

# AUS DER MARSFORSCHUNG: EINSATZMÖGLICHKEITEN EINER PANORAMAKAMERA FÜR DIE DIGITALISIERUNG VON HISTORISCHEN GEBÄUDEN UND KUNSTGEGENSTÄNDEN

## CLOSE RANGE PHOTOGRAMMETRY OF HISTORICAL BUILDINGS AND OBJECTS D'ARTS WITH A DIGITAL PANORAMIC CCD-LINE CAMERA

Martin Scheele, Karsten Scheibe, Ralf Reulke,  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) Institut für Weltraumsensorik  
und Planetenerkundung  
12489 Berlin, Rutherfordstraße 2  
Tel.: 030/6705552,1 Fax.: 030/67055529  
E-mai: martin.scheele@dlr.de, <http://solarsystem.dlr.de/TS/>

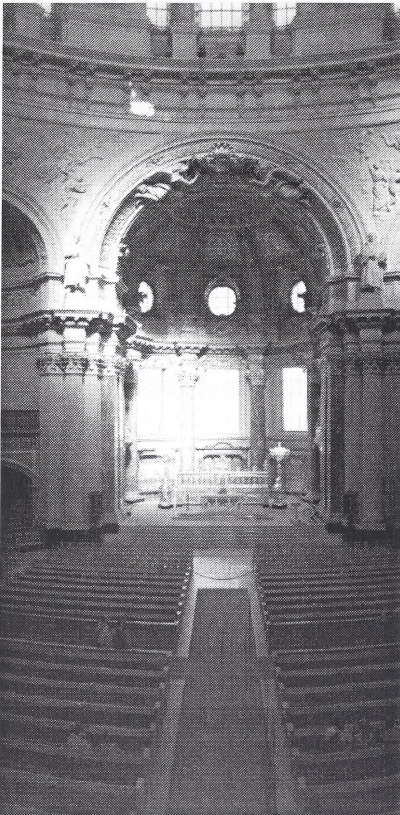
### Zusammenfassung:

Ruhende Objekte lassen sich vorteilhaft durch CCD-Zeilencameras abbilden. Der Vorteil gegenüber Matrixkameras besteht in der erreichbaren hohen Bilddimension (in Pixeln). Erforderlich ist allerdings eine Scanbewegung. Im Falle der Panoramakamera ist diese eine Rotationsbewegung. In Zusammenarbeit mit der Dresdener Firma KST entwickelte das Adlershofer DLR Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung die metrische Kamera EyeScan M2. Speziell an Hand zweier Beispiele werden die Möglichkeiten dieser Kamera illustriert. Zum Einem wird gezeigt, wie mit verschiedenen Kamerapositionen und 45° Scans 29 m des Pergamonfrieses hochauflösend stereografisch erfasst wurden. Zum Anderen wird über den Einsatz der Kamera im Schlosshof von Neuschwanstein berichtet und Ergebnisse präsentiert. Effiziente Softwaretools, die die Verarbeitung dieser Panoramabilddaten bei Berücksichtigung der speziellen Aufnahmesymmetrien erlauben, werden erläutert.

### Abstract:

CCD line cameras are advantageous for imaging of non moving object. In comparison with CCD matrix cameras it is possible to produce CCD lines with a higher dimension. To create an image it is necessary to move the camera. In case of the panoramacamera is this a rotation. The Adlershofer DLR Institute of Space Sensor Technology and Planetary Exploration developed in cooperation with the Dresdner company KST the metric camera EyeScan M2. Two examples will illustrate the possibilities of the camera. One example will show the stereographic digitalisation of a 29 m part of the Pergamon Frieze with 45° scans at different camera positions. Secondly the results of the experiment Neuschwanstein will be demonstrated.

