

DIGITALE AUSWERTUNG VON RASTER-ELEKTRONENMIKROSKOP-AUFNAHMEN

W. Nickel, G. König und J. Storl, Berlin

1. EINLEITUNG

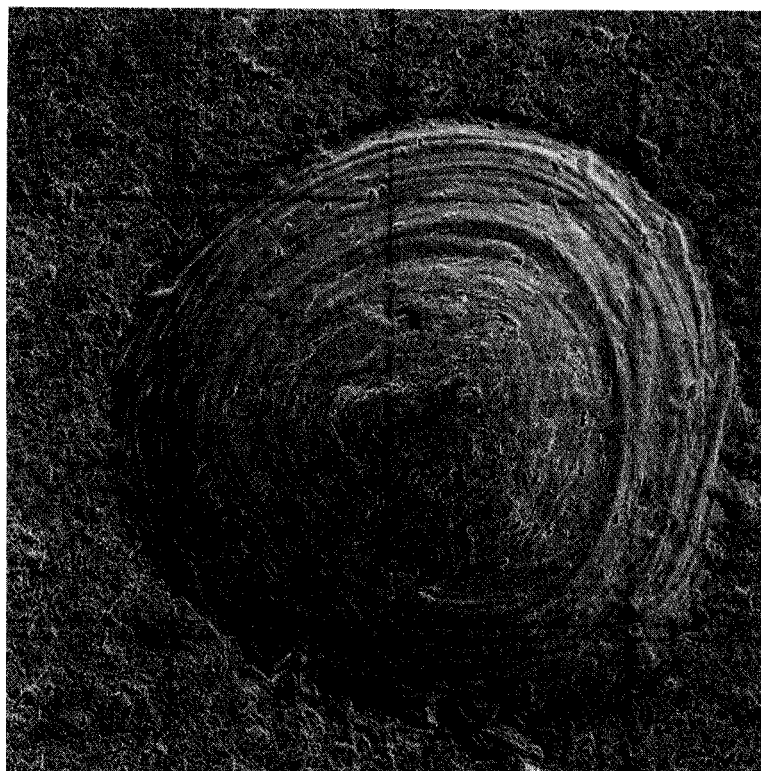
1.1 ANALYSE VON OBERFLÄCHEN IN DER MATERIALFORSCHUNG

In der Materialforschung erhofft man sich wichtige Informationen durch die dreidimensionale Auswertung von Oberflächen. Die Analyse von Bruchoberflächenformen kann u.a. Aufschluß über die Einflüsse der Material-Mikrostruktur und der zum Zeitpunkt einer Fraktur herrschenden Umgebungsbedingungen auf das Bruchverhalten verschiedener Stoffe liefern. Daraus lassen sich Rückschlüsse auf eine mögliche Werkstoffoptimierung ziehen. Weiter ist man an der quantitativen Bestimmung der Rauigkeit maschinell bearbeiteter sowie der Bewertung korrosiv belasteter Oberflächen interessiert.

Herkömmliche Messungen zur Erfassung von Oberflächenformen werden mit einem elektronischen Tastschnittgerät durchgeführt, wobei mit Hilfe einer Abtastnadel Profile aufgezeichnet werden. Die Ergebnisse derartiger Messungen reichen jedoch vielfach nicht aus, weil

- die Messung nur in diskreten Richtungen möglich ist und deshalb die Formen nicht vollständig erfaßt werden können,
- das Auflösungsvermögen durch den Abtastnadelradius begrenzt ist, so daß die Mikroschärfe nicht wiedergegeben werden kann,
- sie keine Messung in unmittelbarer Nähe steiler Flanken ermöglichen.

Aufgrund der starken Rauigkeit ist z.B. bei Metallbruchflächen die Ausmessung mit Hilfe von Tastschnittgeräten nur sehr begrenzt einsetzbar (WECK u.a. 1984). Wichtige Hilfsmittel zur qualitativen Beurteilung der Oberflächenformen liefern dagegen seit langem elektronenmikroskopische Aufnahmen (Abb. 1). Als nachteilig hat sich dabei aber immer wieder die Tatsache erwiesen, daß Bruch- und ähnliche Flächen im Rasterelektronenmikroskop (REM) zwar gut interpretiert werden können, eine quantitative Bewertung, wie sie beispielsweise bei Schlibfbildern in der Metallkunde heute Stand der Technik ist, jedoch nicht möglich ist.



