

Sonderforschungsbereich 149 "Vermessungs- und Fernerkundungsverfahren an Küsten und Meeren"

⁺Klein + Stekl, Gesellschaft für Anwendungsberatung mbH

DIGITALE BILD-ENTZERRUNG MIT HILFE EINES MINICOMPUTERS

Abstract

Es wird über eine Installation eines Bildverarbeitungssystems auf einem CAI-Minicomputer berichtet, bei der Bilder in einer "Bilddatenbank" abgespeichert werden können, die einen wahlfreien Zugriff auf beliebige Rechteckauschnitte ermöglicht. Am bekannten Beispiel der geometrischen Entzerrung nach Polynomen wird gezeigt, daß die Verarbeitung eines Bildes als Folge von Rechteck-Teilbildern einer zeilenweisen Verarbeitung überlegen ist.

1. Einleitung

Der Sonderforschungsbereich 149, "Vermessungs- und Fernerkundungsverfahren an Küsten und Meeren", sowie das Institut für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen der Universität Hannover arbeiten seit mehreren Jahren auf dem Gebiet der Fernerkundung. Einen der Forschungsschwerpunkte stellt das Gebiet der geometrischen Entzerrung von Aufnahmen für die Belange der Fernerkundung dar. Hier sind in den vergangenen Jahren grundlegende Arbeiten entstanden (BAHR /1,6,7/, CLERICI /2/, DOWIDEIT /3/, KONECNY /4/, SCHUHR /5/).

Die in der Regel digital vorliegenden Bilddaten wurden mit einem modularen Bildverarbeitungspaket MOBI, welches am SFB 149 entwickelt wurde, an einem Großrechner CDC Cyber 73/76 verarbeitet. Die Bildwiedergabe geschieht mit einem digitalen Lese- und Schreibgerät OPTRONICS P1700.

Mitte 1979 wurde das OPTRONICS-System um einen CAI-Rechner LSI 2/20 von COMPUTER AUTOMATION sowie um einen Plattenspeicher erweitert, so daß von dem Zeitpunkt an auch erstmals Bildverarbeitung losgelöst vom Großrechner möglich wurde. Es entstand an dem o.g. Minicomputer ein Programmpaket zur digitalen Bildverarbeitung, welches auch die digitale Entzerrung von Bilddaten nach Polynomen gestattet.

2. Die Bildverarbeitungsanlage

Die Konfiguration der Hardware ist in Bild 1 dargestellt. Der Rechner besteht aus einem LSI 2/20 von COMPUTER AUTOMATION mit 32 K 16-Bit-Wort-RAM und einem plattenorientierten Single-Task-Betriebssystem. Als Programmiersprachen sind CAI-Assembler und FORTRAN IV möglich. Der Rechner besitzt hardwaremäßig kein "Floating Point". Die Platteneinheit besteht aus einer Fest- und einer Wechselplatte von je 5 MByte formatierter Speicherplatzkapazität. Eine automatische Filefortführung von einer Platte auf die andere wird vom Betriebssystem her nicht unterstützt. Dies muß der Benutzer durch eigene Software bewerkstelligen (S.3.2.). Die Bilddaten-Ein- und Ausgabe kann mit einem 9-Spur-Magnetbandgerät (800 bpi) oder dem digitalen Lese- und Schreibsystem OPTRONICS P1700 erfolgen.

Des Weiteren ist ein ISI 150 Bildinterpretationssystem angeschlossen. Es sind Bilddatentransfers von dem CAI-Rechner auf eine Analogspeicherplatte des ISI-Systems möglich. Am ISI-System können 292 Fernsehbilder (590x640 Bildelemente) gespeichert und analog dort weiterverarbeitet werden. Dazu gehören Kontrastveränderungen, Äquidensitenbildung, Ratiobildung genauso wie die Möglichkeit zur Bildkoordinatenmessung mit Hilfe eines Fadenkreuz Cursors.

3. Die Bildverarbeitungssoftware

3.1. Anwendungsprogramme

Es wurde ein Programmpaket von Anwendungsprogrammen entwickelt, mit dem ein Benutzer ohne Programmier- und Systemkenntnisse interaktiv arbeiten kann. Die zur Zeit verfügbaren Programme beinhalten Kontrastveränderungen, Faltungen, Statistik und geometrische Operationen. Daneben stehen eine Vielzahl von 'Utility'-Programmen zur Verfügung.

Einen typischen Ablauf eines Programms zeigt Bild 2. Zunächst wird dem Benutzer ein Menü der zur Verfügung stehenden Programme angeboten. Nach entsprechender Wahl sorgt ein 'Jobgenerator' dafür, daß alle Dateizuordnungen getroffen werden und eine abzuarbeitende Kommandokette zusammengestellt wird. Nach einem Vorprogramm zur Parametereingabe und -prüfung (Bildname, Ausschnitt etc.) beginnt die eigentliche Exekution des Bildverarbeitungsprogramms, nach dessen Beendigung wieder in das 'Menü'-Programm zurückgesprungen und der Benutzer zur nächsten Wahl aufgefordert wird.

