der Hyperion-Daten die Möglichkeit vordefinierte Bildstreifen-Positionen zu korrigieren.

*ENVI-SPEAR-Tools – Vertical Stripe Removal*: Das ebenfalls in die Software ENVI implementierte Verfahren ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch schlecht dokumentiert und lässt somit keine Aussagen zur genauen Funktionsweise des zu Grunde liegenden Algorithmus zu. Nach ITTVIS (2009) lässt sich jedoch schließen, dass es sich um einen global-statistischen Ansatz handelt.

*ENVI General Purpose Utilities – Destripe*: Mit diesem ursprünglich für Daten des Landsat-MSS-Sensors entwickelten Tool, lassen sich horizontale Streifen in Satellitendaten korrigieren (ITTVIS 2009). Durch eine einfache Drehung des Hyperion-Datensatzes (Level-1R) um 90° lässt sich dieses Verfahren auch für diesen Sensor anwenden.

*Local Destripping nach DATT et al. (2003)*: Der Algorithmus basiert auf einem lokal-statistischen Ansatz, bei dem Mittelwert und Standardabweichung von Bildspalten in einem definierten Suchfenster verglichen werden. Wird ein vorgegebener Schwellwert überschritten, wird die betroffene Spalte mithilfe der benachbarten Spalten neu berechnet.

*Periodic Noise Removal*: Entwickelt wurde dieses in ERDAS Imagine implementierte Tool für regelmäßig auftretende Rauschmuster. Der Algorithmus verwendet kanalweise eine Fourier-Transformation des Datensatzes in den Frequenzraum. Auftretende periodische Artefakte erzeugen dort charakteristische Muster, die sich mit entsprechenden Frequenzfiltern beseitigen lassen (ERDAS Inc. 2010).

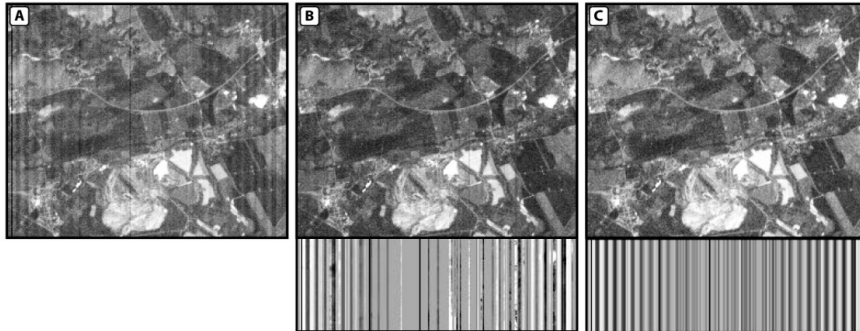
*Wavelet Fourier Adaptive Filtering nach PANDE-CHHETRI und ABD-ELRAHMAN (2011; 2012)*: Der Algorithmus basiert auf einer Wavelet-Zerlegung in Kombination mit einer adaptiven Filterung im Frequenzbereich. Nach der Zerlegung des Bildes in verschiedene Wavelet-Komponenten werden einige von ihnen mithilfe einer Fourier-Transformation in den Frequenzraum transformiert und dort entsprechenden Filterungen unterzogen, bevor eine Rücktransformation erfolgt. Optional ist es auch möglich, vorher eine MNF-Transformation durchzuführen (Minimum Noise Fraction).

### 2.2 Ergebnisse des Destripping

Der Vergleich der im vorangegangenen Kapitel vorgestellten Verfahren erfolgte auf der Basis von drei Analysen. Neben dem visuellen Eindruck, also der Frage, ob noch Streifen im Datensatz erkennbar sind, wurde auch erhoben, welche konkreten Bildspalten je Spektralkanal von der Korrektur betroffen waren. Darüber hinaus wurde analysiert, welchen Ausmaßes die Veränderungen waren, also wie stark die originären Spektralinformationen verändert worden sind.

In Abbildung 1 ist der unkorrigierte Hyperion-Datensatz beispielhaft dem Ergebnis der Methode nach DATT et al. (2003) sowie dem Ergebnis des Wavelet Fourier Adaptive Filtering gegenübergestellt.