Im Rahmen der russischen Marsmission Mars 96, die leider 1996 abstürzte, wurden im DLR zwei elektronische Stereokameras (WAOSS u. HRSC) entwickelt. Die Bildaufnehmenden Sensoren waren CCD Zeilen mit jeweils 5184 Pixeln, die an unterschiedlichen Orten in der Fokalebene angeordnet waren. Die Kameras wurden u.a. dadurch getestet, dass sie in Verbindung mit Rotationstischen Panoramaaufnahmen erzeugten. Nach erfolgreichen Tests lag der Gedanke nahe die weitwinkligeren der beiden Kameras (WAOSS) versuchsweise im terrestrischen Bereich einzusetzen. Ein frühes Beispiel ist in der Abbildung 1 zu sehen. 1995 wurde dieser 40° Scan im Berliner Dom aufgenommen.



In den letzten 11/2 Jahren wurde in Zusammenarbeit des DLR mit der Dresdener Firma KST die metrische Panoramakamera Eyscan M2 entwickelt. Es ist eine hochauflösende Kamera für den stationären und mobilen Einsatz. Die hohe Auflösung wird für einen großen Öffnungswinkel realisiert. Dazu wird ein CCD-Zeilensensor mit mehr als 10.000 Detektorelementen im Hauptpunkt der Optik reproduzierbar gedreht. Dieses Kamerasystem soll vorrangig als bildgebendes Meßsystem zur Erstellung von 360°-Panoramaaufnahmen in der Nahbereichsphotogrammetrie verwendet werden. Durch die Kombination mit einem leistungsfähigen und portablen Computer ist die EYESCAN – M2 Metric flexibel einsetzbar (Abb.2). Die metrische Genauigkeit der Kamera kann nur erreicht werden, wenn sowohl der Kamerakopf als auch Präzisionsdrehtisch kalibriert sind.

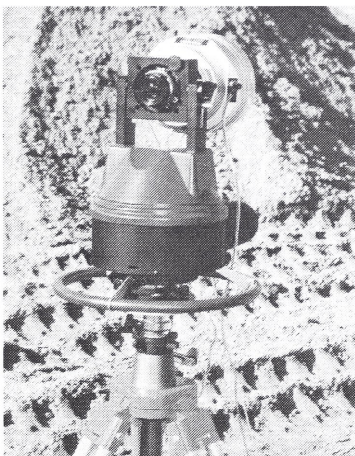
Das System besteht aus folgenden Komponenten:

- Kamerakopfmodul als kalibrierte Messkammer mit fest eingebautem Hochleistungs-Digitalobjektiv
- Präzisionsdrehtisch mit Schneckengetriebe und DC-Getriebemotor als Antriebsmodul
- Theodolitenstativ mit Nivellierdreifuß
- Portabler PC mit Frame-Grabber und TFT-Display

Abb. 1: WAOSS Scan im Berliner Dom 1995

Für die Aufnahmen von Stereobildpaaren gibt es mehrere Möglichkeiten:

1. Eine horizontalen Basisabstand gewinnt man durch zwei entsprechende Kamerastandpunkte. Der Nachteil besteht darin, dass die Auswertung durch variable Stereowinkel kompliziert wird.
2. Sind die Kamerastandpunkte nur in der Höhe verschieden, erhält man einen vertikalen Basisabstand. Die Stereobildpaare besitzen ideale epipolare Geometrie, aber eine horizontale Stereobetrachtung ist erst nach einer vollständigen Stereoprozessierung möglich.
3. Analog zum Einsatz von CCD- Lines Stereokameras im Orbit, erhält man Stereobildpaare, wenn sich die Drehachse in hinreichender Distanz vom optischen Zentrums befindet.



