

Automatische Kratzerbeseitigung in farbigen Orthophotos

GERD REDWEIK, Lissabon

Keywords: digital orthophotos, scratches, between-band differences, image matching

Zusammenfassung: Der Artikel beschreibt die Funktionsweise eines neu entwickelten Programms zur automatischen Beseitigung von Kratzern in farbigen Orthophotos. Die Kratzer sind etwa zwei Pixel breit, transparent weiß und verlaufen mit unterschiedlicher Neigung in horizontaler Richtung über die Bilder.

Summary: *Automatic Elimination of Scratches on Digital Color Orthophotos.* This article describes a new algorithm for automatic elimination of scratches on digital color orthophotos. The scratches are horizontal, about two pixel wide, white transparent and appear with variable tilt over the images.

1 Einleitung

Bei den Verarbeitungsprozessen von Luftbildern können feine Kratzer mit einer Breite von etwa 30 µm auftreten, die ohne Vergrößerung nicht erkannt werden. Da sie auch in der Gesamtdarstellung der digitalisierten Bilder am Monitor nicht sichtbar sind, bleiben sie zunächst unentdeckt. Erst bei der Betrachtung der Orthophoto-Ergebnisse in der tatsächlichen Pixelgröße treten sie deutlich störend hervor.

Diese Kratzer sind überwiegend zwei Pixel breit, transparent weiß und verlaufen mit unterschiedlicher Neigung in horizontaler Richtung über die Bilder. Ihre Länge beträgt einige hundert Pixel, ihre maximale Breite vier Pixel. Ihr Verlauf weicht von einer exakten Geraden ab und weist Unterbrechungen auf.

Da eine manuelle Korrektur in über tausend Orthophotos zu zeitaufwendig ist und eine direkte Korrektur in den originalen Bilddaten eine unwirtschaftliche Neuberechnung aller schon bestehender Orthophotos bedeuten würde, wurde erfolgreich versucht ein Programm zu entwickeln, welches diese Arbeit in beliebig vielen Orthophotos nacheinander automatisch durchführt.

Diese Software besteht aus zwei Teilen. Ein Programm ermöglicht die Bestimmung der für die Definition der Kratzer erforderlichen Parameter. Das Andere filtert die Kratzer in beliebig vielen Bildern nach den optimal bestimmten Parametern.

Die Eliminierung der Kratzer erfolgt in sechs Hauptschritten:

- Entdeckung horizontaler Elemente in den Spektralkanälen,
- Entdeckung horizontaler Elemente in den Differenzbildern der Spektralkanäle,
- Kombination der detektierten Horizontalelemente,
- Kratzerbereichsbestimmung durch Korrelation,
- Bestimmung der genauen Kratzerlage und
- gezielte Filterung der Kratzer.

Zweck des Verfahrens ist die gezielte Entfernung der Störungen bei weitestgehender Erhaltung der ungestörten Bildinformation.

2 Verfahrensprinzip

Globale Filtermethoden sind für gezielte Störungsbeseitigungen ungeeignet, weil sie zwangsläufig den Bildkontrast verringern. Linienartige Bildstörungen, die sich deutlich

von der Bildinformation abheben, lassen sich mit lokalen Filtern beseitigen (HABERÄCKER 1987, KRAUS 1990, LILLESAND & KIEFER 1987). Im vorliegenden Fall sind die Kratzer nicht rein weiß sondern transparent. Sie weichen nur um etwa 5 bis 20 Graustufen von dem jeweiligen Bildhintergrund ab. Da Grauwert-Schwankungen zwischen benachbarten Pixeln in dieser Größenordnung auch in ungestörten Bildbereichen auftreten, lassen sich die Kratzer nicht mit einfachen Methoden von der Bildinformation trennen.

Deshalb wird zuerst versucht, die vorhandenen Spektralinformationen zu nutzen um möglichst viele Objektlinien von den Kratzern zu trennen. Die für diesen Zweck eingesetzten Grauwert-Differenzvergleiche liefern ein erstes Zwischenergebnis, in dem die Kratzer nur unvollständig erkannt werden und in dem noch sehr viel Objektinformationen als Rauschen enthalten sind.

Mit einem Korrelationsverfahren werden nun die Kratzerbereiche von den extrahierten Objekten getrennt. Gleichzeitig sorgt dieses Verfahren für eine vollständige Erfassung der bisher unerkannten Störungsbereiche.

Vor der Filterung findet in den genäherten Störungsbereichen eine präzise Lokalisation der Kratzer statt. Mit diesem iterativen Verfahren ist es möglich die Bildstörungen zu korrigieren ohne die ungestörte Bildinformation zu beeinträchtigen.