Herzfeld in KARTOPLAN® System - Berlin

Abb. 1 Elektronenmikroskopische Aufnahme eines Bohrlochs (Chrom-Nickel-Stahl, M = 100:1)

Zur Überwindung dieser Schwierigkeiten können photogrammetrische Methoden eingesetzt werden. Sie machen die räumliche Untersuchung und Interpretation von Oberflächen dadurch möglich, daß diese in dreidimensionalen Digitalen Oberflächenmodellen (DOM) erfaßt werden. Ein solches DOM kann durch photogrammetrische Auswertung konvergenter elektronenmikroskopischer Stereobildpaare gewonnen werden.

Ausgangsmaterial der Elektronenmikrophotogrammetrie waren bisher stets photographische Bilder. Zur stereophotogrammetrischen Auswertung geeignete Bildpaare werden durch Kippung des Objektes zwischen zwei Aufnahmevorgängen erzeugt. Auf diese Art entstehen Konvergenzbilder, die wegen der allgemein benutzten starken Vergrößerungen annähernd Parallelprojektionen darstellen. Derartige Bilder können aber in konventionellen photogrammetrischen Stereokartiergeräten nicht ausgemessen werden. Analoggeräte, die die geometrischen Eigenschaften der elektronenmikroskopischen Aufnahme nachbilden, sind nur in Einzelexemplaren gebaut worden und entsprechen nicht mehr dem heutigen Stand der Technik (BURKHARDT 1981).

Dagegen erlaubt die Anwendung numerischer photogrammetrischer Verfahren die Auswertung von Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen auf der Grundlage von punktweise in einem Stereokomparator gemessenen Bildkoordinaten (WECK u.a. 1984, GERHARD 1986 und HASLER 1986). Diese Auswertemöglichkeit setzt also die Bestimmung von homologen Bildpunkten durch einen Beobachter voraus. Dabei müssen zur Erfassung von Oberflächen in Form Digitaler Oberflächenmodelle sehr große Punktmengen bestimmt werden. Bei dieser Aufgabe handelt es sich ausschließlich um eine Messung und nicht um eine Interpretation, so daß die Voraussetzungen zur Automatisierung recht günstig sind. Deshalb liegt es nahe, die Beobachterfunktion durch ein automatisches Verfahren, wie z.B. die digitale Bildkorrelation, zu ersetzen und damit zur Lösung des Problems durch Digitale Bildverarbeitung überzugehen.

1.2 DIGITALE AUSWERTUNG VON RASTERELEKTRONENMIKROSKOP-AUFNAHMEN

An der TU Berlin wurde in Kooperation mit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) eine Entwicklung eingeleitet, die die automatische Auswertung der im REM erzeugten Bilder bis zur Berechnung eines DOM zum Ziel hat. Dabei soll der gesamte Arbeitsablauf von der Aufnahme bis zum Ergebnis rein digital geschehen, d.h. schon die Stereobildpaare werden nicht photographisch, sondern digital aufgenommen.

Der rein digitale Datenfluß hat den Vorteil, daß Fehlereinflüsse (Verzeichnungen), die überwiegend aus der Abbildung auf einen Bildschirm (Monitor) und dem sich anschließenden photographischen Prozeß entstehen, weitgehend ausgeschaltet werden. Außerdem kann dadurch der Zeitraum zwischen Aufnahme und Auswertung verkürzt werden - im Idealfall wäre sogar eine direkte Kopplung zwischen Aufnahmevorgang und Auswerteprozeß möglich. Der Auswertevorgang umfaßt die folgenden Arbeitsschritte:

- Vorverarbeitung der Bilddaten,
- Kalibrierungsmessungen (interaktiv),
- Transformation in Kernstrahlgeometrie,
- automatische digitale Korrelation und
- Berechnung eines DOM.

1.3 UMRÜSTUNG EINES RASTERELEKTRONENMIKROSKOPES

Im Rasterelektronenmikroskop wird das zu untersuchende, auf einem sogenannten Probenstisch bzw. einer Probenbühne befestigte Material von dem fein gebündelten Elektronenstrahl zeilenweise abgetastet. Die von den bestrahlten Oberflächenpunkten ausgehenden Sekundärelektronen werden registriert und können in eine bildhafte Darstellung des Objektes umgesetzt werden.

