

# Ein Verfahren zur präzisen gegenseitigen geometrischen Einpassung von Multispektralszenen

FRANK BOOCHS<sup>1</sup>

*Abstract: In the following article a solution will be presented which is designed for the mutual geometric restitution of multispectral satellite images with subpixel accuracy. The chosen technique is found on an area based matching procedure using a local description of geometric distortions between the images. The process generates a grid of corresponding points covering the common area of the images. By means of this grid the content of the image to be referenced is transformed into the other one. The procedure is applicable to data sets coming from multiple sensors or multiple dates. Motivation for the development, the structure of the algorithm and some results of practical examples are shown in the article.*

## 1 Einleitung

Fernerkundungsverfahren werden in immer stärkerem Maße für die verschiedensten Fragestellungen aus dem Bereich der Geowissenschaften eingesetzt. Die Palette der Aufgabenstellungen reicht von einfachsten Dokumentationen über kartographische Themen, Umweltfragen, landwirtschaftlichen Zielsetzungen bis hin zum Aufbau Raumbezogener Informationssysteme. So unterschiedlich die Zwecke auch sein mögen, alle Anwendungen bauen auf dem enormen Informationsangebot der benutzten Bilddaten auf, die in der Regel multispektraler Natur sind. In der Vergangenheit entstanden jedoch oft Verfügbarkeitsprobleme, weil Bilddaten, die im optischen Teil des elektromagnetischen Spektrums aufgenommen werden, nur unter geeigneten atmosphärischen Bedingungen nutzbar sind. Mit Blick auf die vor einigen Jahren noch recht geringe Anzahl vorhandener Fernerkundungssatelliten hat dies zu Einschränkungen in den vorgesehenen Anwendungen geführt.

An der Abhängigkeit optischer Sensoren von den atmosphärischen Bedingungen hat sich natürlich bis heute nichts geändert, jedoch sind mittlerweile wesentlich mehr Sensoren im All, die in der Gesamtheit das Datenangebot erheblich erweitern. Dabei drückt sich die Erweiterung nicht nur in der gestiegenen Häufigkeit der Beobachtung eines Gebietes aus, sondern auch in der gewachsenen Vielfalt mit Blick auf die Datencharakteristik, ausgedrückt z.B. durch Anzahl und Anordnung der Spektralkanäle, Größe eines Bodenpixels, Streifenbreite etc.. Folglich haben sich nicht nur die Datenengpässe gemindert, sondern es ergeben sich durch die Möglichkeit der Fusion und Kombination von Bildern unterschiedlichster Sensoren ganz neue, interessante Anwendungsaspekte.

So gewinnt man mit der Kombination von Bildern unterschiedlicher Auflösungen neue Produktqualitäten, indem beispielsweise hochaufgelöste panchromatische Bilder mit niedriger aufgelösten Multispektralbildern verbunden werden. Eine andere Variante besteht in der Verwendung von Daten unterschiedlicher Aufnahmezeitpunkte, die es erlaubt, zeitabhängige Effekte in die Datengrundlage aufnehmen zu können, wie z.B. die phänologische Entwicklung von Vegetationsbeständen. Als weitere Option ist die Verbreiterung der spektralen Basis

<sup>1</sup> Prof. Dr. Frank Boochs, Institut für Raumbezogene Informations- und Messtechnik, Fachhochschule Mainz, Holzstr. 36, 55116 Mainz

mittels Kombination von Bildern spektral unterschiedlich arbeitender Sensoren denkbar, die ebenfalls das Informationspotential für die Anwendungen erhöht.