3.2. Die Bilddatenbank

Alle Bildverarbeitungsprogramme bedienen sich einer einheitlichen Zugriffsmethode auf die Bilddaten, die speziell für dieses System entwickelt wurde. Alle Bilddaten werden in einer "Bilddatenbank" abgespeichert.

Diese Bilddatenbank hat die folgenden wesentlichen Eigenschaften:

- Alle Bilde werden in einem 'Pool' abgespeichert, der zentral verwaltet wird. Die Namen und die Geometrie der Bilder sind in einer 'Directory' festgehalten. Die Anzahl der gleichzeitig abzuspeichernden Bilder ist nur durch die verfügbare Plattenspeicherkapazität beschränkt.
- Der Bilddatenpool kann als eine logische Einheit angesehen werden, besteht aber physikalisch aus in der Regel mehreren zusammenhängenden Dateien. Die Dateien können auf verschiedenen Platteneinheiten liegen. Damit können auch Bilder abgespeichert werden, die die Speicherkapazität einer Platte überschreiten.

- Die Plattenspeicherausnutzung ist sehr gut. Bilddaten eines Bildes werden nur abschnittsweise zusammenhängend abgespeichert. Nach dem Löschen eines Bildes wird der Plattenspeicherplatz automatisch wieder für andere Bilder verwendet. Es ist kein 'Compress' notwendig.
- Alle Bilder werden zeilenweise abgespeichert; die einzelnen Bildzeilen werden jedoch dicht gepackt hintereinander abgespeichert (1 Byte = 1 Pixel). Bildzeilen sind nicht an Sektoren gebunden, d.h. Anfang und Ende einer Bildzeile können sich sogar auf verschiedenen physikalischen Dateien befinden.
- Für den Zugriff auf Bilddaten (Read/Write) stehen Unterprogramme zur Verfügung, für deren Aufruf lediglich der Bildname und der Bildausschnitt angegeben wird. Der Benutzer hat keine Information darüber, wo die Bilddaten auf der Platte abgespeichert sind.
- Beim Lesen/Schreiben werden stets Rechteckausschnitte übertragen, wobei das Rechteck auch aus einem Punkt, einer Zeile, einer Spalte oder dem Gesamtbild bestehen kann.
- Beim Lesen/Schreiben wird in den Unterprogrammen gegebenenfalls eine Konversion der Bilddaten vorgenommen. Während die Speicherung auf der Platte stets im Byte-mode erfolgt, kann die Bearbeitung der Bilddaten im Hauptspeicher in Real, Integer oder Bytemode erfolgen.

Im nächsten Kapitel wird anhand eines Beispiels erläutert, welche Vorteile diese Zugriffsmethode bietet.

4. Die digitale Entzerrung von Bilddaten

4.1. Verfahren

Das Verfahren der digitalen Entzerrung nach Polynomen wurde in der Vergangenheit oft diskutiert und soll hier deshalb nur kurz dargestellt werden (KONECNY /4/, SCHUHR /8/, BÄHR /1,7/).

Bei der digitalen Entzerrung unterscheidet man zwischen zwei Arten:

- a) Die Grobentzerrung nach bekannten Sensoreigenschaften ohne die Einbeziehung von Kontrollpunkten (Affinitätskorrektur, Panoramaverzerrung, Erddrehungskorrektur etc.).
- b) Die Feinentzerrung unter Verwendung der Koordinaten von Kontrollpunkten.

Die Grobentzerrung wird in der Regel vor der Feinentzerrung angewandt, um die Verzerrungsmaße schon von vornherein klein zu halten. Bei der Feinentzerrung unterscheidet man zwischen strengen Verfahren, die mit Kollinearitätsgleichungen arbeiten und Näherungsverfahren, wie etwa das der Entzerrung nach Polynomen.

Bei dem letztgenannten transformiert man die gemessenen Istkoordinaten von Kontrollpunkten über die Rahmenmarken oder Eckpunkte des Bildes in das digitale Bildkoordinatensystem (Pixelsystem). Gleiches wird auch mit den Sollkoordinaten (z.B. Gauß-Krüger-Koordinaten) getan. Eine Helmert-Transformation dieser beiden Systeme liefert einen ersten Überblick über die Abweichungen einschließlich Maßstab und Drehung der Systeme zueinander. Die übrigbleibenden Restfehler v_{xj} , v_{yj} werden dann nach der Methode der kleinsten Quadrate in ein Polynom der Bildkoordinaten entwickelt.