Bei der herkömmlichen Datenaufnahme im REM erfolgt diese Darstellung auf dem Bildschirm und durch photographische Aufnahme. Dabei sind erhebliche Bildverzerrungen nicht zu vermeiden. Um diese auszuschließen und einen rein digitalen Datenfluß zu ermöglichen, wurde die Mikrosonde JCXA-733 der BAM so umgebaut, daß die Bilddaten direkt von einem Rechner erfaßt werden können.

Nach dem Umbau kann das ursprünglich analog-elektrisch erzeugte Abtastsignal abgeschaltet werden. Die Ablenkspulen und damit der Elektronenstrahl werden dann vom Rechner gesteuert. Dabei ist die Auflösung zwischen 2^4 und 2^{10} Pixel wählbar. Zeitsynchron werden - nach einer vorgegebenen Verweilzeit - auf jedem Bildpunkt die Analogsignale des Sekundärelektronen- oder des Rückstreuielektronen-Detektors vom A/D-Wandler digitalisiert. Die Daten werden nach Zwischenspeicherung im Arbeitsspeicher auf eine Wechselplatte geschrieben.

Um die digital gespeicherten Bilder - zur Dokumentation oder zu Kontrollzwecken - wieder auf dem Bildschirm sichtbar machen zu können, wurde eine Ansteuerung der Bildschirmablenkung und der Bildschirmhelligkeit mit den gespeicherten Grauwerten über einen D/A-Wandler vorgesehen. Die Konfiguration des Systems ist in einem Prinzipschaltbild (Abb. 2) dargestellt.

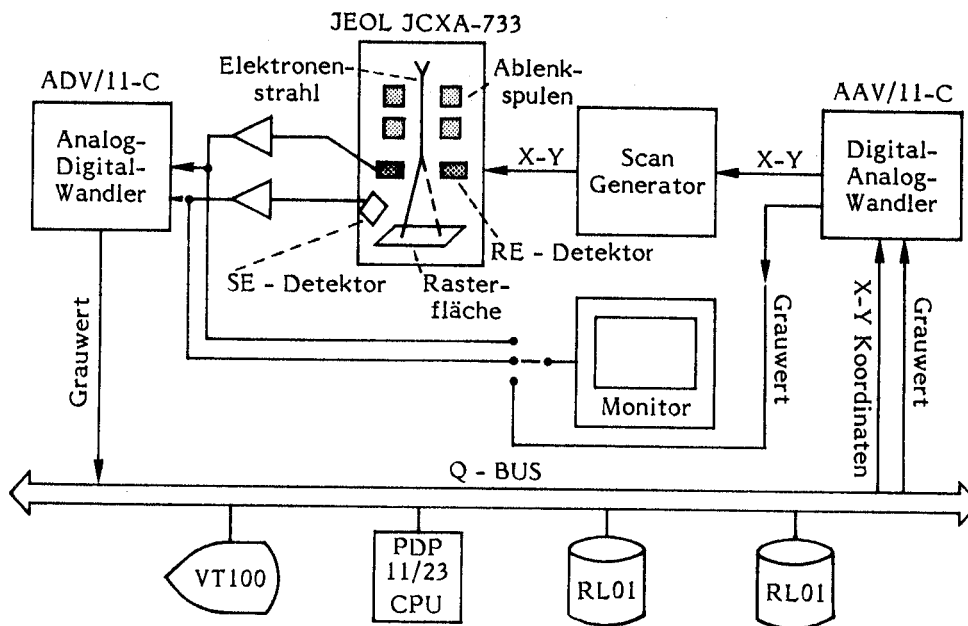


Abb. 2 Prinzipschaltbild für digitale Bilderzeugung im Rasterelektronenmikroskop (Mikrosonde JCXA-733) der BAM