All diesen Konzepten ist gemeinsam, dass mehrere Bilder eines Arbeitsgebietes in die Auswertungen einfließen und damit entweder die Voraussetzungen für bestimmte Betrachtungen geschaffen oder aber die Qualität des Ergebnisses gesteigert wird. Voraussetzung für dieses Vorgehen ist allerdings das Vorhandensein einer einheitlichen geometrischen Grundlage in allen zu kombinierenden Bildern. Die Erfüllung dieser Voraussetzung kann in moderater, d.h. pixelgenauer Form gefordert werden, wie es in rein graphisch oder kartographisch ausgerichteten Anwendungen der Fall ist, oder es wird in strengerer Form verlangt, was bedeutet, dass die Geometrie subpixelgenau übereinstimmen muss. Letzteres ist hauptsächlich in Anwendungen zu finden, in denen durch die Kombination von Bildelementen aus verschiedenen Szenen die gesuchte Aussage abgeleitet wird und wobei dann Unsicherheiten in der geometrischen Beziehungen zwangsläufig zu einer Verringerung der Auswertequalität führen. Dies gilt zum Beispiel für Landnutzungserkennungen auf der Basis von multitemporalen / multisensoralen Bilddatensätzen. Für derartige Zielsetzungen ist es also notwendig, die zwangsläufig global und auch lokal unterschiedlichen Geometrien von verschiedenartigen Satellitenbildern flächendeckend ineinander zu überführen. Hierzu zeigt das im folgenden beschriebene Verfahren einen Lösungsweg auf, der auch in Form eines Computerprogramm umgesetzt worden ist.

## **2 Aspekte einer Referenzierung**

### **2.1 Standardverfahren**

Wege zur geometrischen Referenzierung von Satellitenbilddaten existieren in allen marktüblichen Programmen zur Auswertung von Fernerkundungsdaten. Die hierbei durchgängig gewählte Strategie sieht die Umrechnung der Bildinhalte auf das Objektkoordinatensystem (i.a. Landessystem) vor. Dazu werden in den Bildern manuell Passpunkte gemessen, deren Koordinaten anschließend für die Berechnung einer vom Typ her wählbaren Transformation ins Objektsystem verwendet werden. Man hat als Anwender dabei die Möglichkeit auf Anzahl und Anordnung der Punkte Einfluss zu nehmen und auch die Wahl des Transformationsansatzes steht frei. Denkbare Ansätze reichen von einer einfachen Ähnlichkeitstransformation über polynomiale oder perspektive Zusammenhänge bis hin zu einer zeilenabhängigen Bildorientierung.

Der Vorteil dieses Vorgehens liegt sicherlich auf der praktischen Seite, weil nach der Transformation die Daten im allgemeinen bereits in jenem Koordinatensystem vorliegen, das auch für die Ausgabe benutzt wird. Außerdem kann der Anwender den anfallenden Aufwand und die Qualität des Ergebnisses über die Wahl des Transformationstyps direkt selbst bestimmen, wobei allerdings Qualitätssteigerungen eigentlich immer auch mit deutlichem Mehraufwand verbunden sind. Aber selbst bei Messung einer deutlich größeren Anzahl von Punkten ergeben sich Einbußen infolge einer selten optimal zu gestaltenden Punktverteilung und es kann auch nicht jeder Punkt gleich gut angesprochen werden. Darüber hinaus läßt sich die Qualitätsverbesserung durch Erhöhung des Aufwandes prinzipiell nicht beliebig gestalten, worin sicherlich ein genereller Nachteil dieses Konzeptes liegt. Die Grenzen des Vorgehens resultieren aus dem Umstand, dass die Entstehung der Bilder wesentlich komplexer ist als viele Ansätze auszudrücken gestatten und damit die Geometrie, zumindest im Falle sub-

pixelgenau zu beschreibender Zusammenhänge, nicht ausreichend präzise modelliert werden kann. Somit ist diese Technik für Anwendungen, die eine Wiederherstellung der Geometrie auf Bruchteile eines Pixels verlangen, nur sehr bedingt geeignet.

## 2.2 Flächendeckend subpixelgenaue Referenzierung

Eine streng formulierte Beschreibung des Aufnahmeprozesses benötigt drei Elemente:

- Höhenmodell
- Sensormodell
- orts-/zeitabhängige Modellierung der Aufnahme

Hierbei ist auch eine bestimmte Anzahl von Passpunkten notwendig, mit deren Hilfe entweder nur der Bezug zum Objekt hergestellt wird oder aber auch dynamische Bestandteile in der Abbildung modelliert werden können. Letzteres bedeutet auch wieder recht hohen Messaufwand. Immerhin kann man aber auf diesem Weg eine flächendeckend präzise Umformung der Bildgeometrie ins Objektsystem erreichen.