2.1 Entdeckung horizontaler Elemente in den Spektralkanälen

Die Kratzer in den Bildern sind weiß. Gemäß dem Prinzip der additiven Farbmischung ist das nur möglich, wenn sie in allen drei Spektralkanälen mit etwa der gleichen Intensität auftreten (ALBERTZ 2001, KRAUS & SCHNEIDER 1988, LILLESAND & KIEFER 1987). Im Gegensatz dazu sind die Objektreflektionen in jedem Kanal eher unterschiedlich (ALBERTZ 2001, KRAUS 1990, LILLESAND & KIEFER 1987). Die dadurch bewirkte kanalspezifische Grauwertverteilung lässt die Objektkanten – im Gegensatz zu den Kratzern – in jedem Kanal mit unter-

schiedlichen Intensitäten erscheinen. Führt man nun in jedem Kanal eine Suche nach horizontalen Elementen durch, so können die Kratzer nur in den Bereichen liegen, die in allen Kanälen horizontale Elemente in der gleichen Position aufweisen. Hiermit ist eine erste Trennung von Objektlinien und Kratzern möglich.

Weil Länge, Neigung und Geradlinigkeit der Störungen variieren, wird zunächst versucht spaltenweise Elemente zu finden die Kratzer sein könnten.

Als Kratzer-elemente gelten zwei senkrecht benachbarte Pixel, wenn ihr mittlerer Grauwert innerhalb vorgegebener Grenzwerte höher ist als der mittlere Grauwert ihrer senkrechten Nachbarn, und zusätzlich die direkten Grauwert-Differenzen zwischen vorgegebenen Grenzwerten liegen (Abb. 1).

Die Parameter für die Grenzwerte können dem jeweiligen Bildmaterial durch empirische Voruntersuchungen optimal angepasst werden.

2.2 Entdeckung horizontaler Elemente in den Differenzbildern der Spektralkanäle

Das oben geschilderte Verfahren lässt sich noch verbessern, wenn man die Differenzbilder der Spektralkanäle für die Trennung von Kratzern und Objektlinien heranzieht. Ein konstanter, additiver Rauschanteil (R) in zwei Kanälen (K1, K2) wird durch die Berechnung eines künstlichen Kanals (D), bestehend aus den Bilddifferenzen der Eingangskanäle, eliminiert (LILLESAND & KIEFER 1987, RICHARDS 1994):

$$D = K1 + R - (K2 + R) \quad (1)$$

Auf Grund der weißen Kratzerfarbe kann der Rauschanteil in allen Kanälen als konstant und additiv angenommen werden. Tatsächlich treten die Kratzer in den drei Differenzbildern (Rot – Grün, Rot – Blau, Grün – Blau) auch nicht mehr auf. Führt man nun in den Differenzbildern eine Suche nach horizontalen Elementen durch, so lassen sich ausschließlich Objektlinien finden (Abb. 2).

Weil die Grauwertverteilung in den Differenzbildern unterschiedlich ist, muss die Suche nach horizontalen Elementen in allen Differenzbildern erfolgen, um möglichst viele Objektlinien zu erfassen. Sie erfolgt wie im vorhergehenden Abschnitt beschrieben. Hierbei sind die Parameter den neu berechneten Grauwerten in den Differenzbildern anzupassen.

2.3 Kombination der detektierten Horizontalelemente

Abb. 1 zeigt einen panchromatischen Ausschnitt, in dem die in den drei Spektralkanälen detektierten Horizontalelemente als weiße Pixel gekennzeichnet sind. Es ist deutlich sichtbar, dass neben dem Kratzer auch Fahrspuren von Fahrzeugen entdeckt wurden. Abb. 2 zeigt den gleichen Ausschnitt mit im Differenzbild (rot – blau) aufgespürten Horizontalelementen. Hier wurden nur die Fahrspuren entdeckt, weil das Kratzer-rauschen im Differenzbild nicht auftrat. Abb. 3 zeigt den gleichen Ausschnitt, nachdem die in den Differenzbildern gesuchten Objektlinien von den Horizontalelementen der Abb. 1 subtrahiert wurden. Während die Informationen über die Lage der Kratzer erhalten blieb, sind die detektierten Fahrspuren verschwunden. Wie gezeigt, ist das Verfahren für die Trennung von Objektlinien und Kratzern geeignet.