2. PHOTOGRAMMETRISCHE AUSWERTUNG

2.1 DIGITALES STEREOPHOTOGRAMMETRISCHES SYSTEM (DSS)

Zur photogrammetrischen Auswertung der Bilddaten konnte das an der TU Berlin entwickelte experimentelle DSS - dessen Konzeption 1984 auf dem Internationalen Kongreß für Photogrammetrie in Rio de Janeiro vorgestellt wurde (ALBERTZ, KÖNIG 1984) - genutzt werden. Kernstück des Systems ist ein Rechner vom Typ DEC VAX 11/750 sowie eine Bildverarbeitungsanlage GOULD DeAnza IP 6432. Angeschlossen daran ist neben der üblichen Peripherie ein Zeichentisch KERN GP1. Wesentlicher Bestandteil des Bildverarbeitungssystems sind vier Bildwiederholpeicher im Format 512 x 512 bei 8 bit Tiefe und ein graphisches Overlay von 512 x 512 x 4 bit. Zwei dieser Bildspeicher werden zur Betrachtung des Stereomodells nach dem Anaglyphenprinzip benötigt. Im graphischen Overlay wird eine räumliche Meßmarke eingeblendet, die mit Hilfe einer Maus in x-, y- und z-Richtung bewegt werden kann. Zur Vorverarbeitung und Auswertung des Datenmaterials stehen verschiedene Filteralgorithmen und Routinen zur radiometrischen und geometrischen Vorverarbeitung zur Verfügung.

Das DSS bietet die Möglichkeit, das Bildmaterial

- konventionell durch interaktive Steuerung der räumlichen Meßmarke,
- halb-automatisch, d.h. durch vom Auswerter kontrollierte Korrelation, und
- vollständig automatisch, z.B. durch Messung in einem regelmäßigen Punktraster, auszuwerten.

2.2 KALIBRIERUNG DES AUFNAHMESYSTEMS

Zuverlässige photogrammetrische Auswertergebnisse setzen die Kalibrierung des Aufnahmesystems voraus. Dabei sind die Orientierungsgrößen wie Konvergenzwinkel und Vergrößerung zu bestimmen. Bei höheren Genauigkeitsansprüchen ist selbst im hier vorliegenden Fall der direkten digitalen Registrierung der Daten mit dem Auftreten verschiedenartiger Verzeichnungsformen zu rechnen. Ziel der Kalibrierung ist die Bestimmung von Parametern für die Transformation der Bildmatrizen in eine für die automatische Auswertung geeignete Form.

Im Rasterelektronenmikroskop gelten prinzipiell die Gesetze der Zentralprojektion. Da jedoch im Gegensatz zur "normalen" Photogrammetrie die Bildweiten sehr groß sind, kann man in den meisten Fällen von stark vereinfachten Bedingungen ausgehen. Deshalb darf mit den erheblich einfacheren Formeln der Parallelprojektion gearbeitet werden, die die Kenntnis der Lage des Projektionszentrums überflüssig machen.

In der Regel werden zur Kalibrierung genormte Testgitter benutzt. Die Konstante des verwendeten Gitters muß mit einer Genauigkeit angegeben werden können, die besser ist als der Fehler einer Parallaxenmessung durch digitale Bildkorrelation (0,1 - 0,3 Pixel). Problematisch ist bei Parallelprojektion die Bestimmung des Konvergenzwinkels. Fehler von 0,1 bis 0,2 gon erreichen in ihren Auswirkungen die Größenordnung der Parallaxenmeßgenauigkeit und sind somit als zulässige Obergrenze anzusehen. Die Einhaltung dieser Grenze kann jedoch nicht in jedem Fall garantiert werden. Eine theoretisch mögliche Genauigkeitssteigerung durch Vergrößerung des Kippwinkels scheidet in der Regel aus, da mit zunehmendem Konvergenzwinkel die Bildinhalte schnell unvereinbar werden.

Zwischen der Kalibrierungsmessung und der Aufnahme des Auswertobjektes darf strenggenommen keine Veränderung an den Einstellwerten des REM vorgenommen werden. Andernfalls muß sich eine Systematik im Verhalten dieser Werte gesichert nachweisen lassen, d.h. sie müssen mit ausreichender Genauigkeit reproduzierbar sein.

Die im REM trotz direkter digitaler Aufnahme auftretenden Verzeichnungen haben verschiedene Ursachen. Zum einen entstehen durch die Elektronenoptik Erscheinungen, die als tangentielle, radiale und S- oder spiralförmige Verzeichnung bekannt sind. Für ihre Bestimmung werden in der Literatur (MAUNE 1976, BURKHARDT 1981 und ELGHAZALI 1984) unterschiedliche Ansätze angegeben. Außerdem lassen sich die Abweichungen der Parallel- von der Zentralprojektion rechentechnisch als sogenannte projektive Verzeichnungen behandeln, so daß sich die eigentliche Auswertung auf die einfachstmöglichen Formeln stützen kann.