Es ist jedoch auch ein alternatives Konzept denkbar, das in gleicher Weise eine einheitliche Geometrie in verschiedene Bilddatensätze bringt und dies flächendeckend und subpixelgenau erreicht. Grundgedanke dieses Konzeptes ist die Überlegung, die geometrische Übereinstimmung nicht zwangsläufig über das Objektsystem realisieren zu müssen. Subpixelgenauigkeit in den Bildgeometrien verlangende Auswerteverfahren benötigen diese, um Bildelemente entsprechend lagegenau verknüpfen zu können. Hierbei ist aber nicht verlangt, die Lage im Objektsystem zu definieren. Entscheidend ist nur, dass jene Bildelemente miteinander verknüpft werden, die vom gleichen Objektdetail stammen, damit die zu verwendenden Farbwerte auch tatsächlich den identischen Bezug besitzen. Im Zusammenhang mit der Wiedergabe des Auswertergebnisses kann es natürlich wieder von Interesse sein, die Daten im Objektsystem ausgedrückt zu haben. Aber hierbei reicht dann wieder die übliche Pixelgenauigkeit, die mit den eingangs erwähnten Standardverfahren erzielt wird.

Folgt man diesen Überlegungen, so wird aus der zunächst absolut (auf das Objekt) ausgerichteten Fragestellung eine auf das Bild bezogene (relative). Damit wird ein Konzept denkbar, das zunächst einen geometrischen Bezug zwischen allen in Betrachtung zu ziehenden Bildern herstellt, die Auswertungen darin vornimmt und abschließend auf herkömmlichem Weg das Ergebnis in das Objektsystem überführt. Rahmenbedingungen in Form von flächendeckend verfügbaren Objektinformationen (z.B. Höhenmodell) entfallen dabei, es muss nur gesichert sein, die gegenseitigen Beziehungen der Bilder untereinander flächendeckend und ausreichend genau angeben zu können.

## 2.3 Zu erfüllende Anforderungen

Angesichts der denkbaren Fragestellungen in der Fernerkundung hat man es mit Blick auf die Datencharakteristik mit

- temporal
- spektral
- sensoral

bedingten Unterschieden in den Bilddaten zu tun. Neben den verschiedenen Bildgeometrien treten also noch zusätzliche, inhaltliche Veränderungen auf, die entweder auf zeitliche Variationen des Reflexionsverhaltens des Objektes oder auf andersartige Reaktion des Sen-

sors auf die Strahlung zurückzuführen sind. Auch Auflösungsunterschiede sind zu erwarten, die sich letztendlich als Änderungen in den Ortsfrequenzspektren bemerkbar machen.

Ein operationell einzusetzendes Verfahren muss mit diesen Effekten umgehen und auch bei stärkeren inhaltlichen Unterschieden noch ein bestmögliches Ergebnis liefern können. Klar ist natürlich auch, dass Korrespondenzen zwischen verschiedenen Datensätzen nicht auf Gemeinsamkeiten in den Inhalten der abgebildeten Objekte verzichten können. Sofern sich die abgebildeten Objekte unterschiedlich darstellen, darf dies also nicht für die komplette Bildfläche gelten. In umgekehrter Hinsicht sollten aber lokal auftretende radiometrische Widersprüche nicht zu Problemen in der flächenhaften Bearbeitung der Bilddatensätze führen.

Damit erstrecken sich die Forderungen an ein Verfahren nicht nur auf die flächendeckende und präzise Bestimmung der geometrischen Beziehungen zwischen unterschiedlichen Bildern, sondern auch Variationen durch

- Sensortyp
- Auflösung
- Aufnahmezeitpunkt

müssen toleriert werden können. Dies führt angesichts der damit zu erwartenden inhaltlichen Unterschiede in den Bildern zu Forderungen nach

- Robustheit
- Treffsicherheit
- Flexibilität

Schließlich wäre ebenso nützlich, die Abwicklung der Berechnung nahezu ohne manuelle Eingriffe vornehmen und im Ergebnis, die Korrektur aller zu einem Multispektralbild gehörenden Kanäle vorfinden zu können.

