

## Angewandte digitale Photogrammetrie mit der HRSC

FRANK SCHOLTEN, KLAUS GWINNER & FRANZ WEWEL, Berlin

**Zusammenfassung:** Seit den ersten erfolgreichen flugzeuggestützten Anwendungen von HRSC vor 5 Jahren wurden umfangreiche Weiterentwicklungen des Sensor- und Verarbeitungssystems vorgenommen, die auf die Leistungsfähigkeit des Systems im operationellen Einsatz abzielten. Dabei konnten sowohl die Ergebnisse systematischer Performanceanalysen als auch umfassende Erfahrungswerte, die in zahlreichen Anwendungsprojekten gewonnen wurden, umgesetzt werden. Die Arbeit beschreibt den aktuellen technischen Stand des flugzeuggestützten HRSC-Gesamtsystems unter dem Gesichtspunkt der praxisgerechten Anwendung. Auf Unterschiede zu konventionellen photogrammetrischen Systemen für die Bildaufnahme und -auswertung wird ebenso eingegangen wie auf Möglichkeiten zur Integration von HRSC in herkömmliche photogrammetrische Arbeitsprozesse. Schließlich wird ein Einblick in die Vielseitigkeit der Anwendungen von Daten multispektraler Stereoscanner gegeben.

**Summary:** *Applied Digital Photogrammetry using HRSC.* Since the first successful airborne applications of HRSC 5 years ago, considerable efforts for further technical development of the sensor and processing system have addressed the efficiency of the system in its operational use. Both systematic analysis of the performance characteristics and extensive practical experience stemming from numerous application projects could be put into practice through these developments. The paper reports on the actual technical status of the airborne HRSC system as a whole, from a practice-oriented viewpoint, and with regard to its application. We address the differences that exist with respect to traditional photogrammetric techniques for data acquisition and analysis, but also the possibilities for integrating HRSC into traditional photogrammetric work processes. Finally, an insight into the versatility of applications of multispectral stereo scanner data is given.

### 1 Einleitung

Mit der Entwicklung von digitalen Mehrzeilenscannern wie HRSC (WEWEL et al. 1998, NEUKUM 1999, NEUKUM et al. 2001) und ADS40 (FRICKER 2001) erschließen sich seit einigen Jahren neue Möglichkeiten gegenüber der klassischen analogen Bildaufnahme. Neben der vollständig digitalen Bildaufnahme und -verarbeitung bietet dieser neue Sensortyp eine Vielzahl von weiteren Vorteilen, insbesondere durch die Kombination von hoher Auflösung, permanenter Mehrfach-Stereoabdeckung und der gleichzeitigen Aufzeichnung von Bilddaten in verschiedenen Spektralkanälen.

Mit dem HRSC-Gesamtsystem, bestehend aus Bildaufnahme- und Verarbeitungssystem, gelang vor einigen Jahren erstmals die stereophotogrammetrische Kartierung

großer Projektgebiete mit einem digitalen hochauflösenden Sensorsystem (WEWEL et al. 2000). Bei den umfangreichen Weiterentwicklungen innerhalb der letzten Jahre lag das Hauptaugenmerk auf der Optimierung und dem Ausbau des Verarbeitungssystems, der anwendungsbezogenen Produktentwicklung und, nicht zuletzt, der technischen Weiterentwicklung mit dem Ergebnis der Fertigstellung einer neuen Kameraversion, HRSC-AX, und deren vollständiger Integration in das Verarbeitungssystem.

### 2 Konventionelle photogrammetrische Arbeitstechniken und digitale Mehrzeilenscanner

Die klassische analoge Luftbildaufnahme ist eine seit Jahrzehnten bewährte Methode zur

flächendeckenden Gewinnung bildhafter Information. Bei der Stereokartierung wird ein Bildverband sich überlappender Einzelaufnahmen zur Erfassung der dreidimensionalen Form der Oberfläche verwendet. Die der Bildaufnahme eines Einzelbildes zugrundeliegende Zentralperspektive ist im Rahmen der photogrammetrischen Auswertung einfach modellierbar und, in Verbindung mit Pass- und Verknüpfungspunkten zur Rekonstruktion der äußeren Orientierung der Einzelbilder, ausreichend genau numerisch beschreibbar. Die zentralperspektivische Abbildung birgt jedoch auch Nachteile, die bisher in der Praxis in Kauf genommen wurden. Abseits des Bildhauptpunktes wirken radial in alle Richtungen des Bildes Versetzungen, die, wenn die Form der abgebildeten Oberfläche nicht genau genug bekannt ist, im Rahmen der Erstellung von entzerrten (Ortho-) Bilddaten nur unzureichend korrigiert werden können. Vor allem aber bewirken sie Verdeckungen, die sich negativ auf die Informationsdichte in den kartenprojizierten Auswertungsprodukten auswirken, im (häufigen) Extremfall als Lücken, die durch Interpolation geschlossen werden müssen. Die dreidimensionale Erfassung der Oberfläche basiert dabei i. d. R. lediglich auf einer einfachen Stereoüberlappung in Flugrichtung. Nicht zuletzt besitzt das bei der analogen Bildaufnahme verwendete Filmmaterial eine relativ geringe radiometrische Auflösung (max. ca. 7 Bit), was im Hinblick auf die erforderlichen Beleuchtungsverhältnisse zu einer zeitlich erheblich eingeschränkten Einsetzbarkeit und bei großen Helligkeitskontrasten in der Bildszene zu einer eingeschränkten Detailwiedergabe führt.

Aktuelle digitale Framekamera-Entwicklungen müssen aufgrund der extrem hohen Kosten für große Flächen-CCD-Arrays auf aufwendige Kamerakonzepte, z. B. mit mehreren kleineren Flächenkomponenten (HINZ et al. 2001), zurückgreifen. Mit kleinen Flächensensoren ausgestattete Systeme kommen bisher im experimentellen Bereich zum Einsatz (THOM & JURVILLIER 1997, TOTH 1999).

Digitale Mehrzeilenscanner wurden zunächst satellitengestützt (z. B. MOMS) eingesetzt. Bei der Bildaufnahme aus einem stabilen Orbit ist dabei die permanente Änderung der äußeren Orientierung mit relativ einfachen Modellansätzen beschreibbar. Beim flugzeuggestützten Einsatz ist jedoch durch ständige und teilweise hochfrequente Änderung der Fluglage trotz stabilisierender Maßnahmen (stabilisierende Plattform) die direkte Messung der Orientierungsdaten erforderlich. Durch die Integration von Entwicklungen im Bereich hochpräziser DGPS/INS-Systeme (LITHOPOULOS 1999) können die hier vorliegenden Anforderungen jedoch bereits seit einigen Jahren erfüllt werden (siehe Abschnitt 4). Das Pushbroom-Prinzip gewährleistet in Flugrichtung eine Abbildung in Parallelprojektion. Radiale Bildpunktversetzungen treten in der Nadirzeile nur innerhalb der Zeile auf und sind somit auf die Bildbereiche quer zur Flugrichtung beschränkt. Versetzungen in Flugrichtung in nadirnah angeordneten Farbzeilen sind gering. Die Größe von abgeschatteten Bereichen, insbesondere in Gebieten mit dichter Bebauung, ist somit minimiert. Unterstützt wird dieser Effekt, wenn wie bei HRSC-A und HRSC-AX, mit kleinen Öffnungswinkeln (vgl. Tab. 1) gearbeitet wird. Die permanente Mehrfach-Stereoabdeckung bietet eine für die automatisierte 3D-Erfassung notwendige hohe Redundanz. Vervollständigt werden die Vorteile von Mehrzeilensensoren durch die gleichzeitige multispektrale Bildaufnahme sowie einen vollständig digitalen Datenfluss.