Zweckmäßigerweise bestimmt man das Polynom zunächst für eine Entzerrung nach der 'Direkten Methode' (KONECNY /4/) und bekommt so für die Bildränder die

maximalen Ausdehnungen in x und y. Damit ist die Bildgröße des entzerrten Bildes für eine Entzerrung nach der 'Indirekten Methode' (KONECNY /4/) bekannt. Für sie wird jetzt das Polynom bestimmt und die Entzerrung durchgeführt (Vermeidung von Bildklaffungen). Die nach einer anschließenden Helmert-Transformation sich ergebenden Restfehlervektoren kennzeichnen nach Betrag und Richtung die Verzerrungen des Bildes gegenüber der Entzerrungsgrundlage (in der Regel eine Karte), der aus ihnen berechnete mittlere Fehler ist ein Maß für die geometrische Genauigkeit des Bildes.

Mit dem Maßstabsfaktor und dem Drehwinkel des Bildes gegenüber einer Karte kann man dann in einem Vergrößerungsgerät (oder auch digital) das Bild auf den gewünschten Maßstab und die gewünschte Orientierung bringen. Die im Zuge der Entzerrung dem Bild wahlweise eingeblendeten Gitterlinien erleichtern dabei dem nachfolgenden Bearbeiter eine Zuordnung zu Kartengrundlagen.

Damit ergibt sich für eine geometrische Entzerrung eines Bildes der in Bild 3 dargestellte Ablauf. Bei der praktischen Durchführung der digitalen Entzerrung muß man immer größere Zeilenpakete des verzerrten Bildes im Kernspeicher des Rechners halten, um die Grauwerte - aufgrund der mit dem Polynom ermittelten Adressen - den Ausgabebildelementen zuordnen zu können. Dies ist ein - besonders bei Minicomputern mit begrenzter Hauptspeicherkapazität - sehr zeitaufwendiges Verfahren, da immer nur kleinere Zeilenpakete gespeichert werden können. Hier empfiehlt sich ein Verfahren, welches das zu entzerrende Bild als Folge von Rechteckausschnitten behandelt und im folgenden beschrieben wird.

4.2. Realisierung

Neben den zu entzerrenden Bilddaten müssen bei Entzerrungsverfahren, die mit Kontrollpunkten arbeiten, Soll- und Istkoordinaten dieser Punkte zur Verfügung stehen.

Der SFB 149 hat für die Belange der Fernerkundung ein Testgebiet an der deutschen Nordseeküste, von dem in bestimmten Abständen immer wieder neues Bildmaterial gewonnen wird, welches unter anderem auch geometrisch verarbeitet wird. Es ist daher zweckmäßig, die aus dem Gebiet stammenden Sollkoordinaten von Kontrollpunkten aus topographischen Karten oder ähnlichem zu entnehmen und fest abzuspeichern. Auf die Koordinaten dieses abgespeicherten Punktes wird über die Kartenblattnummer und eine fortlaufende Nummer direkt zugegriffen (Hash-File).

In einem gesonderten Lauf vor der geometrischen Entzerrung werden die Istkoordinaten erfaßt und in eine editier-fähige Datei geschrieben. Die Erfassung kann über Lochstreifen, Magnetband, Eingabe von Hand oder durch Cursormessung am ISI-System erfolgen.

In einem Vorprogramm werden die Parameter der Abbildungen bestimmt (Polynomkoeffizienten) und eine Genauigkeitsüberprüfung durchgeführt.

Für die Durchführung der Entzerrung nach der 'indirekten Methode' stehen wahlweise zwei Programme zur Verfügung:

- a) Zeilenweises Erzeugen des Ausgabebildes
- b) Erzeugung des entzerrten Bildes als eine Folge von Teil-Rechtecken.

4.3. Die Methode der Entzerrung als Folge von Teilrechtecken

Eine Zeile des entzerrten Bildes (Ausgabebild) setzt sich bei starken Verzerrungen des Ursprungsbildes aus Bildelementen zusammen, die aus mehreren Zeilen des verzerrten Bildes (Eingabebild) stammen können. Es ist deshalb

wünschenswert bei der Abarbeitung eines Bildes einen möglichst großen Teil des verzerrten Bildes im Hauptspeicher zu halten. Dies ist bei Minicomputern nur in beschränktem Maße möglich.

Man muß sich daher auf wenige Zeilen beschränken oder die Zeilen in mehrere Abschnitte aufteilen. Letzteres führt zu der Rechteckmethode. Für die Durchführung ergeben sich zwei Teilprobleme.