### 3 Lösungskonzept

Grundsätzlich kommen merkmals- und flächengestützte Techniken zur Klärung der geometrischen Beziehungen zwischen zwei Bilddatensätzen in Frage. Beide Techniken erlauben Verküpfungspunkte in den Bildern zu bestimmen, aus denen die gesuchten geometrischen Beziehungen abgeleitet werden können.

Merkmalsverfahren besitzen den Vorteil einer punktbezogenen Arbeitsweise, womit abbildungsbedingte geometrische Verzerrungen keine große Rolle spielen. Außerdem stellen Merkmalspunkte Auffälligkeiten in den Bildern dar, die, soweit sie existieren, eine sichere Korrespondenz zwischen den Bildern herstellen. Nachteilig ist jedoch, und dies spielt für den hier vorgesehenen Einsatzzweck eine erhebliche Rolle, dass die Merkmale eine gewisse Eindeutigkeit und, bezogen auf die Abbildung in den zu referenzierenden Bildern, Gleichartigkeit aufweisen und in ausreichender und möglichst gleichmäßig verteilter Form vorkommen müssen. Diese Voraussetzungen werden für Bilder unterschiedlicher Auflösungen bzw. inhaltlicher Charakteristiken aber nicht zwangsläufig erfüllt.

Flächenbasierte Techniken reagieren demgegenüber zwar sehr empfindlich auf geometrische Unterschiede, zeigen sich aber ansonsten robust hinsichtlich gewisser inhaltlicher Differenzen in den zu vergleichenden Bildausschnitten und sind auch in kontrastarmen Bild-

bereichen einsetzbar. Damit ist mit solchen Verfahren sehr viel eher zu erwarten, die aufeinander zu beziehenden Bildflächen komplett bearbeiten zu können. Aus diesen Gründen liegt dem entwickelten Konzept ein flächenbasiertes Zuordnungsverfahren zugrunde.

In dem verwendeten Ansatz werden Bildflächen vorgegebener Mindestgröße miteinander verknüpft und auf ihre inhaltliche Übereinstimmung überprüft. In diesem Vergleich werden die zu erwartenden geometrischen Unterschiede modelliert, so dass die vorhandenen Verzerrungen weitestgehend kompensiert werden können. Die Modellierung unterliegt einem Optimierungsprozess, der bis zur bestmöglichen Übereinstimmung der Ausschnitte fortgesetzt wird. Grenzwerte sorgen dafür, dass ein bestimmtes Mindestmaß an Ähnlichkeit erreicht wird.

