

# IST DIE PHOTOGRAMMETRIE REIF FÜR DAS MUSEUM ?

Rolf-Dieter Düppe und  
Manfred Weisensee  
Institut für Photogrammetrie und Kartographie  
Technische Hochschule Darmstadt  
Deutschland

Kommission V, Arbeitsgruppe 4

**KEY WORDS:** Cultural\_Heritage, Reconstruction, Rectification, Mosaic, Visualization, Digital Image Matching, Infrared Reflectography

## ABSTRACT:

In this paper examples are given for the application of photogrammetry, remote sensing and image processing in the domain of a museum: In the first example a classical close-range application in 3D-space using photogrammetric hard- and software is discussed, in the second example methods of remote sensing are applied to the 2D task of an infrared reflectography mosaic.

## KURZFASSUNG:

Im vorgelegten Beitrag werden exemplarische Beispiele für Anwendungen von Photogrammetrie, Fernerkundung und Bildverarbeitung im Museumsbereich gegeben: Zum einen wird eine klassische 3D-Nahbereichsvermessung mit photogrammetrischer Hard- und Software diskutiert, zum anderen eine klassische 2D-Nahbereichsanwendung unter Verwendung von Methoden der Fernerkundung.

## 1. EINLEITUNG

Alle bedeutenden Museen besitzen heutzutage Abteilungen, in welchen in den jeweils spezifischen Aufgabengebieten interessierende Gegenstände ausgewertet, dokumentiert und archiviert werden. Ein Teil der in der Photogrammetrie möglichen und angewandten Auswertemethoden ist sicher reif für das Museum oder - besser gesagt - kann dort zum Einsatz kommen. Der Photogrammetrie würden sich so eine Reihe zusätzlicher, allerdings nicht unbedingt neuer Anwendungsgebiete erschließen: Man denke in diesem Zusammenhang an die von Anfang an in der Photogrammetrie vorhandene Unterschiedlichkeit der Anwendungen. Wenn auch die Hauptarbeitsgebiete seit A. Laussedat immer in der Topographie bzw. Kartenherstellung lagen, gab es hierzu immer parallel den kleineren Bereich der Sonderanwendungen, beginnend etwa mit der Architekturvermessung von A. Meydenbauer. Der in diesem Beitrag exemplarisch ausgesuchte und diskutierte Museumsbereich stehe also stellvertretend für das im Grunde nicht abgrenzbare und heute stetig wachsende Gebiet der sogenannten Sonderanwendungen.

In (Ackermann 1995) wird der Paradigma-Sprung hin zur digitalen Photogrammetrie recht eindrucksvoll diskutiert: Wurde früher im photogrammetrischen Auswertegerät aus dem auf Film vorliegenden Meßbild die Geometrie entnommen, so war vor und während dieses Meßprozesses auf Seiten des Operateurs die geistige Leistung des Erkennes und Interpretierens notwendig. In der heutigen digitalen Photogrammetrie hingegen verschmelzen die Teilaufgaben Erkennen, Interpretieren und Messen und gehen nahezu komplett auf einen Rechner über. Die Tatsache, daß im auszuwertenden Meßbild bereits alle überhaupt durch Licht übertragbaren Objektinformationen - also neben der Geometrie auch Informationen über Art und Zustand eines Objekts - gespeichert sind, wird dabei erst durch den Übergang vom