Oftmals wird als Nachteil solcher Systeme die aus dem geringeren Öffnungswinkel resultierende Erhöhung des Befliegungsaufwandes genannt. Demgegenüber ermöglichen digitale Mehrzeilenscanner jedoch einen hohen Automatisierungsgrad und damit verbundene Kosteneinsparungen und Effizienzsteigerungen bei der Prozessierung. Wie im Folgenden weiter erläutert, können die Daten nach einer geeigneten automatisierten Aufbereitung auch in konventionelle Weiterverarbeitungsprozesse integriert werden.

### 3 Das HRSC-Gesamtsystem

Das am DLR-Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung entwickelte HRSC-Gesamtsystem beinhaltet die Komponenten der Bildaufnahme und der digitalen Verarbeitungskette und ist in Abb. 1 schematisch dargestellt. Große Teile des Gesamtsystems befinden sich bereits seit 1997 im operativen Einsatz und wurden in den Folgejahren durch Weiterentwicklungen ergänzt und optimiert.

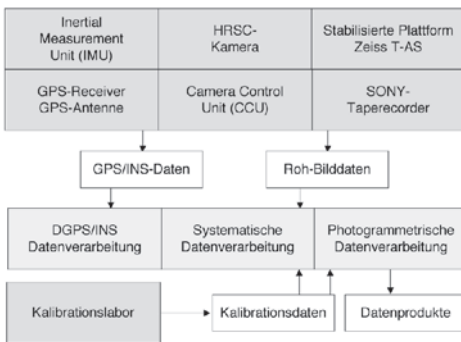


Abb. 1: HRSC-Gesamtsystem.

#### 3.1 Datenaufnahme mit der HRSC

Das HRSC-Bildaufnahmesystem beinhaltet als Hauptkomponente die eigentliche Kamera sowie Peripheriekomponenten für Stabilisierung, Datenspeicherung, Kamerasteuerung und für die Aufzeichnung von Navigationsdaten. Es existieren 3 verschiedenen HRSC-Kameravarianten, deren tech-

nische Daten in Tab. 1 aufgelistet sind. Für HRSC-AX werden Zeilensensoren mit 12000 CCD-Elementen verwendet, die maximale Auslesefrequenz ist gegenüber HRSC-A deutlich erhöht. Im Vergleich zu HRSC-A wird somit eine wesentlich größere Flächenabdeckung bei gleicher Bodenauflösung erzielt, die höhere maximale Auslesefrequenz ermöglicht entsprechend höhere Bodenaufösungen in Flugrichtung.

Die sich aus Taktrate, Fluggeschwindigkeit und Flughöhe ergebenden nominellen Bodenaufösungen sind in Analysen von Aufnahmen von Testtargets (Abb. 2) bestätigt worden.

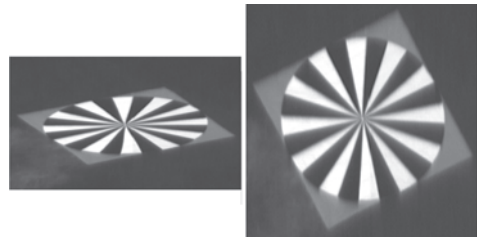


Abb. 2: Siemensstern (Durchmesser 6 m), HRSC-AX, Flughöhe 500 m (links Originaldaten, rechts Fluglage-korrigiertes Bild).

Die Kameras werden über einen Adapter mit einer kreiselstabilisierten Plattform (ZEISS T-AS) verbunden. Entsprechende Adapter können auch für die Nutzung anderer Plattformen eingesetzt werden. Die Plattform dient dazu, die Einhaltung des Flugpfades am Boden (und somit die geplante Querüberlappung der einzelnen

Tab. 1: Technische Daten der HRSC-Kameras.

	HRSC-A	HRSC-AX	HRSC-AXW
Brennweite	175 mm	151 mm	47 mm
Anzahl CCD-Zeilen	5 Stereo/4 Farbe	5 Stereo/4 Farbe	3 Stereo/2 Farbe
Pixel je CCD-Zeile	5184	12000	12000
CCD-Pixelgröße	7 µm	6,5 µm	6,5 µm
Öffnungswinkel	12° quer/38° stereo	29° quer/41° stereo	79° quer/30° stereo
Max. Auslesefrequenz	450 Zeilen/s	820 Zeilen/s	820 Zeilen/s
Max. Bodenauflösung in Flugrichtung, v = 75 m/s	17 cm	9 cm	9 cm
Bodenauflösung (quer z. Flugrichtung, h = 2000 m)	8 cm	9 cm	28 cm

Flugstreifen) sowie eine ausreichende Dämpfung von Vibrationen zu gewährleisten.

Die direkt auf der jeweiligen Kamera montierte Inertial Measurement Unit (IMU) dient als Kernkomponente des inertialen Navigationssystems APPLANIX POS/AV-510 der kontinuierlichen hochfrequenten Messung der verbleibenden und somit auf die Kamera wirkenden Fluglageänderungen. Während der GPS-Empfänger Positionsdaten im WGS84-System mit einer Frequenz von 1 Hz aufzeichnet, werden mit Hilfe der IMU Winkeländerungen und Beschleunigungen mit 200 Hz erfasst. Im Rahmen eines Testfluges im März 2002 wurden gleichzeitig zwei auf der HRSC-A montierte GPS/INS-Systeme (APPLANIX POS/AV-510 und IGI AEROcontrol-IId) betrieben. Erste Ergebnisse dieses vergleichenden Tests sind in SUJEW et al. (2002) beschrieben.

Die Camera Control Unit (CCU) ist ein Steuerrechner, der den Betrieb des Gesamtsystems regelt sowie Kontrollfunktionen für den Operator bietet.

Während die GPS/INS-Messdaten auf einer PC-Karte aufgezeichnet werden, werden die eigentlichen Bilddaten in einem Multiplex-Format (Daten-Level-0) bisher auf ein SONY-Hochgeschwindigkeitstape mit einer maximalen Datenrate von ca. 28 MByte/s geschrieben. Der Einsatz eines Raid-Festplattensystems zur Ermöglichung von höheren Datenraten und -kapazitäten befindet sich derzeit in der Vorbereitungsphase.

### 3.2 Geometrische Kalibration der Kameras

Voraussetzung für die Erstellung von Produkten mit einer Genauigkeit im Bereich der Bodenauflösung ist die Verfügbarkeit entsprechender genauer Information zur geometrischen Kalibration (innere Orientierung). Hierzu wird jede Kamera im Labor auf einem Kipp-Drehtisch montiert und die Fokalebene senkrecht zu einem Kollimator ausgerichtet. Anschließend werden Kippungen und Drehungen, die notwendig sind, um den

Kollimatorstrahl exakt auf das betreffende CCD-Element zu leiten, für die einzelnen CCD-Elemente aller Zeilen hochgenau bestimmt. Dies wird durch einen gleichzeitigen Betrieb der Kamera und Messung der einfallenden Kollimatorstrahlung kontrolliert. Durch eine Verteilung der Messpositionen auf die gesamte CCD-Zeilenlänge ergeben sich somit für jedes CCD-Pixel jeder CCD-Zeile Kamerakoordinaten, die in Verbindung mit der Fokallänge eine vorläufige innere Orientierung darstellen. Etwaige Winkeloffsets des Kipp-Drehtisches werden im Rahmen einer nachfolgenden Bildflugkalibrierung bestimmt und gehen in die endgültigen Daten der inneren Orientierung ein.