Der Vergleich der Ergebnisse verschiedener Verfahren zeigt, dass visuell beurteilt, die einzelnen Destriping-Verfahren eine sehr unterschiedliche Qualität aufweisen. Zeigt die *Flag Mask Correction* (Hyperion Tools), aber auch die *ERDAS Periodic Noise Reduction* keine oder nur sehr geringe Verbesserungen der Darstellung, liefert beispielsweise das *Wavelet Fourier Adaptive Filtering* deutlich bessere Ergebnisse (vgl. Abb. 1, rechts).



**Abb. 1:** Vergleich der Wirkungsweise unterschiedlicher Destriping Verfahren (Hyperion Kanal 8): links (A): unkorrigierter Hyperion-Datensatz; Mitte (B): Verfahren nach DATT et al. (2003); rechts (C): Wavelet Fourier Adaptive Filtering; unten: Differenz aus korrigiertem minus unkorrigiertem Datensatz

Es ist zu erkennen, dass die Destriping Methoden einen quantitativ sehr unterschiedlichen Einfluss auf den verwendeten Datensatz haben. Einige der Verfahren wirken dabei sowohl räumlich (Bildspalte) als auch spektral (Spektralkanal) nur sehr selektiv. Andere Verfahren hingegen verändern nahezu die komplette Spektralinformation.

Dabei lässt allein der Umstand der Änderung eines Pixelwertes in einem bestimmten Spektralkanal noch keine Aussagen bezüglich der radiometrischen Güte der Korrekturmethode zu. Dazu ist es notwendig auch das Maß der Veränderung zu analysieren. So zeigt sich, dass beispielsweise die Spaltenmittelwerte des Datensatzes nach dem *Wavelet Fourier Adaptive Filtering* qualitativ deutlich besser dem Verlauf des unkorrigierten Datensatzes folgen (der als radiometrisch ideal angenommen werden muss) als das für das Verfahren nach DATT et al. (2003) der Fall ist. Obwohl sich auch die Anzahl der korrigierten Spalten in den entsprechenden Spektralkanälen deutlich unterscheidet, sind visuell kaum Unterschiede zwischen den jeweiligen Ergebnissen wahrnehmbar (vgl. Abb. 1).

### 2.3 Bewertung des Destriping

Neben der Beurteilung der vorgestellten Verfahren entsprechend der oben vorgestellten Ergebnisse sollten im Rahmen der durchgeführten Analyse auch noch weitere, etwas weichere Faktoren eine Rolle spielen. Für eine Vielzahl der Nutzer von hyperspektralen Daten wie beispielsweise EO-1 Hyperion spielen Randbedingungen wie der Arbeitsaufwand für die Vor- bzw. Nachbereitung der Daten, der eigentliche Rechenaufwand sowie die Imple-

mentierung der entsprechenden Algorithmen in vorhandene Softwarepakete ebenfalls eine Rolle (vgl. Tab. 1).

**Tabelle 1:** Bewertung der Destriping-Verfahren (Bewertungsskala: ++, +, 0, -, --)

Destriping-Verfahren	Vergleichskriterium				Rechenaufwand (inkl. Vor- u. Nachbereitung)	Rechenaufwand	Software-Implementierung	Gesamtergebnis			
	visueller Eindruck	Bildstreifen- Korrektur	Korrektur v. diff. Bildrausch.	Erhaltung originärer Spektral- inform.							
ENVI Hyperion Tools – Flag Mask Correction	-	0	++	++	0,08 %	++	ENVI	0			
ENVI SPEAR-Tools – Vertical Stripe Removal	++	0	-	-	98,6 %	+	ENVI	0			
ENVI General Purpose Utilities – Destripe	++	0	-	-	99,2 %	0	ENVI	0			
Local Destriping nach DATT et al. 2003	Filterbreite 21	+	0	++	++	18,5 %	++*	0	MATLAB	+	
	Filterbreite 41	+	0	++	++	23,0 %	++*	0	MATLAB	+	
	Filterbreite 41, 1x 5	+	0	++	++	23,6 %	++*	0	MATLAB	+	
ERDAS – Periodic Noise Removal	MAF 3	-	0	+	+	100 %	-	--	ERDAS	-	
	MAF 50	-	0	+	+	100 %	-	--	ERDAS	-	
	MAF 90	-	0	+	+	100 %	-	--	ERDAS	-	
<i>direkt</i>	+	0	-	-	95,5 %	+	+	MATLAB	+		
WFAF-Destriping n. PANDE-CHHETRI & ABD-ELRAHMAN 2011	inkl. Flag Mask Correction + Fehlspalten-Korrektur, <i>direkt</i>	++	0	++	++	94,6 %	+	*	-	MATLAB	++
	Flag Mask Correction + Fehlspalten-Korrektur <i>MNF-Raum</i>	++	++	0	+	100 %	+	*	0	MATLAB	++

\* Die Beurteilung bezieht sich auf die fertig programmierten MATLAB-Skripte.