analogen Film zur digitalen Speicherung besonders bedeutungsvoll: Neben der Koordinate werden Nachbarschaften und Strukturen im Bild mathematisch beschreibbar und damit auch letztendlich vom Rechner automatisch auffindbar und interpretierbar. Man kann heute mit Recht davon ausgehen, daß am Ende der abzusehenden Entwicklung Systeme stehen werden, bei deren Anwendung das spezifische Know-How der Photogrammetrie wahrscheinlich gar nicht mehr gebraucht wird, was gleichzeitig zu einem sehr starken Wachstum des Anwendungsspektrums dieser Systeme führen wird. Verstärkt wird diese Entwicklung durch die mittlerweile als selbstverständlich hingegenommene stetig steigende Leistungsfähigkeit der zu benutzenden Rechnerhardware verbunden mit einem ebenso stetigen Preisverfall. Bei der benötigten photogrammetrischen Software verläuft die angedeutete Entwicklung wegen der beschränkten Größe des potentiellen Marktes zwar nicht gleichermaßen rasant, jedoch sind auch hier bereits für sehr viele Sonderanwendungen geeignete low-cost-Systeme prinzipiell verfügbar. Das Rad müßte demnach nicht vielerorts vom Nicht-Photogrammeter neu erfunden werden, wenn nur ein ausreichender Informationsaustausch zwischen den Fachdisziplinen vorhanden wäre. Allerdings ist davon auszugehen, daß auf Seiten potentieller fachfremder Auftraggeber oftmals zunächst nicht präzise formulierte Anforderungsprofile bestehen: Nach einer Analyse der Aufgabenstellung ist jedoch für den Photogrammeter zumeist leicht erkennbar, daß in der Regel bereits bei ihm vorhandene Standardverfahren direkt eingesetzt werden können oder nur noch geringfügig für gestellte Problem adaptiert werden müssen. Im vorgelegten Beitrag werden gerade im Hinblick auf den letztgenannten Gesichtspunkt exemplarische Beispiele für Anwendungen der Photogrammetrie und Bildverarbeitung im Museumsbereich gegeben: Zum einen wird eine klassische 3D-Nahbereichsvermessung mit photogrammetrischer Hard- und Software diskutiert, zum anderen eine klassische 2D-Nahbereichsanwendung mit Verwendung von Fernerkundungstools.