### 3.3 Verarbeitung von HRSC-Daten

Die Abbildung der Oberfläche mit 5 verschiedenen Stereo-Kanälen und 4 multispektral ausgelegten Kanälen erlaubt es, die komplette photogrammetrische Basisprodukt-Palette, bestehend aus Digitalen Oberflächenmodellen (DOM) sowie True-Orthobildern, in Form von Grauwertbildern einzelner Spektralkanäle oder von beliebigen Farbkompositen, insbesondere von RGB-Echtfarbbildern und Farbinfrarotbildern, in hoher Auflösung zu erstellen. Die digitale Bilddatenaufnahme und die präzise Erfassung der Orientierungsdaten stellen dabei die Grundvoraussetzungen für einen

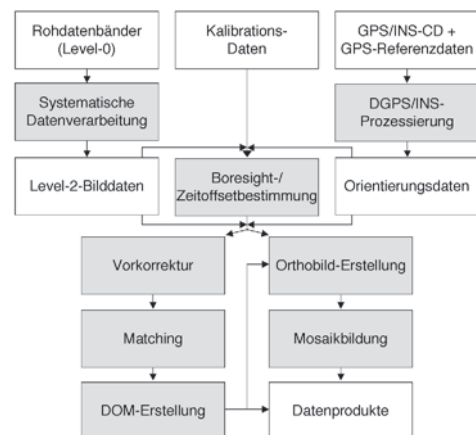


Abb. 3: HRSC-Datenverarbeitung.

hochautomatisierten Prozessierungsablauf (Abb. 3) dar. Zu den weiteren wesentlichen Voraussetzungen für die automatisierte Prozessierung zählen die Verwendung interner Kontrollparameter zur geometrischen Genauigkeit, ein umfangreiches System von Verarbeitungsprozeduren (Skriptsystem) für Prozess-Steuerung, Prozess-Kontrolle und Daten-Handling und, nicht zuletzt, umfassendes Erfahrungswissen bezüglich der produktgerechten Festlegung der Verarbeitungsparameter.

### 3.3.1 Systematische Datenverarbeitung

Die systematische Verarbeitung von HRSC-Bilddaten beinhaltet die Generierung der Eingangsdaten für die photogrammetrische Prozessierung. Die hierzu notwendigen Arbeitsschritte umfassen das Auslesen der Original-Tapes, das De-Multiplexen der Daten (Ergebnis: Daten-Level-1) sowie die Anwendung der radiometrischen Kalibrationsdaten (Ergebnis: Daten-Level-2) und werden vollautomatisch durchgeführt.

### 3.3.2 Prozessierung der DGPS/INS-Daten

Parallel zur systematischen Prozessierung der Bilddaten werden die Daten des GPS/INS-Systems verarbeitet. Zusätzlich zur Ableitung einer Online-Lösung (Genauigkeit ca. 1 m) werden in einem weitergehenden Schritt die an Bord gemessenen GPS- und INS-Daten mit den gleichzeitig aufgezeichneten GPS-Daten einer oder mehrerer Bodenstationen auf der Basis einer Kalman-Filterung kombiniert (LITHOPOULOS 1999). Die daraus resultierenden Positions- und Lagedaten, sogenannte SBET-Lösungen (Smoothed Best Estimation of Trajectory), beschreiben die Position der Kamera (Lever-Arm-Offsets zur GPS-Antenne sind berücksichtigt) sowie die Orientierung der IMU-Messachsen mit einer Genauigkeit von nominell wenigen Zentimetern bzw. wenigen tausendstel Grad.

### 3.3.3 Bestimmung und Optimierung der Orientierungsdaten für jede Bildzeile

Die SBET-Files sind die Ausgangsdaten für die Bestimmung der Orientierungsdaten jeder einzelnen Bildzeile und liegen in 200 Hz vor. Da die SBET-Files jedoch lediglich die äußere Orientierung der IMU-Messachsen widerspiegeln, muß noch der sogenannte Boresight-Offset, d.h. die Drehung des IMU-Koordinatensystems gegenüber dem Kamera-Koordinatensystem bestimmt werden. Dies erfolgt im Rahmen eines numerischen Optimierungsverfahrens, bei dem nicht nur die 3 Winkelkomponenten des Boresight-Offsets, sondern auch etwaige Zeitoffsets der Bildzeilen-Zeit gegenüber der Zeitskala der Positions- und Lageinformation sowie translationale WGS84-Positionsoffsets des GPS-Flugweges bestimmt werden können. Während Boresight- und Zeitoffsets mit Hilfe von Verknüpfungspunkten zwischen sich überlappenden Flugstreifen ableitbar sind, sind absolute WGS84-Offsets des Flugweges nur über Vollpasspunkte zu bestimmen. Daraus folgt, dass die relative Stabilisierung des Flugstreifenverbandes allein mit Verknüpfungspunkt-Information zu gewährleisten ist. Die dabei erzielbare absolute Genauigkeit liegt bereits bei ca.  $\pm 20-25$  cm ( $1\sigma$ ). Die mit Hilfe von Vollpasspunkten bestimmbaren Flugweg-Offsets betragen in der Praxis ca. 10 cm, wobei der Hauptanteil in der Höhenkomponente liegt. Über Vollpasspunkte kann darüber hinaus die Datumstransformation der im WGS84-System definierten Aufnahmegeometrie in jedes beliebige, durch die geforderten Datenprodukte vorgegebene, Ziel-Referenzsystem (z. B. Bessel-Ellipsoid, landesspezifisches Datum Potsdam, Höhensystem DHHN) gewährleistet werden. Die Notwendigkeit von Passpunkten entfällt natürlich in diesem Schritt, wenn die entsprechenden Datums-Transformationsparameter bereits bekannt sind.

### 3.3.4 Entzerrung

Die Entzerrung beinhaltet die Korrektur der Fluglageänderungen und der durch die Oberflächenform bedingten Verzerrungen. Je nach Qualität der eingehenden Orientierungsdaten und der Beschreibung der Oberflächenform weisen die entzerrten Datensätze unterschiedliche Eigenschaften auf, die in verschiedene Produkt- bzw. Verarbeitungslevels eingeteilt wurden (Tab. 2). Das Entzerrungsergebnis ist aber in jedem Fall bereits ein georeferenziertes Bild.

### 3.3.5 DOM-Erstellung

Die der DOM-Erstellung zugrunde liegende Bestimmung homologer Bildpunkte umfasst folgende Schritte:

#### – Vorkorrektur der Bilddaten

Liegen die Orientierungsdaten der Online-Lösung vor, werden die 5 Stereo-Kanäle zum Verarbeitungs-Level-3a (mit SBET-Lösung zu Level-3), bzw. bei bewegtem Gelände zum Level-4a verarbeitet, um die Einflüsse durch die Fluglageänderungen zu eliminieren und Bilddaten mit reduzierten y-Parallaxen (Level-3/3a) und x-Parallaxen (Level-4a) zu generieren. Im Rahmen dieser Vorkorrektur werden für jedes erzeugte Bildpixel die Parameter für die Rücktransformation in die Level-2-Bildgeometrie gespeichert. Um den hierzu notwendigen Speicherbedarf zu minimieren, werden diese temporären Zusatzdaten in komprimierter Form (Kompressionsfaktor > 10) mit einer Lagegenauigkeit von besser als 0,1 Pixel abgelegt.