Um dies zu erreichen und um zu einem automationsfreundlichen Auswerteverfahren zu kommen, liegt es nahe, die Bildmatrizen in einem Vorgang so zu transformieren, daß alle Störparameter berücksichtigt werden. Außerdem kann die Transformation so angelegt werden, daß danach die Korrelation nur noch eindimensional entlang von Kernstrahlen durchgeführt werden muß, was eine erhebliche Verkürzung der Rechenzeit bedeutet.

2.3 STEREOPHOTOGRAMMETRISCHER AUSWERTEVORGANG

Als Ergebnis des Aufnahmevorganges liegen digitale Bilder von 512 x 512 Pixel mit 8 bit Auflösung vor. Erfahrungen wurden bislang vor allem mit Bruchoberflächen verschiedener Metalle, wie z.B. Kupfer oder Stahl, gesammelt. Bei den bisherigen praktischen Versuchen wurden von jedem Objekt vier um je fünf Grad gekippte Aufnahmen hergestellt.

Zur Erfassung der Oberflächenformen von Metallbruchflächen sind die zuvor genannten konventionellen und halbautomatischen Verfahren vor allem wegen der notwendigen hohen Punktzahl nur bedingt bzw. gar nicht geeignet. Deshalb wurde von Anfang an eine weitgehend automatische Auswertung angestrebt.

Der automatische Ablauf der Parallaxenmessung zur Berechnung eines 3D-Modells ist im DSS nach drei verschiedenen Methoden möglich:

- Im einem Bild wird ein regelmäßiges Gitter definiert und zu jedem Gitterpunkt der homologe Bildpunkt im zweiten Bild durch eindimensionale Korrelation entlang der Kernstrahlen gesucht.
- Mittels geeigneter Interestoperatoren werden zur Korrelation gut geeignete Punkte aufgesucht; hierzu ist im DSS zur Zeit nur der Moravec-Operator (MORAVEC 1980) implementiert.

- In Bildern von Objektoberflächen mit charakteristischen Linien und Kanten (z.B. kristallinen Oberflächen) bzw. Ecken werden diese Strukturen mit den Methoden der Digitalen Bildverarbeitung erfaßt und extrahiert und anschließend die Parallaxen entlang dieser Linien bestimmt. Die Extraktion der Ecken und Kanten erfolgt dabei durch Vorverarbeitung der Bilder mit Gradientenoperatoren (Sobel- oder Laplace-Operator). Anschließend werden die Ergebnisse mit einem Schwellwertalgorithmus binarisiert und schließlich unter Verwendung von Skelettierungs- und ähnlichen Verfahren die endgültigen Strukturen extrahiert. Diese Vorgehensweise ähnelt der eines Topographen bei der Aufnahme in stark bewegtem Gelände. An der Entwicklung entsprechender Algorithmen wird zur Zeit gearbeitet. Damit wird versucht, aufbauend auf den bisherigen Ergebnissen und Erfahrungen verbesserte Verfahren zu entwickeln.

Das vorliegende Bildmaterial wurde automatisch nach dem ersten Verfahren ausgewertet. Hierzu wurde im linken Bild ein regelmäßiges Gitter mit einem ausreichenden Gitterabstand definiert. Die zu den Gitterpunkten homologen Bildpunkte wurden im zweiten Bild durch Korrelation bestimmt.

Hierzu wird ein zweistufiges Verfahren eingesetzt. Die Grobkorrelation erfolgt nach dem Produktmomenten-Algorithmus entlang einer Bildzeile (evtl. unter Berücksichtigung der Nachbarzeilen). Zur Feinkorrelation wird ein Kleinste-Quadrat-Algorithmus verwendet, wobei die praktischen Versuche zeigten, daß im vorliegenden Fall Matrizen größer als 11 x 11 Pixel nur selten Verbesserungen des Korrelationsergebnisses brachten.

Die Anwendung der Kleinste-Quadrat-Methode setzt voraus, daß als Näherung bereits eine auf ein bis zwei Pixel genaue Zuordnung der Bildpunkte vorliegt. Die Bestimmung dieser Näherungswerte durch die Produktmomentenkorrelation kann sehr rechenaufwendig sein, wenn hierfür große Suchbereiche vorgegeben werden müssen. Deshalb hat sich für die Grobkorrelation ein iteratives Vorgehen als zweckmäßig erwiesen. Dabei wird in der ersten Vorstufe die Bildinformation stark generalisiert (64 Pixel werden zu einem Pixel zusammengefaßt). In jeder so entstandenen Zeile werden nur einige Punkte korreliert, welche die Ausgangswerte für eine verfeinerte Korrelation liefern, bei der jeweils 16 Pixel zu einem zusammengefaßt sind. Die Startwerte für weitere Verdichtungen bis hin zum gewünschten Gitterabstand werden dann durch lineare Interpolation erhalten. Es hat sich gezeigt, daß diese Verfahrensweise effektiv ist und zu guten Näherungen für die Feinkorrelation führt.