\*\* signal-to-noise ratio – Signal-Rausch-Verhältnis

### 3 Methodenevaluierung – Desmiling

#### 3.1 Methoden des Desmiling

Wie bereits bei den Verfahren zum Destriping gesehen, sollen an dieser Stelle die getesteten Desmiling-Verfahren kurz erläutert werden.

*ENVI Hyperion-Tools – Interpolate data to common wavelength set:* Das Verfahren verwendet einen Kalibrierdatensatz mit kalibrierten Positionen der Kanalmitten und -breiten, der noch vor dem Start des EO-1 Satelliten unter Laborbedingungen bestimmt worden ist. Es erfolgt eine Neuberechnung der gesamten Signatur eines jeden Hyperion-Pixels. Die Korrektur kann dabei mithilfe einer linearen oder quadratischen Interpolation erfolgen. *Desmiling nach GOODENOUGH et al. (2003):* Bei diesem Verfahren erfolgt eine Anpassung der Spalten-Mittelwerte in jedem Kanal an den Mittelwert des gesamten Kanals. Die Anwendung des Verfahrens selbst kann im Radianzbild oder im MNF-Raum erfolgen.

*ENVI Cross-Track Illumination Correction im MNF-Raum:* Dieses Verfahren setzt nicht, wie das Vorangegangene, alle Spaltenmittelwerte gleich, sondern verwendet eine Polynom-Korrektur im ersten MNF-Kanal, mit dem Ziel, den Helligkeitsgradienten dort zu entfernen.

### 3.2 Ergebnisse des Desmiling

Die sinnvolle Visualisierung des korrigierten Hyperion-Datensatzes ist im herkömmlichen Sinne nicht möglich, da der Effekt in der klassischen Darstellung eines spektralen Kanals als Graustufenbild nicht erkennbar ist. Nach GOODENOUGH et al. (2003) äußert sich ein vorhandener Smile-Effekt jedoch im MNF-Kanal 1 als Helligkeitsgradient quer zur Sensor-Flugrichtung. Darüber hinaus wurden beim Desmiling auch die Qualität der Smile-Korrektur durch einen Smile-Indikator nach DADON et al. (2010) sowie durch einen Ansatz analysiert, der versucht die Verschiebung der spektralen Information zu quantifizieren. Als weiteres Kriterium wurde auch geprüft, wie stark die spektralen Signaturen durch ein Desmiling verändert werden. Dies erfolgte einerseits auf der Basis ausgewählter spektraler Signaturen und wurde andererseits anhand der spektralen Ähnlichkeit per *spectral angle* (KRUSE et al., 1993) beurteilt.

### 3.3 Bewertung des Desmiling

Wie bereits beim Destriping wurden die in Abschnitt 4.1 erläuterten Parameter der Bewertung durch drei weitere, weniger gewichtete Parameter des Arbeits- und Rechenaufwandes sowie der Softwareimplementierung erweitert (vgl. Tab. 2).

**Tabelle 2:** Bewertung der Desmiling-Verfahren (Bewertungsskala: ++, +, 0, -, --)

Desmiling-Verfahren		Vergleichskriterium		Grad der Smile-Korrektur		Erhaltung originaler Bildinformation		Arbeitsaufwand (inkl. Vor- u. Nachbereitung)	Rechenaufwand	Software-Implementierung	Gesamtergebnis
		visueller Eindruck im MNF-Bild (Helligkeitsgradient korrigiert?)	Grad der Smile-Korrektur	Erhaltung originaler Bildinformation	Erhaltung originaler Bildinformation						
		laut Smile-Indikator	laut spektr. Verschiebung	laut ausgew. spektr. Signatur	laut Spectral Angle						
ENVI Hyperion Tools – Interpolate to common wavelength set	lineare Interpolation	0	+	0	-	--	++	++	ENVI	--	
	quadrat. Interpolation	++	0	+	-	--	++	++	ENVI	-	
Desmiling nach GOODENOUGH et al. [2003] durch Anpassen der Spaltenmittelwerte	im Radianz-Bild	++	+	++	-	--	0*	+	ENVI, MATLAB	-	
	im MNF-Bild (aus allen Kanälen)	++	++	+	+	0	-*	-	ENVI, MATLAB	+	
	im MNF-Bild (aus VNIR-Kanälen)	++	++	+	++	+	-*	0	ENVI, MATLAB	++	
Desmiling per ENVI Cross-Track Illumination Correction	im MNF-Bild (aus allen Kanälen)	++	++	+	+	0	-*	-	ENVI, MATLAB	+	
	im MNF-Bild (aus VNIR-Kanälen)	++	++	+	++	+	-*	0	ENVI, MATLAB	++	