**Tab. 2:** Entzerrungs-Levels.

Daten- bzw. Produkt-Level	Verwendete Orientierungs-Daten	Verwendete Oberflächen-Beschreibung	Level-Eigenschaften	Nutzung
Level-3a	Online-Lösung	Mittlere Geländehöhe	Quasi-Epipolar-Geometrie der Stereokanäle (signifikante Höhenparallaxen nur in Flugrichtung) Rest-Parallaxen quer zur Flugrichtung bedingt durch Ungenauigkeit der Online-Lösung im Bereich von bis zu 1 m absolut (relativ ca. 10–20 cm).	Input für Matching bei schwachem Geländere relief
Level-3	SBET-Lösung	Mittlere Geländehöhe	Relative Genauigkeit ca. 10–15 cm, absolut ca. 15–25 cm zzgl. Höhenparallaxen	Input für Matching bei schwachem Geländere relief, manuelle Stereo-Anwendungen
Level-4a	Online-Lösung	5–10 m Raster-DOM	Wie Level-3a, aber deutliche Beschleunigung der Bildkorrelation durch verringerte Höhenparallaxen	Input für Matching bei Geländehöhenunterschieden > 100 m
Level-4	SBET-Lösung	1–2 m Raster-DOM	True-Orthobilder, absolute Genauigkeit ca. 15–25 cm (relativ 10–15 cm)	Endprodukt Einzelkanal bzw. Komponente für Farbkomposit



**Abb. 4:** Grauwert-kodiertes DOM, Genf, Schweiz (Ausschnitt), 1 m-Raster, 10 cm Höhengauflösung, HRSC-AX, Flughöhe 5000 m, April 2002 (prozessiert für SWISSPHOTO AG).

– *Matching*

Die flächenhafte Bildzuordnung erfolgt als paarweise Zuordnung der 4 Stereo-Kanäle zum Nadir-Kanal. Durch eine gestaffelte Reduktion der Suchfenstergröße bei der Pyramiden-basierten Zuordnung kann das Auffinden homologer Punkte auch bei großen  $x$ -Höhenparallaxen unter vertretbarem Rechenaufwand durchgeführt werden. Level-4a-Bilder werden bei bewegtem Gelände für das Matching verwendet. Sie werden anhand eines vorläufigen DOM (5–10 m-Raster) erzeugt, welches zuvor basierend auf einer groben Bildauflösung (2–5 m) berechnet wird. Der zusätzliche Zeitaufwand für diese Berechnung liegt bei 5–10 % des nachfolgenden Fein-Matchings, die Zeitersparnis gegenüber der Verwendung von Level-3-Daten kann aufgrund großer Suchbereiche jedoch ein Vielfaches betragen.

– *Rückrechnung der Bildkoordinaten homologer Punkte in Level-2-Bildkoordinaten*

Die im Matching-Prozess erhaltenen Bildkoordinaten der homologen Bildpunkte beziehen sich auf das Verarbeitungslevel 3a, 3

oder 4a. Sie werden unter Anwendung der gespeicherten Transformationsdaten ohne Genauigkeitsverluste in Bezug auf die Endprodukte in Level-2-Bildkoordinaten zurückgerechnet.

– *Objektpunktberechnung*

Aus den flächenhaft vorliegenden Bildkoordinaten der 5 Stereokanäle und den dazugehörigen Orientierungsdaten wird mit Hilfe eines mehrfach überbestimmten räumlichen Vorwärtsschnittes für jedes Tupel homologer Punkte der entsprechende Objektpunkt im WGS84-System berechnet. In der Regel werden ohne Überbestimmung ( $< 3$  Sichtstrahlen) berechnete Objektpunkte in der weiteren Verarbeitung nicht verwendet, da keine Information über ihre Zuverlässigkeit verfügbar ist. Das gleiche gilt für solche Punkte, für die sich niedrige Schnittgenauigkeiten der Sichtstrahlen (schlechter als  $3\sigma$  bezogen auf die in der Orientierungsberechnung erhaltene mittlere relative Genauigkeit) ergeben. Bei Verwendung von 5 Stereokanälen erfüllen im Durchschnitt 85–95 % aller Objektpunkte diese Kriterien.

– *Interpolation von Raster-Oberflächenmodellen*

Die WGS84-Objektpunkte werden per Datumstransformation in das Zielsystem überführt. Im Raster des zu erzeugenden DOM (in der Regel 50 cm- oder 1 m-Raster in einer vorgegebenen Kartenprojektion) werden dabei Lücken, die z. B. durch fehlende Objekttexturen bedingt sein können, durch Interpolation geschlossen. Die Auswahl der verwendeten Interpolationsverfahren richtet sich dabei nach der Art der Nutzung des jeweiligen DOM. Die Höhen werden als 16bit Integer-Werte mit einer Auflösung von 1 Dezimeter gespeichert (vgl. Abb. 4).

Da bei der zuvor angewendeten räumlichen Datumstransformation etwaige signifikante lokale Geoidundulationen nicht berücksichtigt sind, sind diese, soweit vorliegend, in additiver Form auf die DOM-Höhen anzuwenden, um die gewöhnlich geforderten physikalischen Höhen zu erzeugen.

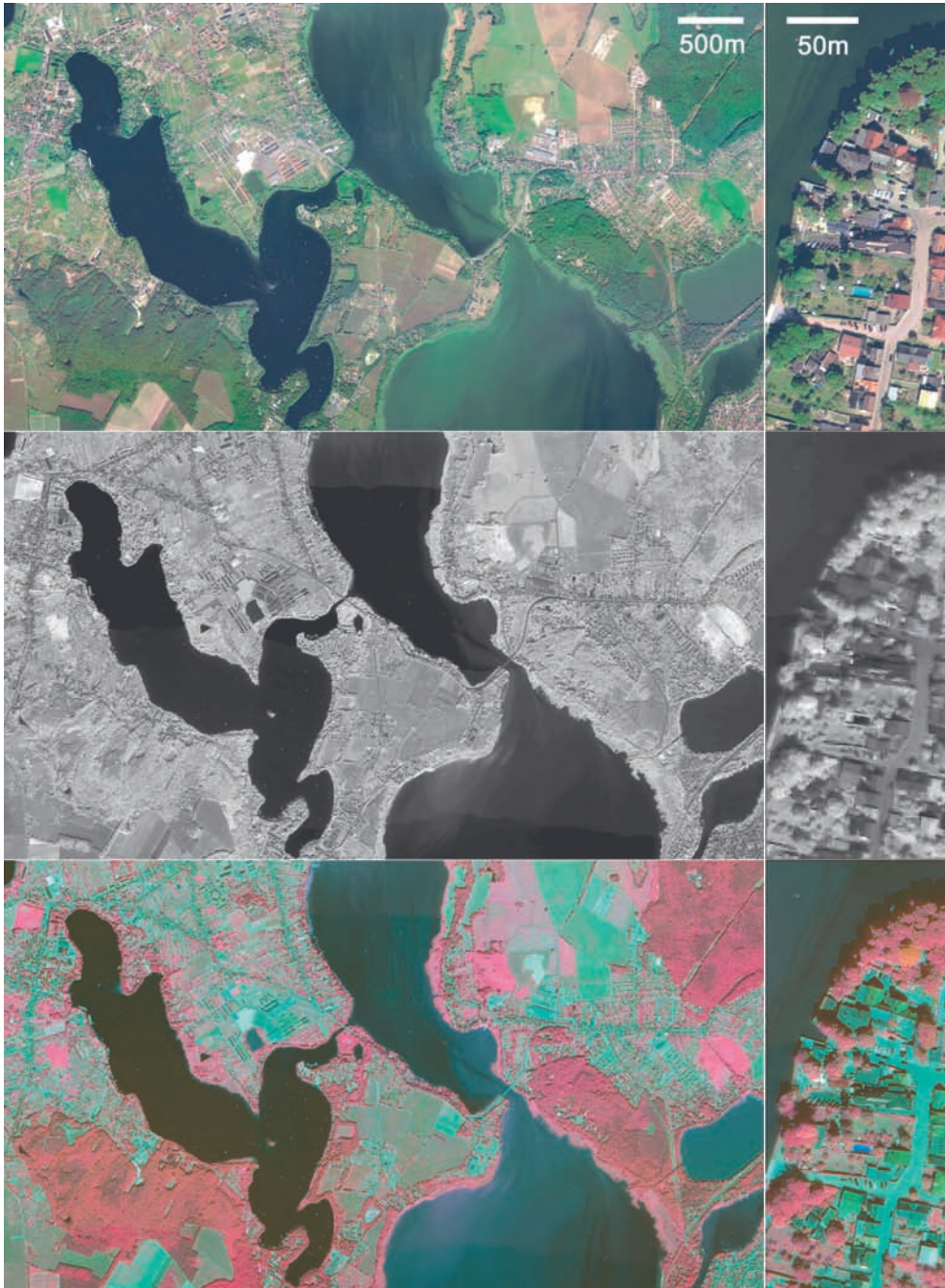
### 3.3.6 Erstellung von Orthobildern und Mosaikbildung