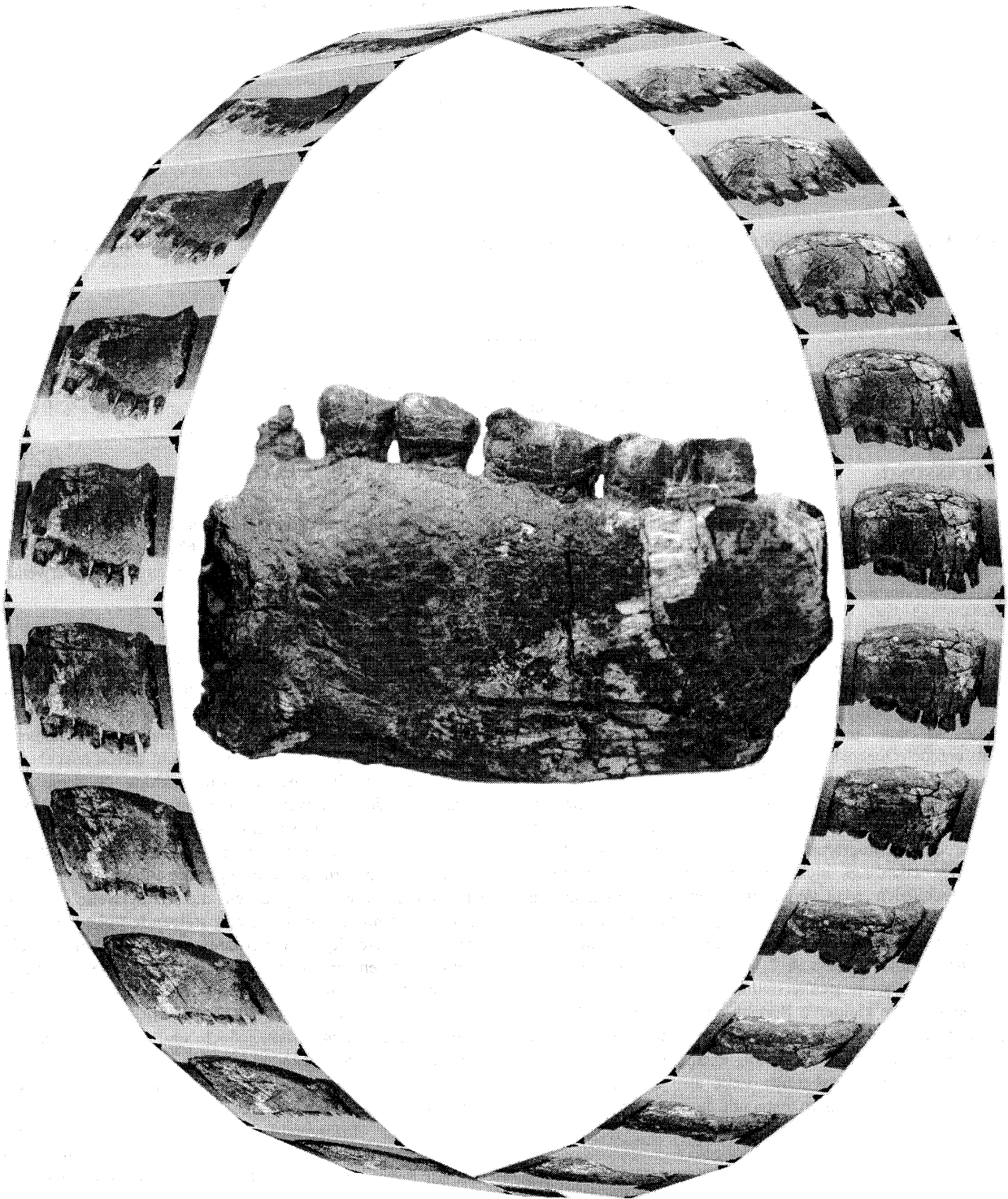


Abbildung 1: Aufnahmekonfiguration bei der Fossilvermessung unter Einsatz eines Drehtisches

## 2. VERMESSUNG EINES FOSSILS (3-D)

Für vergleichende Untersuchungen wird zur Zeit an einigen Stellen darüber nachgedacht, die weltweit wichtigsten Homo-Fossilien genauer zu vermessen, um in einer Datenbank auch alle benötigten Geometrie-Daten dieser Funde zur Verfügung

zu haben. Neben anderen Vermessungssystemen - wie beispielsweise Laserabtastern - soll auch die Photogrammetrie als Meßmethode eingesetzt werden. Ihre wesentlichen Vorteile lägen nämlich darin, daß der Hardware-Aufwand bei der Aufnahme relativ gering sei, daß die benötigten Aufnahmen damit notfalls auch unter schwierigen Bedingungen direkt vor

Ort und dabei auch noch von Nicht-Photogrammetern gemacht werden könnten und daß die Auswertung anschließend zu einem beliebigen Zeitpunkt und in beliebigem Umfang erfolgen könnte. Zu Testzwecken wurde am Hessischen Landesmuseum in Darmstadt ein dort zur Zeit vorhandenes bedeutendes Kieferknochenfossil - eines der wahrscheinlich weltweit ältesten Homo-Fossilien - mit photogrammetrischer Standardtechnik vermessen. Zum Einsatz kam dabei eine ganz normale - allerdings kalibrierte - Kleinbildkamera mit Makroobjektiv. Das Fossil wurde auf einem Drehtisch positioniert und relativ zur feststehenden Kamera um jeweils 15° gedreht (24 Aufnahmen pro Vollkreis), so daß letztendlich Aufnahmefolgen wie in Abb. 1 gezeigt entstanden. Die Filme wurden auf Kodak-Photo-CD gebracht, damit anschließend im digitalen Bild ausgewertet werden konnte; dabei wurde mit der Auflösung 2048 · 3072 Pixel gearbeitet, Pixelgröße 12 · 12 µm. In einem ersten Versuch wurden die 24 Aufnahmen einer Umdrehung zusammen mit zwei zusätzlichen Aufnahmen, in welchen ein Maßstab abgebildet war, ausgewertet. Zunächst erfolgte eine Bündeltriangulation, dabei wurden modellweise Bildkoordinaten gemessen und zwar jeweils in direkt 15°-benachbarten Bildern, aber auch in 30°-benachbarten Bildern. Versuche, die Modelle automatisch zu orientieren, d.h. die Bildkoordinaten für die Triangulation automatisch zu messen, waren bisher wegen der geringen Schärfentiefe der für den Nahbereich adaptierten Kleinbildkamera noch nicht sehr erfolgreich, so daß die endgültige Bündeltriangulation mit manuell gemessenen Bildkoordinaten durchgeführt wurde.

Dabei wurden folgende Genauigkeiten erzielt: Standardabweichungen der Punktkoordinaten im Objektraum < 100 µm, Bildkoordinatenverbesserungen < 3 µm bei freier Bündelgleichung. Für die darauf folgende Oberflächenvermessung in den orientierten Modellen wurde ein Least-Squares-Matching Programm eingesetzt, mit dem in den 24 Modellen etwa 400000 Oberflächenpunkte automatisch gemessen wurden. Aus diesen Daten läßt sich jetzt die Oberfläche des Kieferknochens im wesentlichen interpolieren, vgl. hierzu Abb. 2.