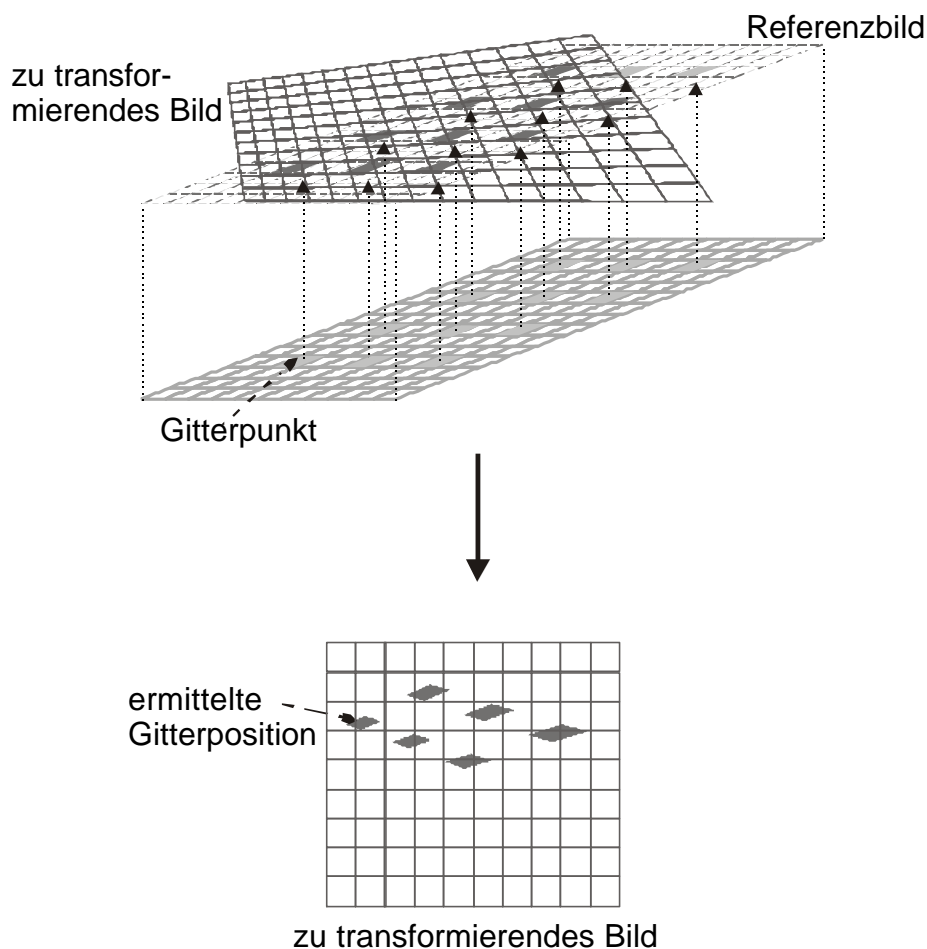


Abb.1 Definition eines Stützpunktgitters

Die Qualität des Einzelergebnisses für einen zu bearbeitenden Gitterpunkt (vgl. Abb.1) hängt natürlich ganz wesentlich von der Korrektheit der Geometriemodellierung und der Reaktion des Verfahrens auf Unterschiede in den Bildinhalten ab. Letzteres geschieht durch die Art des Vergleichs, in dem Helligkeits- und Kontrastunterschiede automatisch kompensiert werden. Ersterem wird mittels einer hierarchischen Vorgehensweise Rechnung getragen, die unter Einbeziehung einer Bildpyramide schrittweise die geometrischen Zusammenhänge annähert. Dabei wird jede Pyramidenstufe einzeln bearbeitet und dort das jeweils definierte Gitter von Stützpunkten komplett bestimmt. Die Ergebnisse einer bearbeiteten Pyrami-

denebene dienen anschließend als Vorlage für die nächst höher auflösende, auf der dann erneut eine komplette Bearbeitung des Gitters erfolgt. Auf diesem Weg nähert sich die Berechnung beginnend auf der größten Stufe schrittweise der Originalauflösung und gestattet sukzessive, die Beschreibung der geometrischen Beziehungen zu verbessern.

Zur Modellierung der Geometrie stehen verschieden Ansätze bis hin zu projektiven Beziehungen zur Verfügung. Für jeden Gitterpunkt werden die Geometrien neu formuliert, womit eine flexible Anpassung auch an komplexere geometrische Zusammenhänge erreicht wird. Gleichzeitig erlaubt die Prüfung der Geometriebeziehungen innerhalb der Nachbarschaft eines Gitterpunktes Aussagen über die Homogenität zu gewinnen und daraus eine Abschätzung auf Plausibilität der Ergebnisse vorzunehmen. Diese Plausibilitätskontrolle findet unter anderem Eingang in einen Ausreißertest, der auf die Bearbeitung einer einzelnen Pyramidenstufe folgt.

Nachdem die geometrischen Zusammenhänge ermittelt sind, erfolgt abschließend die Umformung aller Spektralkanäle, so dass Referenz- und zu transformierendes Bild dann in gleicher Geometrie vorliegen.