Die Generierung von Orthobildern unter Verwendung hochauflösender DOM stellt eine Sonderform der Entzerrung dar, bei der nicht nur die Form der abgebildeten Geländeoberfläche, sondern auch Einflüsse durch Bebauung und Bewuchs berücksichtigt werden. Dadurch werden auch Bilddaten, die unter unterschiedlichen Beobachtungsrichtungen aufgenommen werden (z. B. die Farbkanäle der HRSC), stets lagerichtig im Rahmen der DOM-Genauigkeit in der geforderten Kartenprojektion abgebildet. Die Einzelkanal-Orthobilder aller Flugstreifen werden dann im Rahmen einer radiometrischen Mosaikbildung zu einheitlichen spektralen Orthobildmosaiken zusammengeführt (vgl. Abb. 5 und 6).



**Abb. 5:** RGB-Echtfarb-Orthobildmosaik, Berlin (Ausschnitt), HRSC-AX, Flughöhe 5000 m, 25 cm Bodenauflösung, Mai 2001.





**Abb. 6:** Orthobildmosaike, Werder, Brandenburg (Ausschnitt) mit Detailbildern, RGB-Echtfarbe (oben), Infrarot (mitte), Farbinfrarot (unten), HRSC-AX, Flughöhe 4200 m, 20 cm Bodenauflösung, August 2001.

### 3.3.7 Prozesssteuerung durch UNIX-Skripte

Die Programme zur Verarbeitung der HRSC-Daten werden innerhalb von parametrisierten UNIX-Shellskripten ausgeführt, die ein einheitliches Verarbeitungsgerüst für die flexible Bearbeitung von Projekten unterschiedlicher Größe und mit unterschiedlichen Ergebnisspezifikationen ermöglichen. Neben den Programmaufrufen enthalten die Skripte UNIX-Befehle, die zur Steuerung und Kontrolle der photogrammetrischen Anwendungen im „batch-Betrieb“ dienen. Die photogrammetrischen Programm-Module werden so in komplexe automatische Produktionsabläufe eingebettet.

Neben reinen Produktionsskripten, die im wesentlichen eine spezifizierte Abfolge von geometrischen Verarbeitungsschritten enthalten, werden eine Reihe von Skripten zur autonomen Prozess-Steuerung, zur automatischen Generierung von Daten- und Verzeichnisstrukturen, für den autonomen und teilautomatischen Datentransfer sowie für das interaktive Prozesshandling zur Kontrolle der automatischen Arbeitsabläufe eingesetzt.

Die Skripte sind modular strukturiert und hierarchisch organisiert. Übergeordnete Prozesse können in mehreren Hierarchieebenen Aufrufe anderer Skripte enthalten. Dies dient insbesondere der parallelen Bearbeitung von Unterprozessen, die auf verschiedenen Prozessoren gleichzeitig ausgeführt werden. Da dies eine erhebliche Effizienzsteigerung insbesondere für rechenintensive Verarbeitungsschritte mit nur untergeordneten I/O-Anforderungen ermöglicht, wurde die gesamte Verarbeitungskette hinsichtlich parallelisierbarer Elemente untersucht und modifiziert. Die Möglichkeit, die Berechnungen für Matching, Objektpunkt-berechnung, geometrische Vorkorrektur und Orthobildberechnung auf einzelne Bildstreifen zu beschränken, kommt dabei der parallelen Verarbeitung stark entgegen.

In der Praxis werden bisher bis zu 24 Prozessoren und ein Server gleichzeitig für ein Projekt eingesetzt. Diese Anzahl kann für

die schnellere Bearbeitung besonders zeitkritischer Projekte deutlich erhöht werden. Dabei ist darauf zu achten, dass der in Verbindung mit jedem zusätzlichen Rechner ansteigende Aufwand für Datentransfers durch entsprechende Netzwerkkomponenten und Kapazitäten für den Datenzugriff aufgenommen werden kann.

## 4 Geometrische Validierung

In den vergangenen Jahren wurden mit HRSC-Kameras zahlreiche Testbefliegungen zum Zwecke von Genauigkeitsuntersuchungen durchgeführt. Es konnten jeweils mittlere Punktgenauigkeiten im Bereich von  $\pm 1$  Pixel (absolut 15–25 cm, 5–15 cm relativ) bei Flughöhen von 1000–5000 m sowie bei unterschiedlichen Entfernungen zu GPS-Referenzstationen erzielt werden (SCHOLTEN et al. 2001a, b, WEWEL & BRAND 1999). Diese Werte gelten sowohl unter Verwendung des Navigationssystems APPLANIX POS/AV-510, als auch für IGI AERO-control-II d (SUJEW et al. 2002).

Wie bereits erwähnt, können die genannten Genauigkeiten ohne jegliche Passpunktinformation erzielt werden. Zusätzliche Anforderungen, die die Verwendung von Passpunkten erforderlich machen, wurden bereits in Abschnitt 3.3.3 diskutiert.

## 5 Anwendungsaspekte

### 5.1 Anwendungsbereiche und Erfahrungswerte aus der Praxis

Flugzeuggestützte HRSC-Kameras wurden innerhalb der vergangenen 5 Jahre in zahlreichen Anwendungsprojekten eingesetzt. Auf die ersten umfangreichen, vorwiegend geowissenschaftlich-planetologisch orientierten Kameraexperimente (GWINNER et al. 1999) folgten weitere Anwendungsprojekte im Umwelt- und Planungsbereich sowie in der Kartographie, die in Kooperation mit externen Partnern teilweise bis hin zur kommerziellen Nutzung weiterentwickelt wurden. Beispielhaft seien die Erstellung und Aktualisierung topographischer Karten (GWINNER et al. 2000, HOFFMANN et al.