2.4 BERECHNUNG UND DARSTELLUNG EINES DIGITALEN OBERFLÄCHENMODELLS

Die Berechnung der Objektkoordinaten ist abhängig von der gewählten Vergrößerung bei der Aufnahme. Liegen die Bilder in Maßstäben von 1000:1 und größer vor, kann man die Abbildung immer als Parallelprojektion behandeln. Für kleinere Abbildungsmaßstäbe gelten bei strenger Betrachtung die Formeln der Zentralprojektion (vgl. BOYDE, ROSS 1975 und BOYDE 1979) für die Berechnung der Objektkoordinaten.

Die Genauigkeit der ermittelten Raumkoordinaten hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab (GHOSH, NAGARAJA 1976), von denen die wichtigsten in Stichworten genannt seien:

- Systemstabilität (Güte der Kalibrierung)
- Beobachtungsgenauigkeit (Korrelationsgenauigkeit)
- Schnittgeometrie (Konvergenzwinkel begrenzt durch verschwindenden 3D-Eindruck und auftretende Verdeckungen)
- Objektbeschaffenheit (Textur, Topographie).

Die Frage nach der absoluten Genauigkeit der Objektkoordinaten spielt jedoch im Gegensatz zur "normalen" Photogrammetrie bei den hier vorliegenden Aufgaben keine so große Rolle, da die Erfassung der Formen im Vordergrund steht. Dabei bestimmt die kleinste verfügbare Einheit, das Pixel, das Auflösungsvermögen. Seine Größe kann durch Veränderung der Aufnahme-Vergrößerung den jeweiligen Genauigkeitserfordernissen angepaßt werden.

Zur Darstellung der Ergebnisse in Gestalt von Profilen, Drahtmodellen (siehe Abb. 3) und Höhenlinien mit üblicher Software und zur weiteren Verwendung des DOM müssen alle Punkte des Modells in regelmäßigem Gitterabstand vorliegen. Unter der Annahme eines stetigen Oberflächenverlaufs kann dieses Modell durch Interpolation z.B. mittels einer Minimum-Curvature-Routine erzeugt werden. Unstetigkeitsstellen können mit der zur Zeit verfügbaren Software nur interaktiv bearbeitet werden.