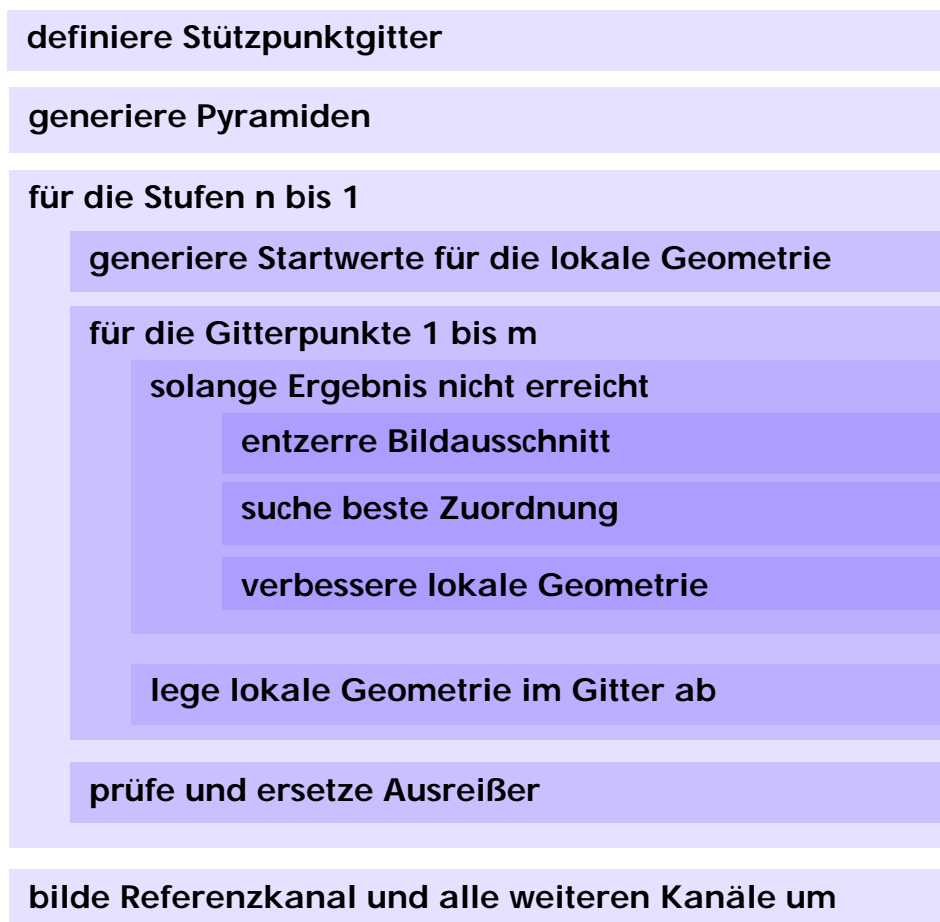


Abb.2 Verfahrensablauf

Das Ablaufschema der Berechnungen ist in Abb. 2 zusammengefaßt. Durch kombinierte Anwendung dieses Vorgehens können unter Verwendung ein und desselben Referenzbildes eine Vielzahl von Datensätzen in die gleiche Geometrie überführt werden.

Die Auswahl des Spektralkanals ist frei und kann für jeden Berechnungslauf neu gewählt werden. Auch die Verwendung von synthetisch gerechneten Kanälen (z.B. Hauptkomponententransformierte) ist möglich. Die Entscheidung sollte sich nach der inhaltlichen Übereinstimmung der Bilder richten, deren Maximierung führt auch zu bestmöglichen Resultaten.

## 4 Anwendungsbeispiele

Anhand verschiedener Tests soll im folgenden die Anwendbarkeit des Verfahrens auf die unterschiedlichen Fragestellungen in der Referenzierung von Satellitenbildern dokumentiert werden. Außerdem wird vorweg die erreichbare Genauigkeit an einem Testfall zur Kontrolle der geometrischen Qualität aufgezeigt.

### 4.1 Geometrietest

Der Geometrietest findet an einem synthetisch generierten Beispiel statt, das aus Kenntnis der Sollpositionen des Stützpunktgitters eine klare Aussage zur erreichten Präzision gestattet. Als Datenmaterial ist ein Messbild mittleren Kontrastumfangs und eine daraus abgeleitete, geo-

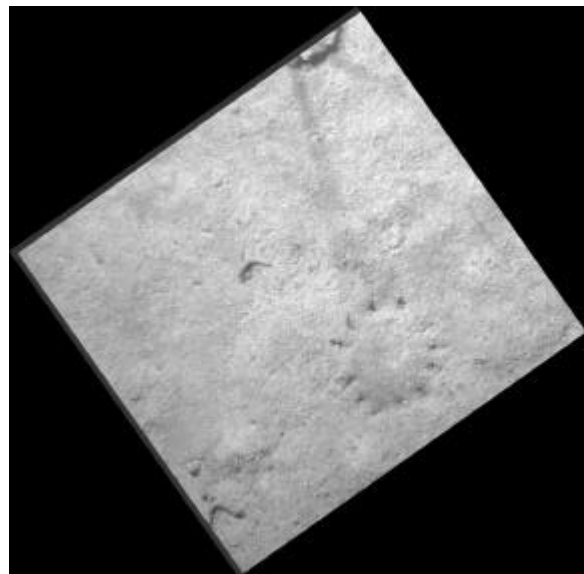


Abb.3 Bildmaterial für Geometrietest

links: Originalbild      rechts: radiometrisch und geometrisch verfälschter Ausschnitt