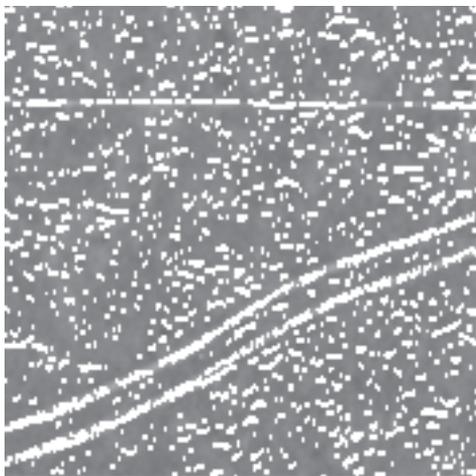


Abb. 1: Horizontalelemente aus Spektralkanälen.

2.4 Kratzerbereichsbestimmung durch Korrelation

Betrachtet man die Abb. 3 genauer, so stellt man fest, dass die Kratzer in ihrem Verlauf unvollständig erfasst wurden und viele Objektbereiche als punktuell verstreutes Rauschen detektiert sind. Zur Beseitigung dieser Unvollkommenheiten wird ein spezielles Korrelationsverfahren angewendet. Dabei wird das Bild zeilen- und spaltenweise nach den detektierten weißen Elementen durchsucht. Zur Beschleunigung der Rechenzeit

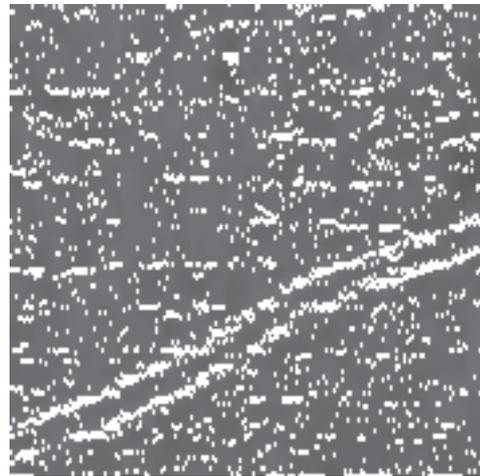


Abb. 2: Horizontalelemente aus Differenzbild (rot-blau).

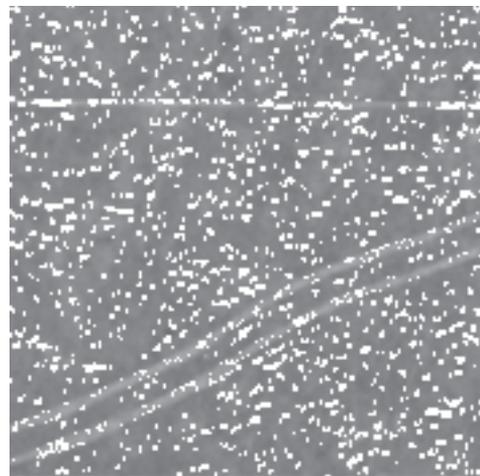


Abb. 3: Von Objektbereichen getrennte Kratzer.

wird nur dann mit der Berechnung begonnen, wenn vier weiße Pixel gefunden sind, die alle einen gemeinsamen Eckpunkt besitzen.

Bestandteile der Kreuzkorrelation sind die Muster- und die Suchmatrix (LUHMANN 2000, MIKHAIL et al. 2001, ZHIZHUO 1990). Die Mustermatrix entspricht hier mit einer Breite von zwei Zeilen der überwiegenden Stärke der Kratzer. Ihre Länge ist frei wählbar, um sie optimal an das aktuelle Bildmaterial anpassen zu können. Die Länge sollte größer als die im Bild auftretenden Objektlinien sein und noch so kurz, dass sie sich gut an die nicht streng geradlinigen Kratzer anschmiegt. Für die Testbilder hat sich eine Länge von 200 Pixel als optimal erwiesen.

Sollen horizontale und nach rechts unten geneigte Kratzer entdeckt werden, so bildet die Suchmatrix ein rechtwinkliges Dreieck. Betrachtet man das linke Kratzerende als Dreieckspunkt, dann ist in diesem Fall die Ankathete horizontal und die Gegenkathete senkrecht. Treten nur geneigte Kratzer auf, so kann die Suchmatrix als schiefwinkliges Dreieck definiert werden. Dadurch wird die Zuverlässigkeit des Verfahrens gesteigert und die Rechenzeit verringert.

Die Verschiebung der Mustermatrix ist in diesem Fall eine im Uhrzeigersinn erfolgende Rotation um den Anfangspunkt des Kratzers.