Bei unseren Testarbeiten tauchten allerdings noch einige Probleme bei den Zahnzwischenräumen auf, die noch gelöst werden müssen, wobei insgesamt davon auszugehen ist, daß noch einige Aufnahmen mehr ausgewertet werden müssen. Alle bisher geschilderten Arbeiten (Kalibrierung, Triangulation, DGM-Messung) konnten mit normaler photogrammetrischer Software auf einem PC durchgeführt werden, allein bei der Interpolation der rund um den Knochen gemessenen Punkte waren einige neue Programmbausteine zu entwickeln. So wurde eine echte 3D-Interpolation nach folgendem Prinzip realisiert: War ein Punkt zu interpolieren, so wurde zunächst eine Näherungsfläche (Ebene, Kugel o.ä.) durch seine Nachbarschaft gelegt, auf dieser Fläche eine zweidimensionale Interpolation  $Z=Z(x,y)$  realisiert und mit dem dadurch erhaltenen Näherungswert eine dreidimensionale Interpolation  $Z=Z(x,y,z)$  durchgeführt; für letztere war eine iterative Ausgleichung notwendig, die allerdings in der Regel äußerst schnell konvergierte.

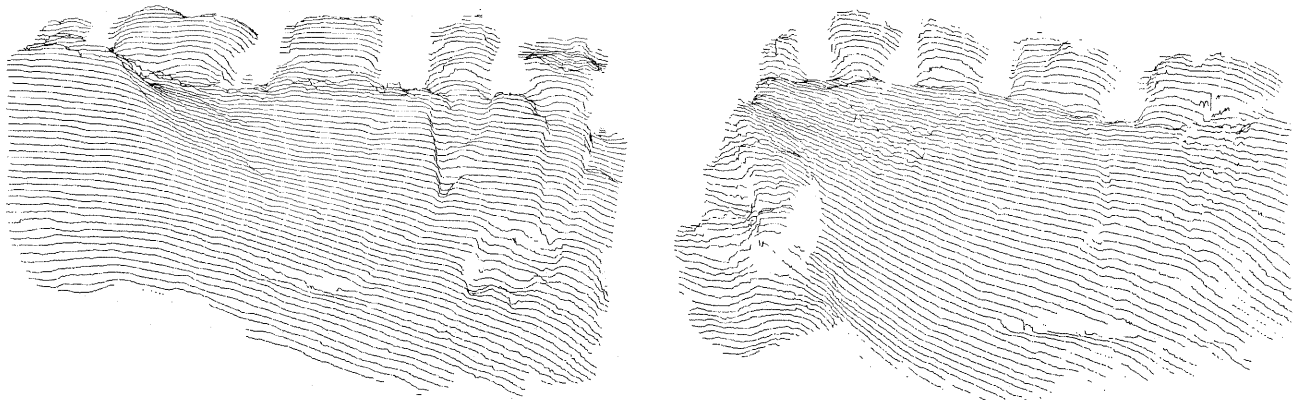


Abbildung 2: Ergebnis der Auswertung von Vorderseite und Rückseite des Kieferknochenfossils

### 3. INFRAROT REFLEKTOGRAPHIE, MOSAIKING (2D)

Wesentliche Grundvoraussetzung vieler Fernerkundungsverfahren ist die Tatsache, daß sich unterschiedliche Objekte in Bildern, welche in verschiedenen Spektralbereichen aufgenommen wurden, auch unterschiedlich darstellen. Man denke etwa an die Anwendung dieses Gedankens bei der multispektralen Klassifizierung. Die gleiche Idee wurde aber schon viel früher in vollkommen anderen Bereichen erfolgreich angewandt. Ein Beispiel dafür ist die Infrarot-Reflektographie, von der bereits in den 50er- und 60er-Jahren berichtet worden ist. Die Infrarot-Reflektographie wird seit dieser Zeit unter anderen eingesetzt bei der kunsthistorisch interessierenden, zerstörungsfreien Untersuchung mittelalterlicher Tafelmalereien, vgl. (van Asperen de Boer, 1969). Im infraroten Licht sind nämlich bei dieser Art Bilder die unter der für den