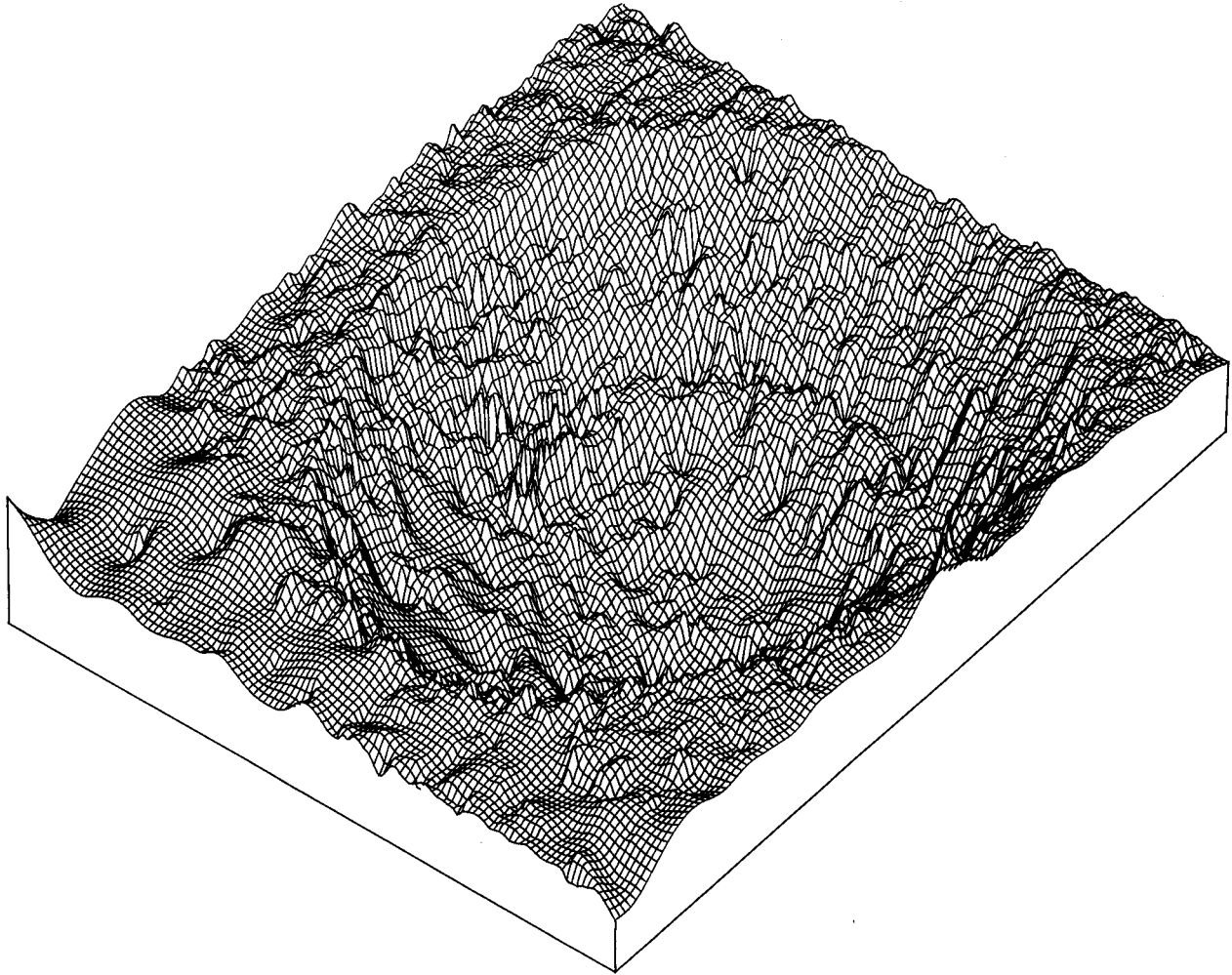


Abb. 3 DOM-Darstellung des Bohrloches von Abb. 1

3. FOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Die beschriebenen Arbeiten zeigen, daß die verwendeten Korrelationsverfahren zum Auffinden homologer Bildpunkte geeignet sind und daher eine automatische Auswertung von elektronenmikroskopischen Bildern prinzipiell möglich ist. Dennoch hat sich bei allen Versuchen erwiesen, daß mit einem bestimmten Anteil von Korrelationsausfällen zu rechnen ist. Zur Zeit besteht nur die Möglichkeit, an diesen Stellen interaktiv einzugreifen, da automatische Korrekturen noch nicht möglich sind. Zur Überbrückung von Unstetigkeitsstellen ist der Einsatz zusätzlicher, unter anderen Kippwinkeln aufgenommener Bilder als Lösungsmöglichkeit anzusehen (ALBERTZ 1986). Hieran wird zur Zeit gearbeitet.

Praktische Schwierigkeiten bereitet vor allem die Auswertung von kristallinen Oberflächen. Verbesserungen werden hier vom Einsatz verschiedener Gradientenoperatoren zur Kanten-Extraktion und durch die Verwendung von Kantenverfolgungsalgorithmen in der Vorverarbeitungsphase des Datenmaterials erwartet. Die Anwendung von Schwellwertverfahren zur Binärbilderzeugung und anschließenden "Blow Up"- und "Shrinking"-Verfahren zur Erfassung der Linienelemente einer kristallinen Oberfläche wird ebenfalls noch getestet. Versuche dieser Art sind im Rahmen eines universitätsinternen Forschungsvorhaben "Interpretation von Oberflächenstrukturen und -veränderungen aufgrund digitaler stereophotogrammetrischer Bildauswertung" in Zusammenarbeit mit anderen Fachrichtungen (Geologie und Werkstofftechnik) vorgesehen. Durch dieses Projekt sollen die bisher erarbeiteten Methoden weiterentwickelt und auch zur Erfassung anderer Oberflächenarten eingesetzt werden.