Pixelanzahl	3 x 12.000 (RGB)
Radiometrische Dynamik/Auflösung	14 Bit/8 Bit pro Band
Shutter-Geschwindigkeit	4 ms ... □
Datenrate	15 MByte/s
Datenvolumen (360° Scan)	3 GByte
Scandauer (360° Scan)	4 min

Abb. 2: Bild der Kamera EyeScan M2 mit ihren technischen Parametern

Die Kamera wurde im Februar und im Juni 2001 im Pergamonmuseum eingesetzt. Der Teil des Fries, der vor der Restaurierung stand, wurde abgescannt. Dabei betrug der Scannwinkel  $45^\circ$ . Die einzelnen Scans überlappten sich um 50%. Insgesamt wurden 20 verschiedene Kamerastandorte gewählt. Um einen geschlossenen Eindruck der aneinander gereihten Einzelbilder zu erhalten, mussten diese in kartesische Koordinaten transformiert werden. Auf Grund der gewählten Überlappung der Einzelbilder, konnte eine Anaglyphenbilddarstellung erstellt werden. Damit kann dem Besucher ein Ersatz für den abgehängten Teil des Fries geboten werden. Abbildung 3 zeigt ein Übersichtsbild des ca. 30m langen Fries. Ein Detail davon in Originalauflösung zeigt Abbildung 4.



Abb. 3: (linker Seitenrand) Übersicht des Pergamonfries und Abb. 4: Detail

Die oben erwähnte Stereomöglichkeit bei horizontalen Basisabstand wird in Abbildung 5 illustriert. Aus zwei benachbarten Scans, der Basisabstand war 1,7 m, wurde ein Stereobildpaar gewonnen. Nach der Transformation in kartesische Koordinaten wurde ein Bildmatchingprogramm angewandt. Auf das im Anschluß daran erzeugte 3D-Höhenmodell wurden die Bildwerte aufgeprägt.

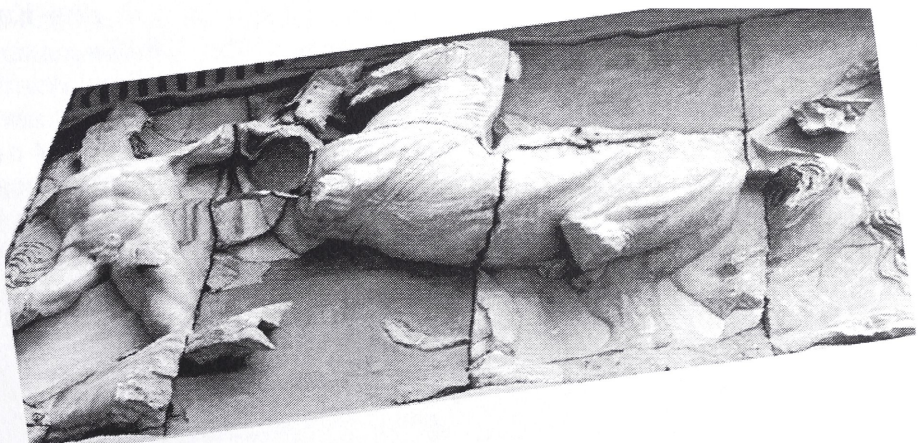


Abb 5: Aus einem 3D Modell gewonnene Schrägansicht eines Details

Interessante Einsatzmöglichkeiten sehen wir für die Kamera im Zusammenspiel mit Laserscanner. Im März und im August gab es dazu erste Versuche gemeinsam mit der Firma Octocom. Der parallel zur Kamera eingesetzte Laserscanner dient der Gewinnung von 3D-Informationen, die mit sehr hoher Geschwindigkeit und in hoher Dichte gewonnen werden. Der Laser-Scanner der Fa. Zoller & Fröhlich (Wangen) erfasst seine Umgebung mit 8000 Messungen in der Horizontalen ( $360^\circ$ ) und 1400 Messungen in der Vertikalen. Diese 11 Millionen Messpunkte werden in weniger als 2 Minuten erfasst. Am 6. März 2001 wurde ein Experiment in Neuschwanstein mit dem Ziel durchgeführt, die hochauflösenden Daten der EyeScan Kamera mit den Daten des Laserscanners zu kombinieren. Die Bilddaten wurden vom Zentrum des Hofes mit einem  $360^\circ$  Schwenk aufgenommen. Zusätzlich wurde die Optik des Systems um  $30^\circ$  geneigt, so dass der Mittelteil des Schlosses erfasst werden konnte. Da die Bildgeometrien bekannt sind, können die Daten so zueinander transformiert werden, dass sie geometrisch aufeinander gesetzt werden können. Das Bild hat im Original eine Auflösung von  $10200 \times 54.000$  Pixel und umfasst damit ein Datenvolumen von 6 Gigabytes bei 3 Kanälen (RGB) und einer radiometrischen Auflösung von 14 Bit. In Abb. 6 ist in einer Übersicht der Innenhof und einiege Details wiedergegeben.