Zum einen muß zu einem gegebenen Ausgaberechteck ein 'korrespondierendes' Eingabeteilbild bestimmt werden, d.h. ein umschreibendes Rechteck aller Eingabebildpunkte, die in das ausgewählte Ausgabeteilbild abgebildet werden. Da es sich bei den Abbildungsgleichungen um Polynome zweiten Grades handelt, lassen sich die maximalen Ausdehnungen der Teilbildbegrenzungen in geschlossener Form berechnen.

Das schwierigere Problem liegt in einer geeigneten Wahl der Rechtecke im Ausgabebild unter der Randbedingung, daß die Summe der benötigten Speicherplätze für ein Ausgaberechteck mit korrespondierendem Eingaberechteck eine vorgegebene Schranke nicht überschreiten darf. Dabei soll angestrebt werden, die Anzahl der benötigten Plattenzugriffe so gering wie möglich zu halten.

Das von uns implementierte Programm teilt das Ausgabebild in eine Anzahl gleich breiter Streifen ein, wobei die Streifen in Rechtecke zerlegt werden, die nacheinander abgearbeitet werden. Für die Bestimmung der Streifenhöhe wird ein maximales Quadrat im linken oberen Eck des Ausgabebildes berechnet, das der oben genannten Speicherrandbedingung genügt. Die Breite der Rechtecke und damit die Anzahl der Bildelemente variiert im Laufe der Abarbeitung je nach dem Grad der Verzerrung des Ursprungsbildes. Die Höhe der Rechtecke muß immer gleich der Streifenhöhe sein.

Ein Vergleich der Rechenzeiten zwischen dem Verfahren der zeilenweisen und der rechteckweisen Entzerrung kann an ausgewählten Beispielen dem Anhang entnommen werden.

Literatur

- BÄHR, H.-P.: Geometrical Models for Satellite Scanner Imagery. ISP 1976
- CLERICI, E.: Über die Anwendbarkeit von Side Scan Sonar zur Erstellung von topographischen Karten des Meeresbodens. Wiss.A. Nr.74, 1977
- DOWIDEIT, G.: Eine Blockausgleichung für Abbildungen des seitwärtsschauenden Radars (SLAR). Wiss.A. Nr.75, 1977
- KONECNY, G.: Mathematical Models and Procedures for the Geometric Restitution of Remote Sensing Imagery. ISP 1976
- SCHUHR, W.: Digital Rectification of Multispectral Imagery. ISP 1976
- BÄHR, H.-P.: Analyse der Geometrie auf Photodektoren abgetasteter Aufnahmen von Erderkundungssatelliten. Wiss.A. Nr. 71, 1976
- BÄHR, H.-P.: Vom Satellitenbild zur Reihenmeßkammer-Aufnahme: das Jadegebiet im Vergleich unterschiedlicher Sensoren. FMP
- SCHUHR, W.: Geometrische Entzerrung multispektraler Abtasteraufnahmen. FMP
- SFB 149: Vermessungs- und Fernerkundungsverfahren an Küsten und Meeren. Jahresbericht 1977, Wiss.A. Nr.87, 1978

Beispiel	Bildgröße		Bemerkungen	Rechenzeit bei Methode	
	Zeilen	Spalten		zeilenweise	rechteckweise
Fassade	1410	1100	Starke Verz. in x-Richtung	5 ^h 45 ^{min}	3 ^h 08 ^{min}
Ocean-Color-Scanner	1772	592	Starke Verz. in x und y	5 ^h 29 ^{min}	3 ^h 02 ^{min}
TEST-raster	200	200	Verz. nur in y-Richtung	5 ^{min} 58 ^{sec}	6 ^{min} 00
TEST-raster	200	200	Verz. nur in x-Richtung	8 ^{min} 11 ^{sec}	5 ^{min} 09 ^{sec}