Betrachter sichtbaren Farbschicht verborgenen Vorzeichnungen durchscheinend. Eine Reihe größerer Museen ist bereits seit Jahren ausgestattet mit einer im Infraroten empfindlichen Kamera, in der Regel mit einer Hamamatsu Vidicon Röhre, welche im Strahlungsbereich 1000-2000 nm aufnimmt. Zusammen mit Kodak 87 bzw. 87C Gelatine- oder mit entsprechenden Schott-Glasfiltern sind diese Systeme nach vorliegenden Erfahrungen in der Lage, die gewünschten Informationen zu liefern. Die Auflösung einer Video-Kamera ist nun leider so gering, daß nur immer kleine Bildteile aufgenommen werden, welche anschließend zu einem Bildmosaik zusammengesetzt werden müssen. Während man anfangs die Teilbilder vom Bildschirm abphotographierte und Papierabzüge dieser Aufnahmen handwerklich zusammensetzte (eine im anderen Sinne museumsreife Arbeitsweise), sind bei einer Reihe von Stellen - vgl. etwa (Billinge et al. 1993) -

Bildverarbeitungssysteme im Einsatz, zum Teil eigene Entwicklungen, zum Teil konventionell verfügbare wie etwa das Programm Photoshop von Adobe Incorporated.

Bei unseren Versuchsarbeiten in Kooperation mit dem Städelschen Kunstinstitut in Frankfurt/Main sind wir hingegen konsequent von dem Gedanken ausgegangen, vorhandene eigene Fernerkundungssoftware möglichst ohne jede Anpassung für die oben vorgestellte Sonderanwendung einzusetzen. In Abb. 3 ist ein Ausschnitt des Gemäldes 'Anbetung der Könige' von Albrecht Altdorfer wiedergegeben, im sichtbaren Spektrum auf Film aufgenommen. Der gleiche Bildausschnitt wurde mit 7 x 7 Teilbildern (768 · 512 Pixel mit Überdeckungen von jeweils ca. 25%) aufgenommen. Um unterschiedliche Helligkeiten bei der Belichtung zu berücksichtigen wurde jedes Teilbild doppelt aufgenommen, zum einen angesteuert auf die hellen, zum anderen angesteuert auf die dunklen Bildpartien. Für diese Doppelbilder wurde sodann in bekannter Fernerkundungsmanier eine Hauptkomponententransformation durchgeführt und hierdurch ein aussagekräftigeres Teilbild für die weitere Verarbeitung erzeugt. Gerade diesen hier angerissenen Gedanken werden wir sicherlich noch weiter untersuchen im Hinblick auf ein spektrales Abscannen eines jeden Teilbildes mit verschiedenen Filterkombinationen. Alle Teilbilder wurden in einem zweiten Schritt geometrisch korrigiert um die für die benutzte Kamera mithilfe eines Gitters bestimmten Verzeichnungswerte. Anschließend wurden die 7 · 7 Teilbilder als photogrammetrischer Block aufgefaßt, in den Überdeckungsbereichen Verknüpfungspunkte gemessen und über eine ebene Anblockausgleichung geometrisch zusammengefügt. Verknüpfungspunkte konnten sowohl manuell als auch automatisch gemessen werden, wobei letzteres wegen der spezifisch vorliegenden Kontraste zum Teil noch auf große Schwierigkeiten stieß. Alle hier benutzten Programmkomponenten sind heute photogrammetrischer Standard und an keiner Stelle auf das Problem extra adaptiert. Es verblieb noch der Kontrastausgleich vor dem endgültigen Zusammensetzen der einzelnen Teilbilder: Dieser geschah zunächst global, wiederum mit klassischer Fernerkundungssoftware, wobei ein Kontrastausgleich über die Anpassung von Summenhistogrammen aller Überdeckungsbereiche - ähnlich wie beispielsweise in (Göpfert 1991) geschildert - erfolgte.