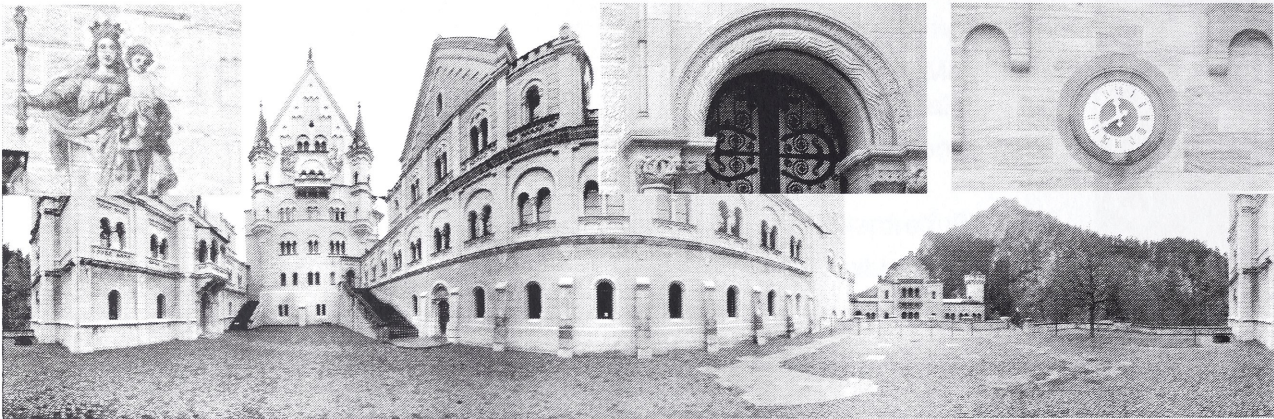


Abb. 6:  $360^\circ$  M2 Panoramaaufnahme vom Innenhof Neuschwansteins und Details

Für die weitere Datenverarbeitung und eine Zuordnung der Kameradaten zu den Laserscannerdaten ist es vorteilhaft, die Daten von exakt dem gleichen Standpunkt zu generieren. Da in diesem Experiment die Daten zeitlich parallel erfasst wurden, konnte diese Forderung nicht eingehalten werden. Prinzipiell kann eine Koregistrierung der Datensätze in einem solchen Fall durch zwei Ansätze realisiert werden. Entweder über eine exakte Orts- und Lagekenntnis für jedes Bildelement oder über eine klassische Bildpunktzuordnung (Matching). Innerhalb des Neuschwanstein-Experiments wurde auf eine aufwendige Datenverarbeitung verzichtet. Die Koregistrierung wurde durch eine partielle Korrektur der Daten ermöglicht. Bei dieser Korrektur werden die Daten auf eine Bezugsebene projiziert, was dem Übergang von Zylinder- oder Kegelkoordinaten in kartesische Koordinaten entspricht. Um eine Koregistrierung (Abb. 6) zu ermöglichen, wurden die Bilddaten partiell korrigiert (Abb. 7 & 8).