2001), die Hochgebirgskartierung (HAUBER et al. 2000), geologische (GWINNER 2001, BALDI et al. 2002), hydrologische (MARTIN & O'KANE 2000) und vegetationskundliche Untersuchungen (LESER 2002) sowie die Planung von Telekommunikationsnetzwerken (RENOUARD & LEHMANN 1999), die Überwachung von Bergbaufolgeschäden (SPRECKELS 2000) und die Erstellung digitaler Stadtmodelle (MÖLLER 2000) erwähnt.

Unter Verwendung der HRSC-Kameras wurde bisher ein Datenvolumen von etwa 20 TByte aufgenommen und hochauflösende Datenprodukte für mehrere Zehntausend km<sup>2</sup> Fläche erzeugt (von DLR und ISTAR). Vor dem Hintergrund der zahlreichen abgeschlossenen Projekte lässt sich ein erstes Resümee über sich aus der Anwendung ergebende Anforderungen an die Eigenschaften und Prozessierung der Daten ziehen. Als häufig wiederkehrender Standardfall wurden hier von Anwenderseite DOM mit 1 m-Raster und Orthobilder mit 20 cm- bis 50 cm-Raster gefordert und für Projektgebiete von mehreren hundert Quadratkilometern Größe erstellt. Bei einer Fläche von 500 km<sup>2</sup> ergibt sich somit eine Produktdatenmenge von 76 Gbyte für 20 cm RGB-Echtfarb- und Farbinfrarot-Orthobildmosaik und 1 m-DOM mit der genannten absoluten Genauigkeit von 20–25 cm. Die durchschnittliche Produktionskapazität unter Verwendung von 25 Rechneinheiten beträgt dabei etwa 100 km<sup>2</sup>/Woche.

## 5.2 Anwendungsnahe Weiterverarbeitung der photogrammetrischen Basisprodukte

Für die genannten Anwendungsbereiche können mit den photogrammetrischen Basisprodukten hochauflösender digitaler Stereokameras Datensätze für die Auswertung genutzt werden, die bisher nicht oder nur mit sehr großem Aufwand verfügbar gemacht werden konnten. Hierzu zählen großmaßstäbige multispektrale Orthobilder und DOM-Folgeprodukte für große Gebiete.

Durch die Kombination der Farbkanäle mit den meist höher aufgelösten Nadirdaten können hochauflösende **IHS-Farborthobild-**

**mosaik** erzeugt werden. Hierbei wird die ursprüngliche Intensitätskomponente eines Farbkomposits durch die panchromatischen Nadirdaten ersetzt und anschließend eine Rücktransformation in den RGB-Raum durchgeführt. IHS-Farbkomposite können für beliebige Kombinationen der HRSC-Spektralkanäle hergestellt werden. Standardprodukte sind RGB-Echtfarbkomposite und Farbinfrarotkomposite.

Die gleichzeitige Verfügbarkeit von hochauflösenden DOM und digitalen multispektralen Orthobildern ermöglicht die Kombination beider Datentypen für die Erstellung von **topographischen Bildkarten** bis zum Maßstab 1 : 500 und von **hochauflösenden 3D-Visualisierungen** (Abb. 7).



**Abb. 7:** Perspektivansicht eines DOM, mit RGB-Orthobild überlagert, Berlin, (Ausschnitt Adlershof), 1 m-Raster DOM, 10 cm Höhenauflösung, HRSC-AX, Flughöhe 5000 m, Mai 2001 (Perspektivansicht FPK GmbH, Berlin).

Tab. 3 gibt einen Überblick über Bodenauflösung und Genauigkeit der photogrammetrischen Produkte für unterschiedliche Flughöhen sowie zugeordnete Kartenmaßstäbe, die unter diesen Bedingungen in etwa maximal zulässig sind. Neben großmaßstäbigen Karten lassen sich – bei vertretbarem Befliegungsaufwand und reduziertem Verarbeitungsaufwand – auch Bildkarten in mittleren Maßstäben (1 : 10000 bis 1 : 25000) erstellen.

Die Eignung von HRSC-Daten zur Kartierung von Stadtgebieten wurde im operationellen Einsatz für eine Vielzahl europäischer und nordamerikanischer Städte demonstriert, unter anderem mit der Erstellung von zwei Kartenblättern der Luftbild-

**Tab. 3:** Auflösung, Genauigkeiten und max. Kartenmaßstäbe für HRSC-A/AX Stereodaten.

Flughöhe	Bodenauflösung panchromatisch/ multispektral	Planimetrische Genauigkeit	Höhen- Genauigkeit	Max. Kartenmaßstäbe panchromatisch/ multispektral
1500 m	0.12 m/0.25 m	0.10 m	0.15 m	1 : 500/1 : 1500
3000 m	0.15 m/0.30 m	0.15 m	0.20 m	1 : 750/1 : 2000
6000 m	0.20 m/0.40 m	0.30 m	0.30 m	1 : 1500/1 : 3500

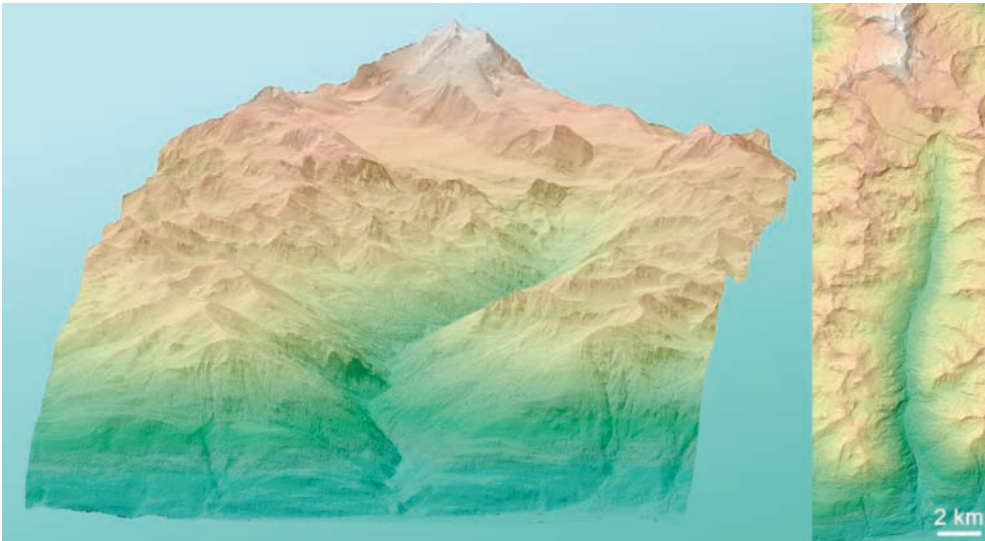
karte 1 : 5000 von Berlin in Echtfarbausgabe (HOFFMANN & LEHMANN 2000). Die Verwendung von 5 Stereobeobachtungen und die Verfügbarkeit eines Nadirsensors erweisen sich hier als besonders hilfreich für die Aufnahme von „man-made objects“, die typischerweise steile Oberflächendiskontinuitäten aufweisen.