TAB 1: Rechenzeitvergleich der einzelnen Bildbeispiele und Methoden

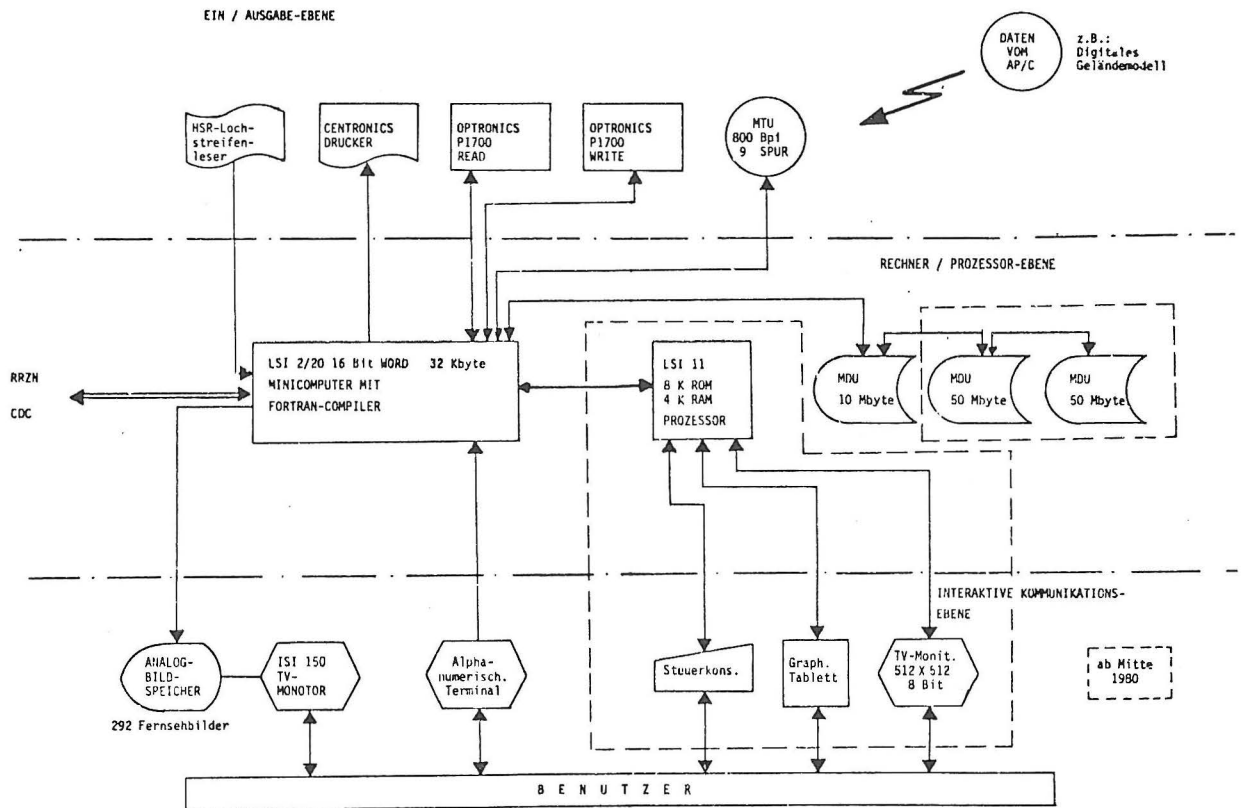
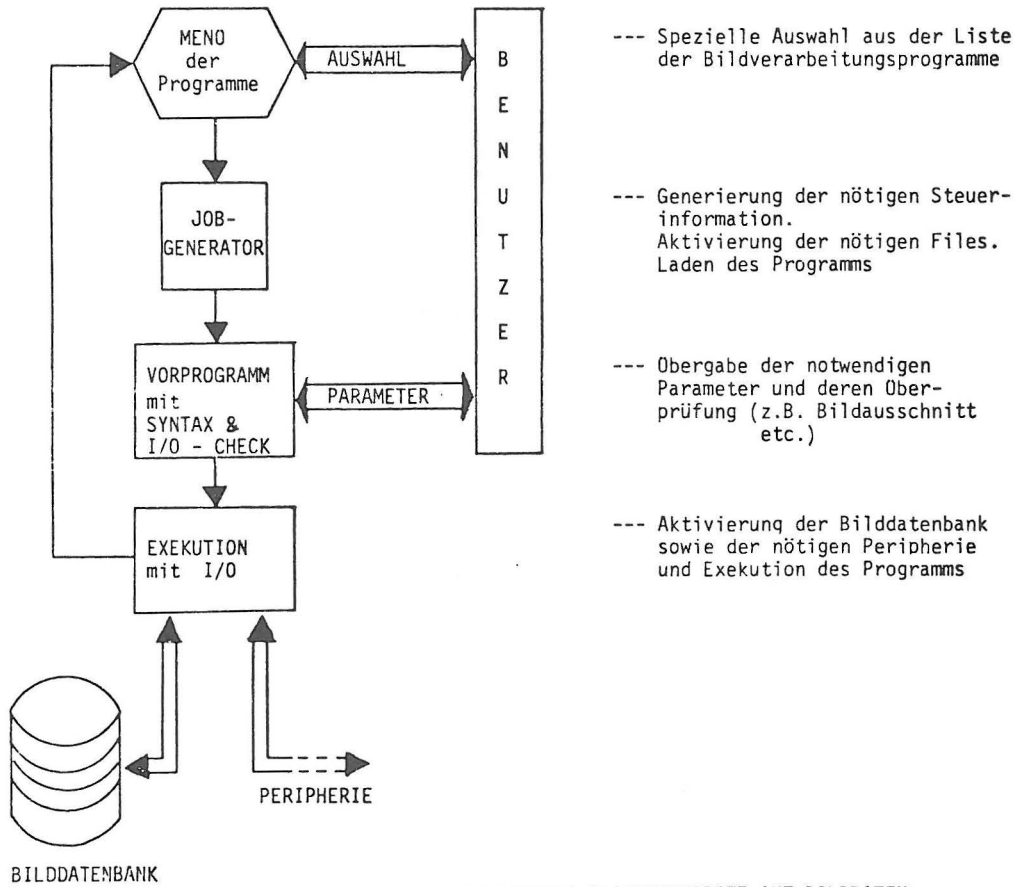