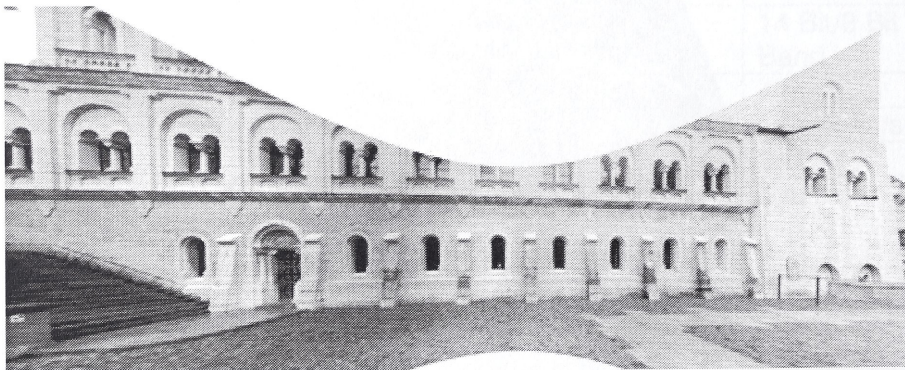


Abb. 7: In kartesische Koordinaten transformierte Front des Innenhofes von Abb.: 6

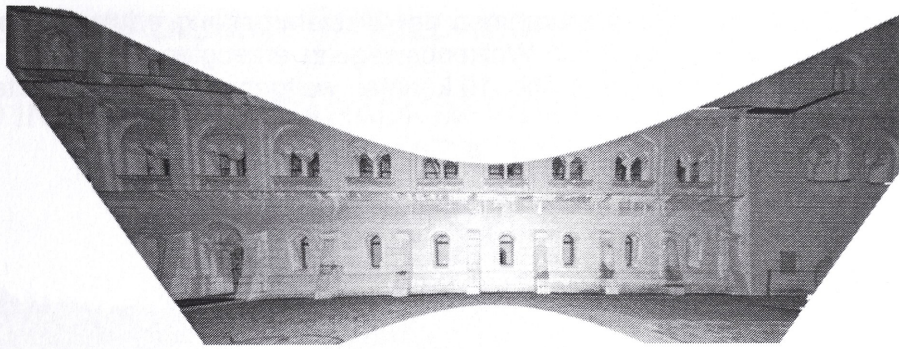


Abb. 8: In kartesische Koordinaten transformierte Front des Innenhofes der Bilddaten des Laserscanner

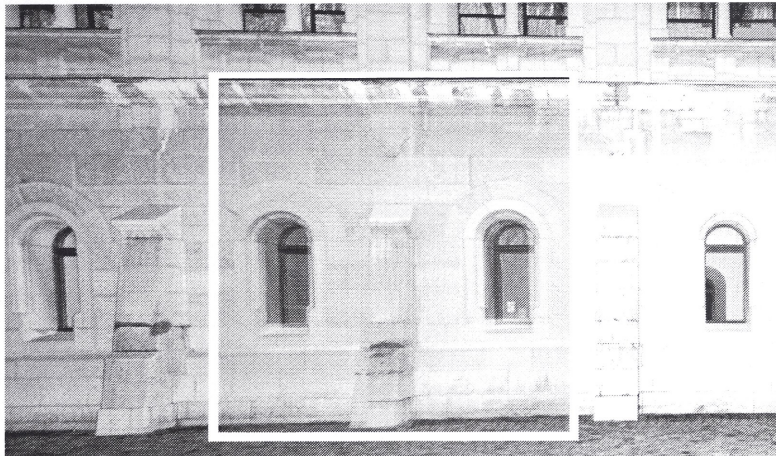


Abb. 9: Koregistrierung von Laserscanner- und Panoramascanneraufnahme

Bei der Transformation der Laserscannerdaten muss der Zusammenhang zwischen den originalen und korrigierten Daten gespeichert werden, um eine spätere Zuordnung der Panoramakameradaten zu kartesischen Koordinaten zu ermöglichen. Diese ersten Experimente zeigten, dass ein kombinierter Einsatz von einem Laserscanner und einer hochauflösenden Panoramakamera in der Nahbereichsphotogrammetrie neue Möglichkeiten eröffnet. Zum Einen können durch die Koregistrierung der Daten der beiden Meßsysteme die 3D-Informationen mit hochqualitativer Bildinformation gekoppelt werden. Zum Anderen ist zukünftig auch ein Verarbeitungsansatz denkbar, der die Laserscannerdaten als dichte Passpunktwolke in einer Stereopanoramaaufnahme nutzt. Notwendige Voraussetzung für beide Ansätze ist eine abgestimmte dynamische Kalibrierung beider Geräte.