LITERATUR

- ALBERTZ 1986 J. Albertz: Digitale Bildverarbeitung in der Nahphotogrammetrie. Bildmessung und Luftbildwesen 54 (1986), S. 34-45.
- ALBERTZ, KÖNIG 1984 J. Albertz, G. König: A Digital Stereophotogrammetric System. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 25-2 (1984), S. 1-7.
- BOYDE 1979 A. Boyde: The Perception and Measurement of Depth in the SEM. Scanning Electron Microscopy, 1979/II, S. 67-78.
- BOYDE, ROSS 1975 A. Boyde, H. F. Ross: Photogrammetry and the Scanning Electron Microscope. Photogrammetric Record 8 (1975), S. 408-457.
- BURKHARDT 1981 R. Burkhardt: Die stereoskopische Ausmessung elektronenmikroskopischer Bildpaare und ihre Genauigkeit. In: Methodensammlung der Elektronenmikroskopie, 10.Lieferung, Stuttgart 1981, 59 S.
- ELGHAZALI 1984 M. S. Elghazali: System Calibration of Scanning Electron Microscopes. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 25-5 (1984), S. 258-266.
- GERHARD 1986 H. Gerhard: Die Entwicklung photogrammetrischer Verfahren zur quantitativen Auswertung von raster-elektronenmikroskopischen Aufnahmen. In: Festschrift Hektor, Veröffentl. des Geodätischen Institutes der RWTH Aachen, Nr. 40, 1986, S. 7.1 - 7.20.
- GHOSH, NAGARAJA 1976 S. K. Ghosh, H. Nagaraja: Scanning Electron Micrography and Photogrammetry. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 42 (1976), S. 649-657.
- HASLER 1986 U. Hasler: Stereo-analytische Auswertung von Mikro-Aufnahmen - Datentechnische Realisierung. In: Festschrift Hektor, Veröffentl. des Geodätischen Institutes der RWTH Aachen, Nr. 40, 1986, S. 9.1 - 9.10.
- KÖNIG, NICKEL, STORL 1986 G. König, W. Nickel, J. Storl: Processing of Scanning Electron Microscope Imagery in a Digital Stereophotogrammetric System (DSS). International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 26-2 (1986), S. 130-138.
- MAUNE 1976 D. F. Maune: Photogrammetric Self-Calibration of Scanning Electron Microscopes. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 42 (1976), S. 1161-1172.
- MORAVEC 1980 H. P. Moravec: Obstacle Avoidance and Navigation in the Real World by a Seeing Robot Rover. Diss., Stanford 1980.
- WECK u.a. 1984 M. Weck, H. Leube, W. König, K. Vossen, W.-G. Burchard, E. Hektor, H. Gerhard: Darstellung realer Oberflächen mit Hilfe der Stereo-Photogrammetrie. Antriebstechnik 23(12), 1984, S. 34-39.

ZUSAMMENFASSUNG

In der Materialforschung, vor allem bei der Untersuchung von Metallbruchflächen, gewinnt die dreidimensionale Erfassung von Oberflächen zunehmend an Bedeutung. An einem Beispiel wird gezeigt, wie mit Hilfe digitaler Aufnahmetechniken und Auswertemethoden aus einem Rasterelektronenmikroskop gewonnene Konvergenzaufnahmen automatisch ausgewertet werden. Insbesondere der Einsatz der digitalen Bildkorrelation zur Bestimmung von homologen Bildpunkten ermöglicht diesen Automationsvorgang. Ergebnis der Auswertung ist ein dreidimensionales Oberflächenmodell, das zur weiteren Oberflächenanalyse herangezogen werden kann. Weitergehende Entwicklungsarbeiten sind erforderlich, um auch die automatische Behandlung von Oberflächen mit Unstetigkeitsstellen möglich zu machen.

DIGITAL PROCESSING OF SCANNING ELECTRON MICROSCOPE IMAGERY

ABSTRACT

Three-dimensional surface registration has gained in importance in material research, especially in interpretation of metallic fracture surfaces. An example illustrates the automatic processing of convergent imagery from a Scanning Electron Microscope by means of digital recording techniques and evaluation methods. The automation process in particular is made possible by using digital correlation for the calculation of the homologue image points. Processing results in a 3D surface model, which may be used for further surface analysis. Continuous research will be necessary to make possible the automatic evaluation of surfaces that are containing discontinuities, too.

Dipl.-Ing. Wolfgang Nickel, Dipl.-Inform. Gerhard König und Dipl.-Ing. Jürgen Storl
Fachgebiet Photogrammetrie und Kartographie, Sekr. EB 9
Technische Universität Berlin
Straße des 17. Juni 135
D-1000 Berlin 12