metrisch und radiometrisch verfälschte Fassung verwendet worden (vgl. Abb. 3). Das manipulierte Bild wurde anschließend mit Hilfe eines Stützpunktgitters von 30 \* 30 Punkten in das Original überführt. Aus der Gegenüberstellung der Soll- und Istpositionen für die Gitterpunkte ergab sich insgesamt eine

Standardabweichung von  $\sigma_0 = 0.055$  Pixel

und in Bezug auf die Koordinatenachsen ein

quadratisches Mittel der Residuen von  $m_{qr}^{\text{zeilen}} = 0.066$  Pixel bzw.  $m_{qr}^{\text{spalten}} = 0.040$  Pixel.

Damit ist gezeigt, dass die angestrebte Genauigkeit im Subpixelbereich vom Verfahren erreicht wird.

## 4.2 Multisensorale Anwendung

Als Beispiel für eine multisensorale Anwendung ist die Kombination aus einer Thematic Mapper Szene und einer aus der gleichen Region vorliegenden IRS 1C Szene gewählt worden. Die Bilder stammen aus der Rhein-Main-Region und sind im Herbst 1997 aufgenommen worden. Der geringe Zeitunterschied zwischen den Aufnahmen gewährleistet ein weitgehend gleichartiges Reflexionsverhalten des Geländes, so dass lediglich auf die Verschiedenheit der



Abb.4 Ausschnitt aus Referenz- und transformiertem Bild für eine Referenzierung von multisensoralen Bildern

links: zu transformierendes Bild (TM, September 97) rechts: Referenz (IRS, Oktober 97)

Sensoren zurückzuführende Unterschiede in den Bildern zu finden sind. Primär ist also die Relation der Pixelgröße (TM : IRS = 6:5) von Bedeutung.

Abb. 4 zeigt jeweils einen Ausschnitt der beteiligten Bilder. Sie sind allerdings von geringer radiometrischer Qualität, d.h. im Referenzbild liegen 95% aller Pixel in einem Grauwertintervall von 20% und im IRS Bild erstrecken sie sich auf ca. 27% aller möglichen Grauerter. Seitens des Objektinhaltes sind alle typischen Landschaftsgliederungen, wie Verkehrswege, Landwirtschaft, Wald und urbane Gebiete vertreten.

Die Bilder sind über ein Gebiet von 1100 \* 1060 Pixel mit ca. 3000 Stützpunkten im Abstand von 20 Pixeln ineinander überführt worden. Für die Zuordnung sind Bildfenster mit einer Mindestgröße von 21\*21 Pixeln benutzt worden. Allerdings mußten in manchen Bereichen verfahrensseitig wegen mangelnden Bildkontrastes größere Ausschnitte eingesetzt werden. Auf diesem Weg ist der Anteil nicht abschließend bestimmbarer Gitterpunkte trotz des schlechten Kontrastes mit 7% sehr niedrig gehalten worden. Die nicht berechneten Git-



terpunkte werden ebenso wie einige falsch zugeordnete unter Berücksichtigung der geometrischen Beziehungen innerhalb der jeweiligen Nachbarschaft interpoliert. Abb. 5 zeigt ein Komposit aus Referenz- und geometrisch korrigiertem Bild. An den Übergängen von den im Zentrum dargestellten Bereich transformierten Bild zu dem umliegenden Referenzbild läßt sich die Qualität der Geometrie der umgebildeten Szene ablesen.