Im Rahmen der Panoramakameraentwicklung wurden Softwaretools erstellt, die für den Nutzer der Kameradaten sehr hilfreich sein können. Geometrische Transformationen erlauben die Kompensation gewollter wie ungewollter Drehungen und Neigungen der Kamera. Die im Laufe der letzten Jahre entwickelten Verfahren zur Korrektur fluglagebedingter Störungen von CCD-Zeilen Stereoluftbildkameras lassen sich zu geometrischen Transformationen von Panoramaaufnahmen effektiv anwenden. Diese Transformationen erlauben, in Äquivalenz zu einer virtuellen Matrixkamera, den Übergang zur zentralperspektivischen Darstellung der Bilder. Dabei können 360° Abbildungen von Böden und Decken in zentralperspektivische Draufsichten überführt werden. Auch die bei Bildtransformationen notwendigen Resamplingprozesse konnten ohne Modifizierung aus der digitalen Luftbildtechnik übernommen werden. Weitere Softwarekomponenten betreffen radiometrischen Eigenschaften von Panoramabildern. Die Histogramme der Bilder können einem vorgegeben Normhistogramm angepasst werden. Dies war bei den Aufnahmen des Pergamonfries notwendig gewesen, um Farb- und Helligkeitsbrüche im Bild zu vermeiden. Da z.B. ein 360° Scan mehrere Minuten dauert, sind die Beleuchtungsverhältnisse häufig nicht konstant.

Ein entsprechender Ausgleich kann im Rahmen der Bildverarbeitung erfolgen. Als Beispiel dient hierfür Abb. 10 und Abb. 11. Die durch Wolkenbewegung erzeugten hell-dunkel Übergänge im 360° Panorama des Lustgarten (Berlin) Abb. 10 konnten weitgehend, bei eingehaltener Farbtreue, kompensiert werden.

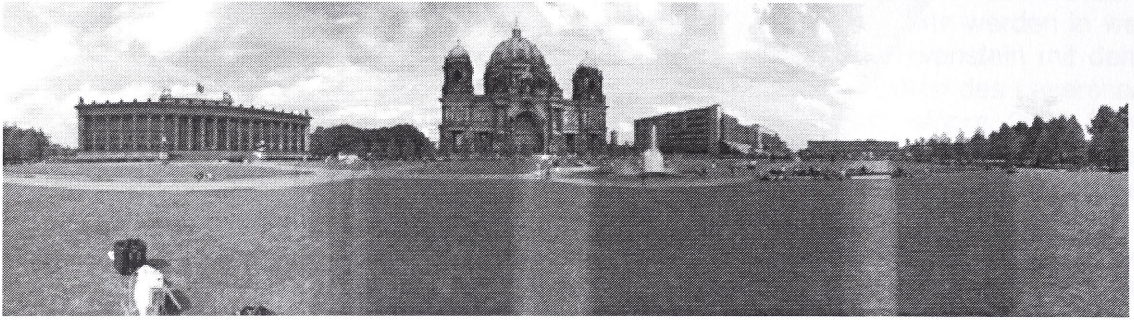


Abb. 10: 360° Panorama mit Wolkenshatten



Abb. 11: Bild von Abb. 10 nach der Radiometriekorrektur

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich CCD-Zeilenpanoramakameras für unbewegte Objekte, wie Kunstgüter, sowohl im Bereich der Digitalisierung, als auch der Vermessung ein breites Einsatzfeld eröffnet hat.

Unser Dank gilt den Herrn Dr. Asplmeier und Michael Pospis von der Firma Octocom für die Bereitstellung der Laserscandaten von Schloss Neuschwanstein.