Bild 1: Bildverarbeitungsanlage SFB 149

JOBSTRUKTUR - BILDVERARBEITUNG



--- WAHLFREIER PLATTENZUGRIFF AUF BILDDATEN:

- a) punktförmig
- b) linienförmig
- c) flächenförmig

unter dem wahlfreien Modus:

- a) INTEGER = 2 Bildpunkte/Rechnerwort
- b) BYTEWEISE = 1 Bildpunkt /Rechnerwort
- c) REELL = 1 Bildpunkt /2 Rechnerworte

mit 1 Rechnerwort = 16 Bit

Bild 2: Typischer Ablauf eines Programms

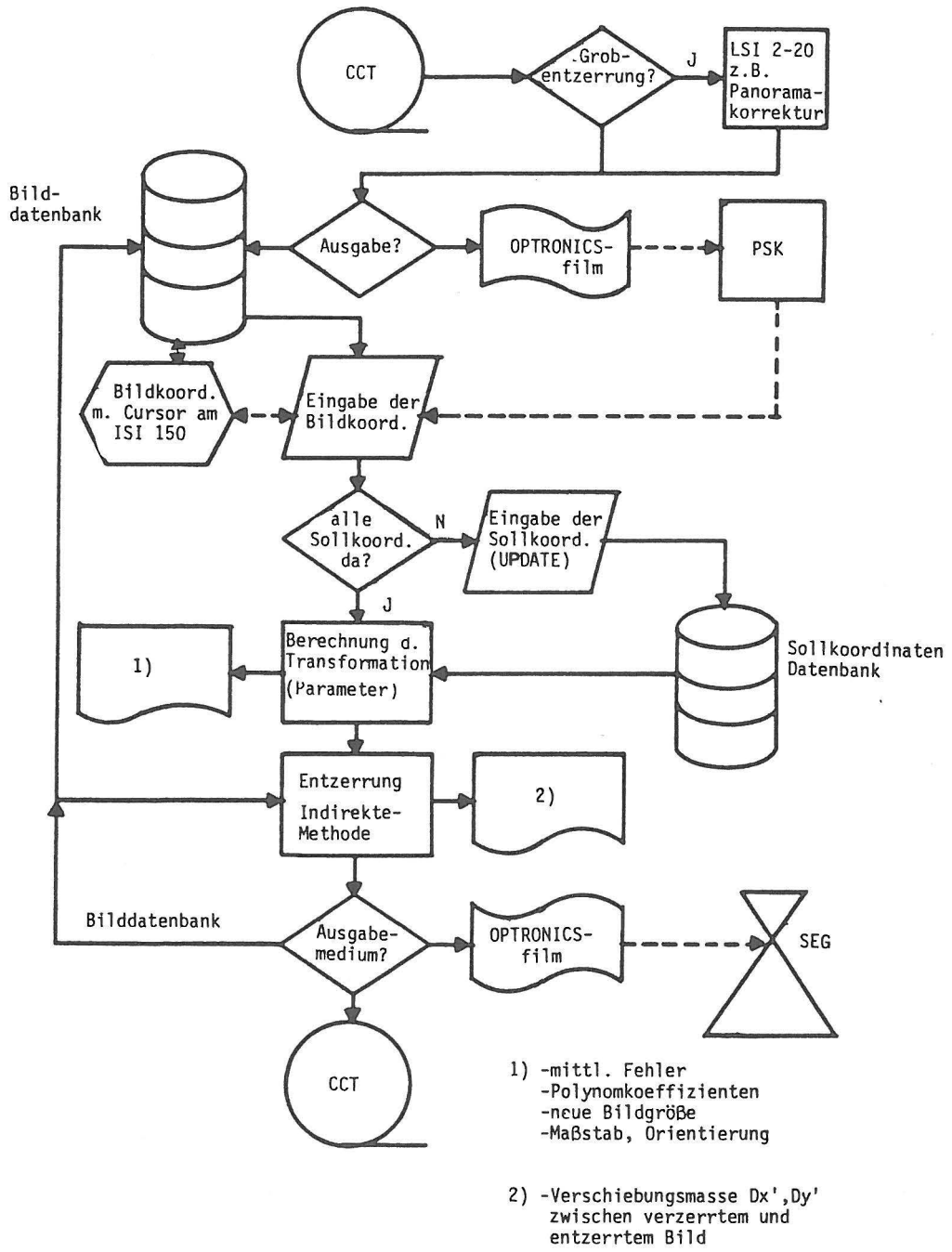
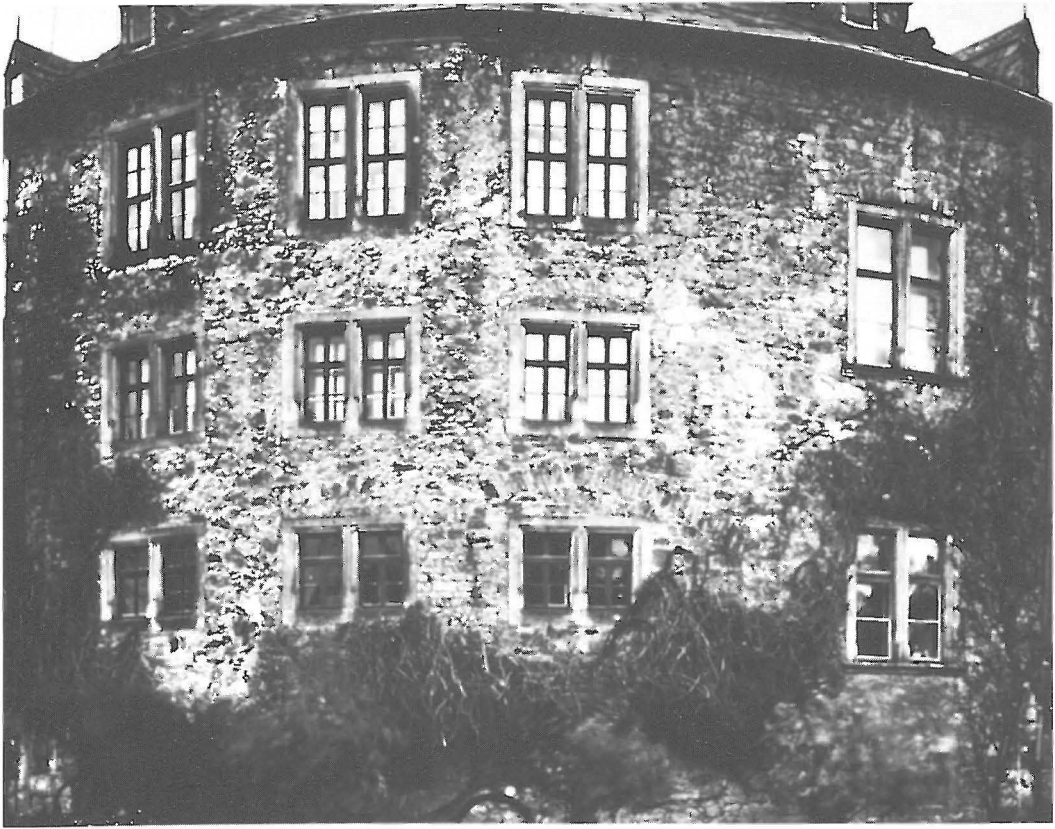
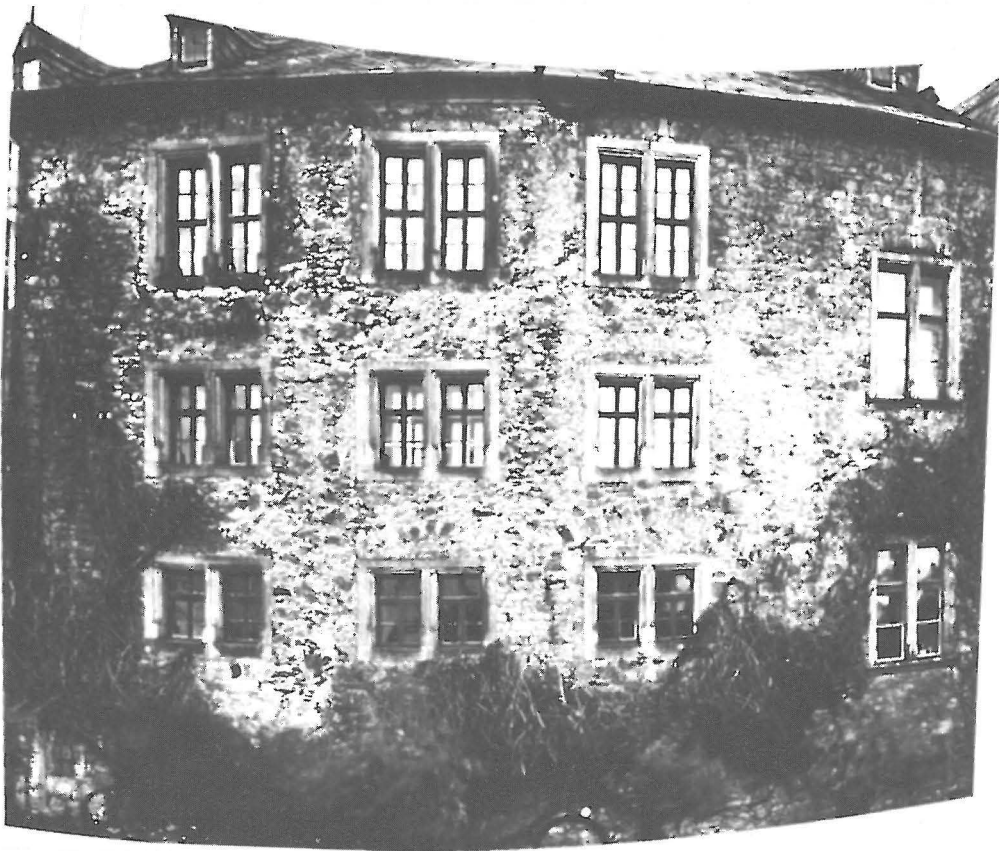