Der Zuordnungs-Algorithmus bestimmt für jede Doppellinie in der Suchmatrix die Anzahl der detektierten Horizontalelemente. Ihre Normierung liefert einen Korrelationskoeffizienten zwischen 0 und 1. Ein Kratzer gilt als entdeckt, wenn der maximale Korrelationskoeffizient einen Schwellwert überschreitet und sich stark genug vom Mittelwert der aktuell berechneten Korrelationskoeffizienten unterscheidet.

Mit diesem Verfahren lassen sich die Kratzer von dem zufällig verteilten Objekt-rauschen trennen. Die Unterbrechungen der unvollständig detektierten Kratzer-elemente werden überbrückt, indem alle Elemente der Mustermatrix in der Lage des optimalen Korrelationskoeffizienten gespeichert werden (Abb. 6).

2.5 Bestimmung der genauen Kratzerlage

Die Speicherung der optimalen Positionen aller Mustermatrizen führt, wie in Abb. 6 dargestellt, zur Definition eines breiteren Bereichs (etwa 2–5 Pixel), der den Kratzer vollständig enthält. Um die genaue Kratzerlage zu erhalten, wird an jeder Stelle des Bereichs seine aktuelle, vertikale Dimension automatisch bestimmt. In diesem Bereich wird die präzise Kratzerlage durch die in ihm auftretende maximale Grauwertdifferenz berechnet. Wie Abb. 7 zeigt, lassen sich mit diesem Verfahren die Kratzer als Doppellinie kontinuierlich erfassen.

2.6 Filterung

Filtert man nur die Pixel der Doppellinie, so werden Bereiche, in denen der Kratzer eine breitere Dimension aufweist, nicht berücksichtigt. Auch wenn die Grauwertstörungen in diesen Übergangsbereichen extrem gering sind, so fallen sie in farbigen Bildern, im Gegensatz zu Grauwertbildern, unangenehm auf. Deshalb werden auch die direkt benachbarten Grauwerte der Doppellinie geglättet.

Durch eine lineare Interpolation werden für vier vertikal benachbarte Pixel (Kratzer und Nachbarn) neue Grauwerte in den drei Spektralkanälen berechnet, wenn die beiden, außerhalb der Störung liegenden, Pixel keine großen Grauwert-Unterschiede aufweisen.

Treten große Grauwert-Unterschiede auf, so liegt das Kratzer-element im Bereich einer Grauwertkante. In diesem Fall würde eine lineare Interpolation eine zu starke Glättung der Kante bewirken. Um das zu verhindern, werden die Grauwerte der ungestörten Pixel bis zur Kante ohne Manipulation ausgedehnt.

3 Ergebnisse

Die Wirksamkeit des Programms wurde an Orthophoto-Ausschnitten getestet, welche Siedlungen, Ackerflächen und Waldgebiete abbildeten. Alle elf Kratzer, die in den fünf



Abb. 4: Bildausschnitte mit Kratzern.

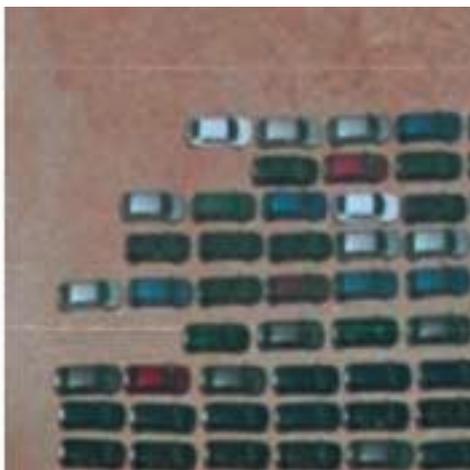


Abb. 5: Kratzerlose Bildausschnitte.

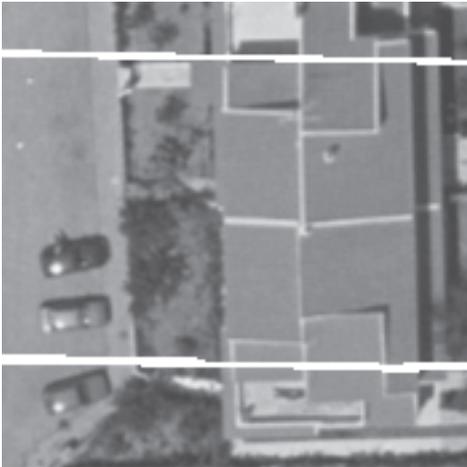


Testbildern auftraten, konnten vollständig beseitigt werden. Damit wurde die Leistungsfähigkeit des Programms bewiesen.