Im geowissenschaftlichen Bereich stellte die „Topographische Bildkarte Fossa di Vulcano 1 : 5000“ (GWINNER et al. 2000), ebenfalls eine Echtfarb-Bildkarte mit automatisch generierten 10 m-Höhenlinien, die Potentiale von HRSC-Daten für die Kartographie unter Beweis. Für diesen Anwendungsbereich, in dem die Erstellung eigener photogrammetrischer Basiskarten bisher (weil mit hohem Aufwand verbunden) die Ausnahme war, ist die durch die automatische Prozessierung gegebene Effizienzsteigerung hinsichtlich der Erstellung einer digitalen topographischen Datenbasis besonders hervorzuheben, da in abgelegenen Gebieten häufig kein ausreichend genaues topographisches Datenmaterial zur Verfügung steht und in Gefahrenzonen häufige Aktualisierungen erforderlich sind.

Weitere **DOM-Folgeprodukte** dienen in der Hauptsache einerseits der visuellen Interpretation der Oberflächenformen, andererseits ihrer quantitativen Analyse. Mit hochauflösenden DOM können digitale Karten für Hangneigung, Neigungsrichtung und andere Oberflächenparameter unmittelbar numerisch erzeugt und auch für Interpretationen im großmaßstäbigen Bereich (> 1 : 50000) bereitgestellt werden. Dabei bieten DOM-Folgeprodukte generell den Vorteil, dass wahlweise unterschiedliche Farbkodierungen, Beleuchtungsrichtungen und Schattierungsgesetze eingesetzt werden

können und somit z. B. die Über- und Unterbewertung bestimmter Richtungen, ein häufiges Merkmal von Luft- und auch Radarbildern, vermieden werden kann.

**Abb. 8:** Schattiertes DOM, Aarau, Schweiz (Ausschnitt), 1 m-Raster, 10 cm Höhenauflösung, HRSC-AX, Flughöhe 5000 m, Februar 2002 (prozessiert für SWISSPHOTO AG).



**Abb. 9:** Z-kodierte DOM-Perspektivansicht, Turtmanntal, Schweiz, 1 m-Raster, 10 cm Höhenauflösung, HRSC-A, mittl. Flughöhe ü. Grund 4000 m, September 2001 (prozessiert für Universität Bonn).

Für die quantitative Neigungsanalyse wirkt sich die höhere horizontale Auflösung des DOM positiv auf die Verminderung von Quantisierungseffekten und die Kompensation von Höhenfehlern durch geeignete Gradientenfilter aus. Dabei kann im Fall von HRSC-Daten die interne Genauigkeitskontrolle, die die Überbestimmung der Objektpunkte zulässt, zur hinsichtlich einer erforderlichen Genauigkeit der Neigungswerte optimalen Parametrisierung der Neigungsberechnung genutzt werden (GWINNER & ALBERTZ 2001).

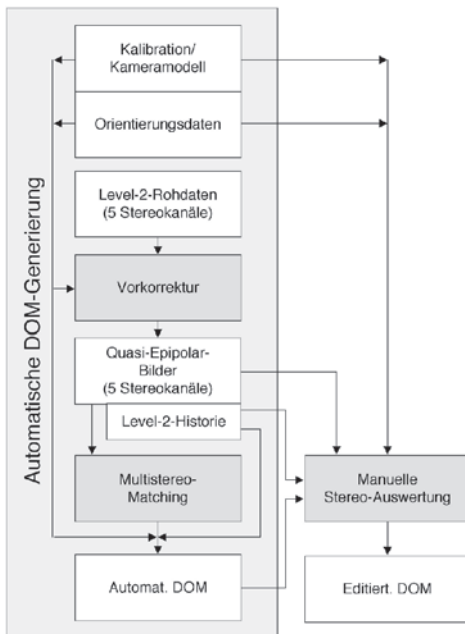
Neben den neuen Möglichkeiten für die Auswertung, die die Daten digitaler Stereoscanner bieten, stellt sich jedoch auch die Frage nach der Nutzbarkeit dieser Daten für die Auswertung mit Hilfe von konventionellen photogrammetrischen Arbeitsstationen bzw. -methoden.

Für verschiedene Anwendungsfälle kann eine solche Bearbeitung in Ergänzung oder alternativ zur automatisierten Berechnung von DOM sinnvoll sein, beispielsweise, wenn die Messung von bestimmten, unregelmäßig verteilten Einzelpunkten bzw. -objekten erforderlich ist. Ebenso kann in Einzel-

fällen eine Stereo-Editierung der DOM-Standardprodukte gewünscht sein, z.B. wenn für bestimmte Objekte, die im Mittelpunkt der Auswertung stehen (z.B. Hauskanten), eine höhere Darstellungsgenauigkeit erforderlich ist, als die Raster-Höhenmodelle bieten, und nur für diesen Objekttyp nachträglich ein erhöhter Aufwand betrieben werden soll.

Solche Auswertungen sind mit digitalen und analytischen Stereokartiergeräten anhand von automatisch erzeugten Level-3-Bilddaten (Fluglage-korrigiert und georeferenziert) möglich (Abb. 10). Die vorkorrigierten Stereobildpaare brauchen nicht gesondert orientiert zu werden da sie bereits Epipolargeometrie aufweisen. Zur Rückrechnung in die ursprünglichen Level-2-Bildkoordinaten können dann dieselben Routinen verwendet werden, die auch für automatisch zugeordnete homologe Punkte benutzt werden (vgl. Abb. 3). Für die Punktbestimmung muss das Auswertesystem das Sensormodell eines Mehrzeilenscanners enthalten.

Für stereoskopische Interpretationen mit einfachen Stereokartiergeräten, wie sie in



**Abb. 10:** Kombination von automatischer und manueller HRSC-Stereoauswertung.

den Geowissenschaften vielfach eingesetzt werden, bietet sich die Möglichkeit, synthetische Stereobildpaare herzustellen.

## 6 Resümee

Innerhalb der letzten Jahre haben HRSC-Daten bei zahlreichen flugzeuggestützten Anwendungen die Leistungsfähigkeit von digitalen Stereoscannern für die digitale Stereophotogrammetrie unter Beweis gestellt. Seit den ersten erfolgreichen Befliegungen in 1997 haben technische Weiterentwicklungen und die Optimierung und der Ausbau des Verarbeitungssystems die Effizienz des Systems im operationellen Einsatz erhöht und den Weg für neuartige Verfahren in der anwendungsbezogenen Datenauswertung geebnet. Auch unter schwierigen Bedingungen (ungünstige Beleuchtungsverhältnisse, schwache Objekttexturen, Turbulenzen, etc.) konnten hochgenaue Datenprodukte für sehr große Gebiete erzielt werden. Die geometrische Kalibration des Sensors wurde optimiert und die Abhängigkeit

der Ergebnisse von den qualitätsbestimmenden Faktoren der GPS-Daten (z. B. Entfernungen zu Referenzstationen, Höhen Genauigkeit) sowie von Kontrollpunkten praxisbezogen untersucht. Der Einsatz des neuen Kamerasystems HRSC-AX erlaubte erstmalig, mit digitalen Luftbildern Genauigkeiten im Sub-Dezimeterbereich in speziellen Aufnahmekonfigurationen zu erzielen. Neben den Ergebnissen systematischer Analysen zu den Eigenschaften des Gesamtsystems konnten umfangreiche Erkenntnisse aus der mehrjährigen Praxiserfahrung gewonnen und im operationellen Betrieb umgesetzt werden. Beides lässt der weiteren erfolgreichen Nutzung des HRSC-Systems – und von flugzeuggetragenen digitalen Stereoscannern überhaupt – sehr positiv entgegensehen.