Eine zweite für das Problem spezifisch entwickelte Prozedur zusätzlicher lokaler Histogrammspreizung geschah mit einem zweistufigen Filter: Zunächst wurde mithilfe eines Mittelwertfilters das jeweils betrachtete Teilbild in eine Äquidensitendarstellung überführt, anschließend erfolgte mittels eines Histogrammfilters eine lokale Kontraststeigerung des Ausgangsbildes, dabei diente das Äquidensitenbild als Gewichtsmatrix. Als Ergebnis aller geschilderten Prozesse sehen wir in Abb. 4 das berechnete Bildmosaik, in den Abbildungen 5 und 6 wird zur Veranschaulichung noch einmal ein wesentliches Bilddetail - im sichtbaren und infraroten Spektralbereich aufgenommen - gegenübergestellt.

#### 4. SCHLUSSFOLGERUNGEN, AUSBLICK

Beide oben für den Museumsbereich diskutierten Beispiele zeigen unserer Meinung nach sehr deutlich, daß auf Seiten der Photogrammetrie bzw. Fernerkundung im Grunde schon die meisten Verfahren, Geräte und Tools für die andernorts zu

lösenden Vermessungs- und Bildverarbeitungsprobleme bereitstehen. Problematisch ist zunächst lediglich der Kommunikationsfluß zwischen den unterschiedlichen Fachdisziplinen; auch sind die Vorkenntnisse und Erfahrungen andernorts bezüglich Photogrammetrie und Fernerkundung unterschiedlich einzuschätzen. Sinnvoll wäre es allerdings, und diese Forderung geht an die Photogrammeter - die Autoren bewußt eingeschlossen -, die bereitstehenden Verfahren und Tools in eine brauchbare Form zu bringen, wobei brauchbar letztendlich heißt, daß dem Anwender möglichst automatisch ablaufende Prozesse inform einer Black Box zur Verfügung stehen. So ließen sich beispielsweise unserer Meinung nach beide oben diskutierten Aufgaben und damit viele andere nahezu vollautomatisch bearbeiten und lösen.

Es bleiben dann noch genügend weitere Aufgaben, die gemeinsam diskutiert und gelöst werden müssen, schauen wir diesbezüglich auf ein letztes exemplarisches Beispiel, wieder aus dem Museumsbereich: Von den Illustrationen einer bekannten mittelalterlichen Handschrift existieren auf Orthomaterial (Photoplatten) um die Jahrhundertwende aufgenommene Schwarz-Weiß-Photos. Da die Bildoriginale in unterschiedlichen Museen lagerten, sind einige der Originale durch Feuer verloren gegangen und es besteht die Aufgabe, die Farben der verlorengegangenen Bilder zu rekonstruieren. Da zusätzlich alte textliche Beschreibungen der Illustrationen existieren und auch Kenntnisse über ebenso alte mittelalterliche Handschriften und ihre Regeln bestehen, läßt sich hier eventuell das in der Fernerkundung bekannte Verfahren der multispektralen Klassifizierung auf die Rekonstruktion der Farben anwenden. Denkbar ist beispielsweise die Benutzung fiktiver Bildkanäle, in welche das Wissen von Kunsthistorikern einfließen könnte, denkbar ist auch das Übertragen von Farbkombinationen aus anderen Handschriften. Eine solche Aufgabe wäre sicherlich für den Photogrammeter sehr reizvoll, allerdings müßten starke interaktiver Einflußmöglichkeiten des kompetenten Kunsthistorikers ermöglicht werden.

Insgesamt darf im Einklang mit (Ackermann 1995) gefolgert werden, daß der Bereich der sogenannten Sonderanwendungen für die Photogrammetrie sicherlich stark wachsen wird. In diesem Sinne ist die Photogrammetrie wirklich reif für das Museum.

#### 5. LITERATUR

- Ackermann, F., 1995. Digitale Photogrammetrie - Ein Paradigma-Sprung. Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, 63 (3), pp. 106-115
- van Asperen de Boer, J.R.J. 1969. Reflectography of paintings using an infra-red vidicon television system. Studies in Conservation, 14, pp. 96-118
- Billinge, R., J. Cupitt, N. Dessipris, D. Saunders. 1993. A Note on an improved Procedure for the rapid Assembly of Infrared Reflectogram Mosaics. Studies in Conservation, Vol.38/2, pp. 92-98
- Göpfert, W. 1991. Raumbezogene Informationssysteme. 2. Auflage. Wichmann Verlag, Karlsruhe, pp. 169-172.