Abb.5 Ausschnittkomposit des Transformationsergebnisses  
außen: Referenz (IRS, Oktober 97) innen: Transformiertes Bild (TM, September 97)

### 4.3 Multitemporale Anwendung

Multitemporale Fragestellungen stellen besonders hohe Anforderungen an ein Verfahren, weil derartige Datensätze vornehmlich in Anwendungen zum Einsatz kommen, in denen durch die verschiedenen Aufnahmezeitpunkte zusätzliche, andersartige Bildinformationen erwartet werden. Für eine Zuordnung bietet dies ungünstige Voraussetzungen infolge der für gleiche Objekte zu erwartenden Reflexionsunterschiede. Eine erfolgreiche Referenzierung ist daher auch nur in Fällen mit partiell gleichartigen Bildinhalten zu erhoffen. Insofern ist hier primär die Robustheit eines Ansatzes gefragt, der auch größere Bildbereiche ohne inhaltliche Übereinstimmung erkennen und behandeln können muß. Als Testfall ist eine Kombination aus zwei verschiedenen IRS 1C Satellitenbildern untersucht worden. Das Referenzbild entspricht dem aus dem Multisensortest, während das zu transformierende Bild eine Aufnahme vom April des gleichen Jahres ist. Die Bildqualität der Aprilszene entspricht jener der Oktoberszene.

Die Ergebnisse der Berechnung fallen bei gleichem Stützpunktgitter und gleich groß gewählten Bildfenstern erwartungsgemäß gegenüber den Resultaten der Multisensorreferenzierung ab. Knapp 29% aller Gitterpunkte konnten nicht zugeordnet werden, was angesichts

der großflächigen radiometrischen Unterschiede sogar noch als guter Wert anzusehen ist. Ungefähr 70% des Bildes werden durch Feld und Waldflächen gedeckt in denen zwischen



Abb.6 Ausschnittkomposit des Transformationsergebnisses für eine Referenzierung von multitemporalen Bildern  
außen: Referenz (IRS, Oktober 97) innen: Transformiertes Bild (IRS, April 97)

April und Oktober erhebliche Veränderungen eintreten. Es ist also im wesentlichen den diese Flächen durchziehenden Verkehrs- und Bebauungsstrukturen zu verdanken, dass die Zuordnung in diesem Umfang funktioniert hat.

Stellvertretend für das Transformationsergebnis ist in Abb. 6 ein Ausschnitt eines Komposits aus Referenz- und geometrisch korrigiertem Bild angegeben. Auch hier erkennt man an den Übergängen von den im Zentrum dargestellten Bereich transformierten Bild zu dem umliegenden Referenzbild die geometrische Qualität der umgebildeten Szene.

## 5 Fazit

Das vorgestellte Verfahren erlaubt die flächendeckende subpixelgenaue gegenseitige Referenzierung von Satellitenbildern. Der gewählte Ansatz einer lokalen geometrischen Korrektur der unterschiedlichen Bildgeometrien gestattet in Verbindung mit einem flächengestützten Zuordnungsverfahren die angestrebte Genauigkeit zu erreichen. Das Verfahren ist anwendbar sowohl für Bilddatensätze unterschiedlicher Geometrien wie auch unterschiedlicher Bildinhalte. In letzterem Fall hängt die erreichbare Qualität allerdings von Umfang und Verteilung der in multitemporalen Bildern gleich abgebildeten inhaltlichen Strukturen ab.

## 6 Anmerkung

Das in diesem Aufsatz publizierte Satellitenbildmaterial ist im Rahmen des DARA Forschungsprojekt UTOMA (FKZ: 50EE9604-ZV) beschafft und aus Mittel des Bundesministers für Bildung und Forschung bezahlt worden. Für die Bereitstellung der Bilder zu Testzwecken wird den Projektbeteiligten herzlich gedankt.

## 7 Literatur

BLAU E., BOOCHS F., SCHULZ B.S.(1997): Digital Landscape Model for Europe (DLME) OEEPE, Official Publication No. 34

BOOCHS, F., HARTFIEL, P.( 1989): Festigung von Sicherheit und Zuverlässigkeit der DHM-Bestimmung bei Einsatz der Bildkorrelation. BuL 57, Nr. 3

SCHLÜTER M.(1999): Abschlußbericht zum DARA Forschungsprojekt “Anwendung und Entwicklung von Verfahren zur Nutzung von MOMS02P-Daten für topographisch kartographische und thmeatisch kartographische Aufgabenstellungen” (UTOMA), Frankfurt