## Literaturverzeichnis

- BALDI, P., BONVALOT, S., BRIOLE, P., COLTELLI, M., GWINNER, K., MARSELLA, M., PUGLISI, G. & RÉMY, D., 2002: Validation and Comparison of Different Techniques for the Derivation of Digital Elevation Models and Volcanic Monitoring. – *International Journal of Remote Sensing*, im Druck.
- FRICKER, P., 2001: ADS40 – Progress in digital aerial data collection. – In: FRITSCH & SPILLER, *Photogrammetric Week 01*: 105–116, Heidelberg.
- GWINNER, K., HAUBER, E., HOFFMANN, H., SCHOLTEN, F., JAUMANN, R., NEUKUM, G., COLTELLI, M. & PUGLISI, G., 1999: The HRSC-A Experiment on High Resolution Imaging and DEM Generation at the Aeolian Islands. – *Proc. 13th Int. Conf. Applied Geologic Remote Sensing*, Vancouver, **Vol. I**: 560–569.
- GWINNER, K., LEHMANN, H. & ALBERTZ, J., 2000: The Topographic Image Map Fossa di Vulcano 1 : 5000 – A Digital Mapping Approach based on High Resolution Stereo Camera-Airborne Imagery. – *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* **33 (B4)**: 63–69.
- GWINNER, K., 2001: Anwendungspotential hochauflösender digitaler Stereobilder als topographische Datengrundlage – Fallstudie zur Geologie von Vulcano. – *Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung*, Bd. 9: 302–311.

- GWINNER, K. & ALBERTZ, J., 2001: Calculating and Visualising Terrain Slopes based on Digital Elevation Models derived from High-Resolution Stereo Images. – In: BUCHROITHNER, A Decade of Trans-European Remote Sensing Cooperation: 227–233, Lisse u. a. (Balkema).
- HAUBER, E., JAUMANN, R., WEWEL, F., GWINNER, K., NEUKUM, G. & SLUPETZKY, H., 2000: The Airborne High Resolution Stereo Camera (HRSC-A) as a Tool for High Mountain Cartography. – *Kartographische Bausteine* **18**: 29–38, Dresden.
- HINZ, A., DÖRSTEL, C. & HEIER, H., 2001: DMC – The Digital Sensor Technology of Z/I-Imaging. – In: FRITSCH & SPILLER, *Photogrammetrie Week 01*: 93–103, Heidelberg.
- HOFFMANN, A. & LEHMANN, F., 2000: Vom Mars zur Erde – Die erste digitale Orthobildkarte Berlin mit Daten der Kamera HRSC-A. – *Kartographische Nachrichten* **50** (2): 61–72.
- HOFFMANN, A., VAN DER VEGT, J. W. & LEHMANN, F., 2000: Towards automated map updating: is it feasible with new digital data acquisition and processing techniques? – *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* **33** (B4): 63–69.
- LESER, C., 2002: Operationelle Biotoptypenkartierung mit HRSC-Daten – Probleme und Lösungsansätze. – In: BLASCHKE, *Fernerkundung und GIS*: 88–97, Heidelberg.
- LITHOPOULOS, E., 1999: The Applanix approach to GPS/INS integration. – In: FRITSCH & SPILLER, *Photogrammetric Week 99*: 53–57, Heidelberg.
- MARTIN, J. & O’KANE, J. P., 2000: Integration of physically based computer models with high resolution digital elevation models for the generation of flood maps. – *Water in the Celtic World: Managing Resources for the 21st Century*, British Hydrological Society, 181–188.
- MÖLLER, M., (2000): Applications of very high resolution digital airborne scanner data. – *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* **33** (B4): 663–669.
- NEUKUM, G., 1999: The Airborne HRSC-A: Performance Results and Application Potential. – In: FRITSCH & SPILLER, *Photogrammetric Week 99*: 83–88, Heidelberg.
- NEUKUM, G. & THE HRSC-TEAM, 2001: The Airborne HRSC-AX Cameras: Evaluation of the Technical Concept and Presentation of Application Results after one Year of Operations. – In: FRITSCH & SPILLER, *Photogrammetric Week '01*: 117–130, Heidelberg.
- RENOUARD, L. & LEHMANN, F., 1999: High resolution digital surface models and orthoimages for telecom network planning. – In: FRITSCH & SPILLER, *Photo-grammetric Week 99*: 241–246, Heidelberg.
- SCHOLTEN, F., WEWEL, F., & SUJEW, S., 2001a: High Resolution Stereo Camera – Airborne (HRSC-A): 4 Years of Experience in Direct Sensor Orientation of a Multi-Line Pushbroom Scanner. – *ISPRS Proceedings Sensors and Mapping from Space 2001*, Veröffentl. Inst. f. Photogrammetrie und Geoinformation, Universität Hannover.
- SCHOLTEN, F., WEWEL, F., & SUJEW, S., 2001b: Einsatz digitaler Kameras im Auflösungsbe- reich von 5 cm bis 1 m – die neue HRSC-AX Kamerageneration in der geometrischen Analyse. – *Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung Bd. 10*, 101–111.
- SPRECKELS, V., 2000: Monitoring of Coal Mining Subsidence by HRSC-A Data. – *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* **33** (B7): 1452–1458.
- SUJEW, S., SCHOLTEN, F., WEWEL, F. & PISCHEL, R., 2002: GPS/INS-Systeme im Einsatz mit der HRSC – Vergleich der Systeme Applanix POS/AV-510 und IGI AEROcontrol-III. – *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation* **5** (dieses Heft).
- THOM, C. & JURVILLIER, I., 1997: Current status of the digital aerial camera IGN. – In: FRITSCH & HOBBI, *Photogrammetric Week '97*: 75–82, Heidelberg.
- TOTH, C., 1999: Experiences with frame CCD arrays and direct georeferencing. – In: FRITSCH & SPILLER, *Photogrammetric Week 99*: 95–107, Heidelberg.
- WEWEL, F., SCHOLTEN, F. & GWINNER, K., 2000: High Resolution Stereo Camera (HRSC) – Multispectral 3D-Data Acquisition and Photo-grammetric Data Processing. – *Canadian Journal of Remote Sensing* **26** (5): 466–474.
- WEWEL, F. & BRAND, M., 1999: Geometrische Validierung des hochauflösenden multispektralen Mehrzeilen-Stereoscanners HRSC-A. – *Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung Bd. 7*: 245–252.
- WEWEL, F., SCHOLTEN, F., NEUKUM, G. & ALBERTZ, J., 1998: Digitale Luftbildaufnahme mit der HRSC – Ein Schritt in die Zukunft der Photogrammetrie. – *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation* **6**: 337–348.

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Ing. FRANK SCHOLTEN, Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), D-12489 Berlin.

Tel.: ++49-30-67055-326, Fax: ++49-30-67055-402, e-mail: Frank.Scholten@dlr.de.

M.A. KLAUS GWINNER, Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), D-12489 Berlin.

Tel.: ++49-30-67055-310, Fax: ++49-30-67055-402, e-mail: Klaus.Gwinner@dlr.de.

Dipl.-Ing. FRANZ WEWEL, Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), D-12489 Berlin.

Tel.: ++49-30-67055-326, Fax: ++49-30-67055-402

Manuskript eingereicht: Juni 2002

Angenommen: Juni 2002