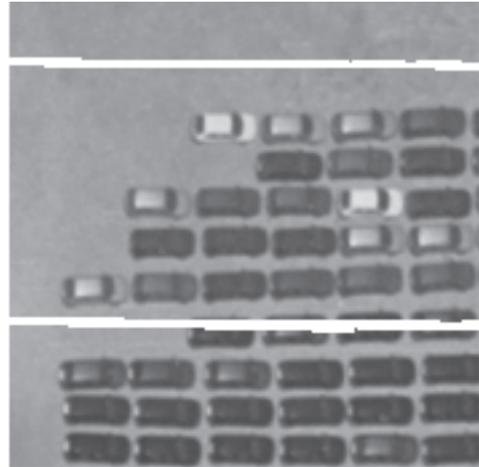
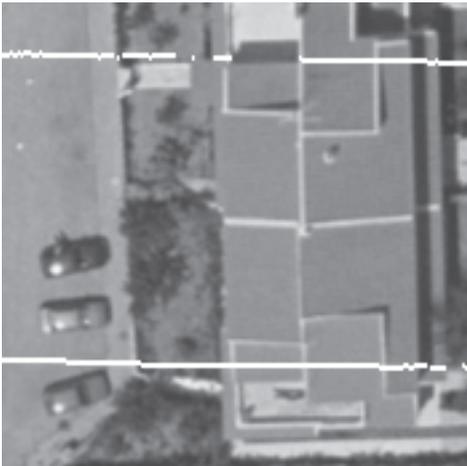
Abb. 4 zeigt zwei radiometrisch unveränderte Ausschnitte aus den Testgebieten mit je zwei Kratzern in Originalgröße. Wie Abb. 5 zeigt, konnten die Kratzer gezielt herausgefiltert werden ohne die restliche Bildinformation negativ zu beeinträchtigen.

In Abb. 6 sind die durch das Korrelationsverfahren bestimmten Kratzerbereiche dargestellt. Die zwei Pixel breiten Linien in Abb. 7 dokumentieren die tatsächlich gefilterten Bildbereiche.

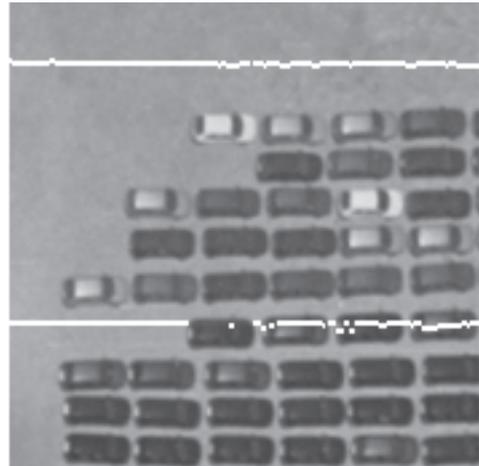
Anwendungen auf vollständige Orthophotos zeigten, dass auch hier alle Kratzer, die denen in den Testbildern entsprachen, vollautomatisch beseitigt wurden. Als Problemzonen erwiesen sich Bereiche wie Ackerfurchen, Fensterreihen von Gewächshäusern und Kabel von oberirdischen Leitungen, mit einer ähnlichen Verlaufsrichtung wie die der Kratzer. Da einige dieser Objekte für den Bildinhalt relativ bedeutungslos sind, bzw. wie die Kabel der Oberleitungen in diesem Fall gar nicht an der geometrischen Entzerrung teilnehmen, ist ihre Filterung hier relativ unproblematisch. Eine



△ **Abb. 6:** Kratzerbereiche.



▽ **Abb. 7:** Korrigierte Pixel.



Weiterentwicklung des Programms könnte auch diese Objekte berücksichtigen.

4 Dank

Mein besonderer Dank für die Initiierung dieser Arbeit gilt Herrn OLIVER HAITZMANN von der Firma Swissphoto, ohne dessen Unterstützung diese Arbeit auch nicht möglich gewesen wäre.

5 Literatur

ALBERTZ, J., 2001: Einführung in die Fernerkundung: Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. – 2. Aufl., 250 S., Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.

LUHMANN, T., 2000: Nahbereichsphotogrammetrie. Grundlagen, Methoden und Anwendungen. – 571 S., Wichmann Verlag, Heidelberg.
 MIKHAIL, M. et al., 2001: Introduction to Modern Photogrammetry. – 479 S., John Wiley & Sons, New York.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr.-Ing. GERD REDWEIK
 Bokemeyerstr. 5, D-38304 Wolfenbüttel
 Tel.: 05331-855815
 bis 2004: Universidade de Lisboa

Manuskript eingereicht: Februar 2004
 Angenommen: März 2004