Abbildung 3: Ausschnitt des Gemäldes 'Anbetung der Könige' von Albrecht Altdorfer (um 1530), Eigentum Städelsches Kunstinstitut Frankfurt am Main (SG452), aufgenommen im sichtbaren Bereich



Abbildung 4: Kontrastverstärktes Bildmosaik aus 49 Teilbildern, aufgenommen im infraroten Bereich

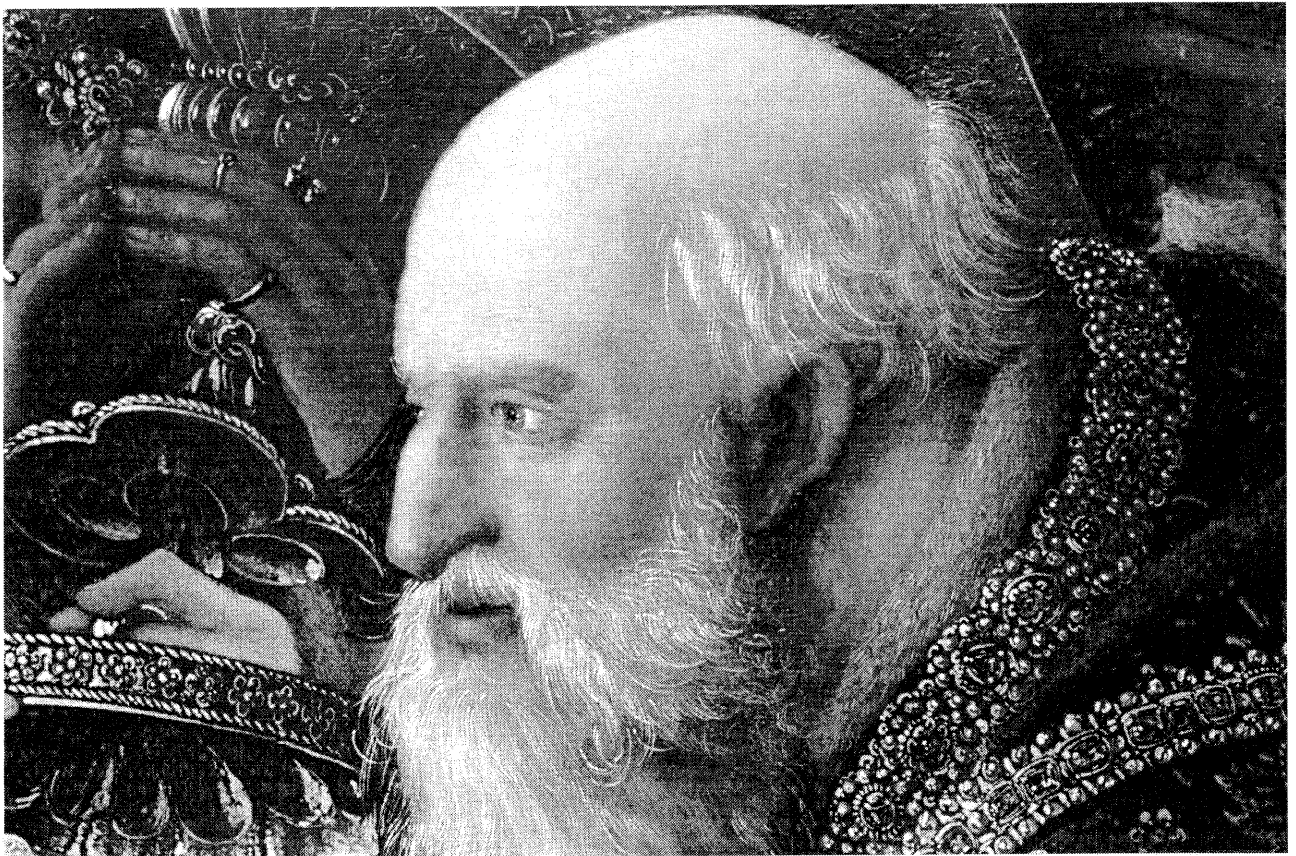


Abbildung 5: Detail, aufgenommen im sichtbaren Bereich



Abbildung 6: Detail, kontrastverstärktes Bildmosaik aus 9 Teilbildern, aufgenommen im infraroten Bereich