\* Die Beurteilung bezieht sich auf die fertig programmierten MATLAB-Skripte.

### 3 Schlussfolgerungen

Beim Vergleich der bewerteten Destriping-Methoden kann dem Verfahren *Wavelet Fourier Adaptive Filtering* eine klare Empfehlung ausgesprochen werden. Beim Desmiling führt sowohl das Verfahren nach GOODENOUGH et al. (2003) im MNF-Bild als auch die *ENVI Cross Track Illumination Correction* zu guten Ergebnissen. Insgesamt bessere Resultate liegen dann vor, wenn für die MNF-Transformation ausschließlich die Kanäle im visuellen Spektralbereich sowie im nahen Infrarot (VNIR) verwendet werden. In der bzw. den beschriebenen Kombination/-en werden die besten Ergebnisse für eine Vorverarbeitung von EO-1 Hyperion Daten erwartet.

### Literatur

- DADON, A., BEN-DOR, E., KARNIELI, A. (2010), Use of Derivative Calculations and Minimum Noise Fraction Transform for Detecting and Correcting the Spectral Curvature Effect (Smile) in Hyperion Images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48 (6), 2603-2612.
- DATT, B., MCVICAR, T. R., VAN NIEL, T. G., JUPP, D. L. G. & PEARLMAN, J. S. (2003), Pre-processing EO-1 Hyperion Hyperspectral Data to Support the Application of Agricultural Indexes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41 (6), 1246-1259.
- ERDAS INC. (Ed.) (2010), ERDAS Imagine Help. Norcross, GA, USA.
- GOODENOUGH, D. G., DYK, A., NIEMANN, K. O., PEARLMAN, J. S., CHEN, H., HAN, T., MURDOCH, M., WEST, C. (2003), Processing Hyperion and ALI for forest classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41 (6), 1321-1331.
- ITTVIS – ITT Visual information solutions (2009), Workflow Tools in ENVI (Whitepaper). [http://www.exelisvis.com/portals/0/whitepapers/ENVI\\_Workflows\\_whitepaper.pdf](http://www.exelisvis.com/portals/0/whitepapers/ENVI_Workflows_whitepaper.pdf) (16.12.2012).
- KRUSE, F. A., LEFKOFF, A. B., BOARDMAN, J. W., HEIDEBRECHT, K. B., SHAPIRO, A. T., BARLOON, P. J., GOETZ, A. F. H. (1993), The Spectral Image Processing System (SIPS) Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data. *Remote Sensing of Environment*, 44, 145-163.
- PANDE-CHHETRI, R. & ABD-ELRAHMAN, A. (2011), De-striping hyperspectral imagery using wavelet transform and adaptive frequency domain filtering. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66, 620-636.
- PANDE-CHHETRI, R. & ABD-ELRAHMAN, A. (2012), Filtering high-resolution hyperspectral imagery in a maximum noise fraction transform domain using wavelet-based de-striping. *International Journal of Remote Sensing*, 34 (6), 2216-2235.
- PERKINS, T., ADLER-GOLDEN, S., MATTHEW, M., BERK, A., ANDERSON, G., GARDNER, J., FELDE, G. (2005), Retrieval of Atmospheric Properties from Hyper- and Multi-Spectral Imagery with the FLAASH Atmospheric Correction Algorithm. *Proceedings of SPIE: Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere X*, 5979: 59790E-1 – 59790E-11.
- SCHOWENGERDT, R. A. (2007), *Remote Sensing. Models and Methods for Image Processing*. 3. Auflage. Academic Press, San Diego, 515 S.