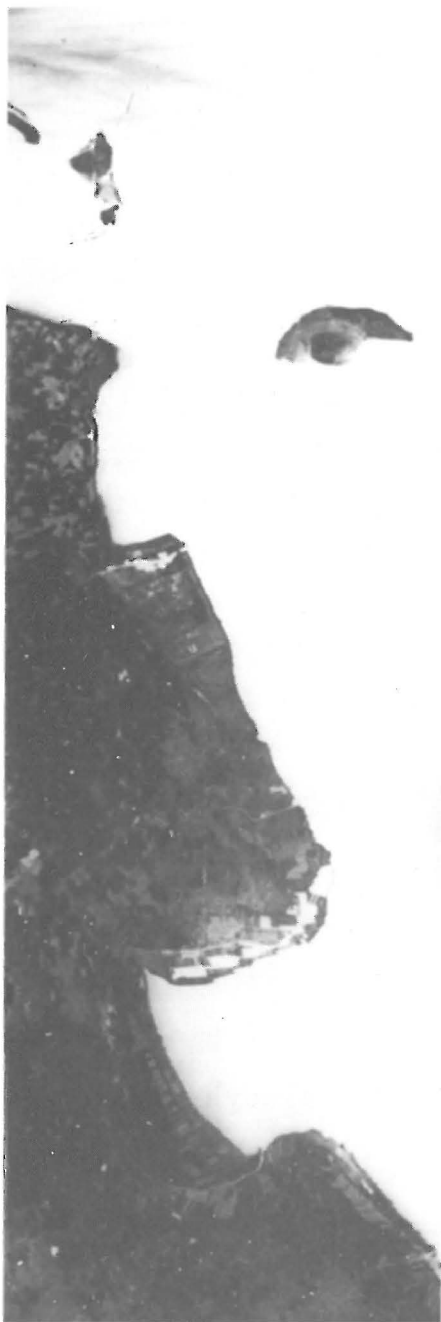
Bild 3: Arbeitsablauf bei der digitalen Entzerrung



Fassade verzerrt



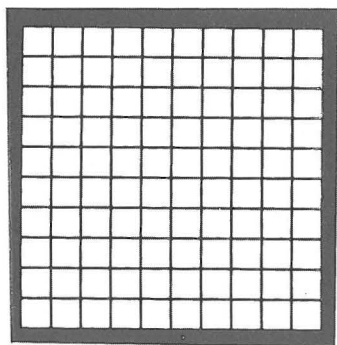
Fassade entzerrt



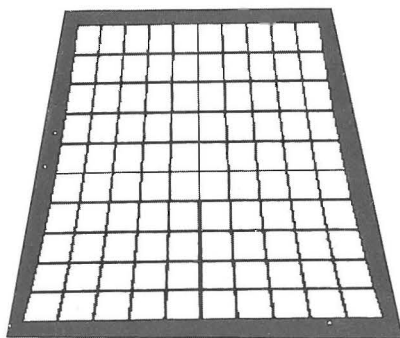
OCS verzerrt



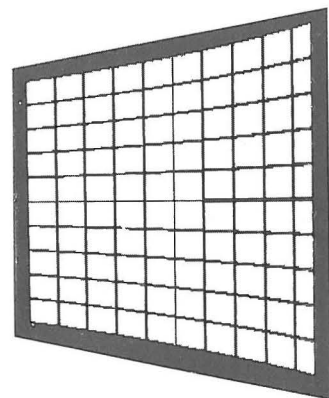
OCS entzerzt



Testraster



Verzerrungen nur in Y



Verzerrungen nur in X