

## Digitale rasterelektronenmikroskopische Bilder in photographischer Qualität

Welche Gründe sprechen dafür, Bilder am Rasterelektronenmikroskop direkt zu digitalisieren ?

- 1) Bei Verwendung digitalisierter Bilder können Untersuchungsberichte, Expertisen, Gutachten etc. am PC aus den Bildern und Texten zusammengefügt werden. Anschließend kann der Bericht mit einem Laserdrucker, der nahezu Photoqualität erreicht, auf Normalpapier ausgedruckt und dann archiviert oder auch mit den neuen elektronischen Medien versendet werden.
- 2) Bei Verwendung digitalisierter Bilder wird umweltbelastendes Polaroidmaterial eingespart, die Druckausgabe mit dem Laserdrucker ist mindestens ebenso schnell und im Verbrauch viel preisgünstiger.
- 3) Für alle Anwendungsfälle, in denen rasterelektronenmikroskopische Bilder in digitalisierter Form und kompromißlos hoher Qualität vorliegen müssen, ist es sinnvoll, die Bilder am Mikroskop direkt zu digitalisieren. Das ist zum Beispiel der Fall, wenn die Bilder in Druck gehen sollen, also für die Herstellung der Druckvorlagen. Bisher mußten dazu die Bilder erst als Filmnegative hergestellt und diese dann mit Hilfe eines Scanners digitalisiert werden. Dieser Umweg entfällt jetzt.

Ich habe schon seit mehreren Jahren mit der Digitalierung in der Rasterelektronenmikroskopie Erfahrungen sammeln können und kann heute in meinem Labor in photographischer Qualität aufgelöste digitalisierte rasterelektronenmikroskopische Bilder für Kunden herstellen. Wir verwenden dazu im PC eine spezielle A/D-Wandlerkarte „ORION“ der Firma E.L.I., Belgien, die das analoge Bildsignal meines Mikroskopes in bis zu 4096x4096 Bildpunkte wandelt. Die Software zu dieser Karte erzeugt aus den Bildern im Arbeitsspeicher des Rechners Bilddateien, die später an beliebigen PC's oder MAC's weiterverarbeitet werden können. EMTEC kann dieses sehr bewährte System auch anderen REM-Labors anbieten und übernimmt die Installation und Einweisung in die Bedienung.

Bei der Digitalisierung entstehen große Dateien von teilweise mehr als 15MB. Zum Transport können bei EMTEC solche Dateien auf ZIP-Disketten oder CD's gespeichert und später von ZIP- und CD-ROM-Laufwerken an anderen PC's oder MAC's wieder gelesen werden. Die Dateien können außerdem zwischen unserem Rechner und anderen PC's und MAC's, die an ISDN angeschlossen sind, per Eurofile-Transfer übertragen werden.

In den folgenden Ausführungen möchte ich dem Anwender einige Überlegungen und Berechnungen zur Beurteilung von photographischen und digitalen Bildausgabesysteme mitteilen.

Für die Bilder, die ein Rasterelektronenmikroskop erzeugen kann, wurden bis Mitte der achtziger Jahre ausschließlich photographische Bildwiedergabesysteme verwendet. Heute werden diese Bilder häufig digitalisiert, mit Computersystemen bearbeitet und mit verschiedenen Computer-Peripheriegeräten ausgegeben. Digitalisierte Bilder können seit einigen Jahren technisch das Auflösungsvermögen von photographischen Bildern erreichen oder sogar übertreffen.

Das Rasterelektronenmikroskop selbst erzeugt mit seinen elektronischen Systemen eine gewisse Informationsmenge pro Bild, die man günstigstenfalls mit den sich anschließenden Prozessen erhalten, aber nicht mehr vergrößern kann. Wie jeder Anwender weiß, wird das Bild im REM durch das hochpräzise Abtasten der Probe mit einem Elektronenstrahl aufgebaut. Die Informationsmenge, die bei einem Abtastzyklus entsteht, ist vom Typ des jeweiligen REM's abhängig. Mein REM zum Beispiel tastet im Photomodus 2500 Linien analog ab. Die Photobildröhre stellt diese 2500 Linien auf 72 mm in Y-Richtung dar, das sind 34 Linien pro mm.

Wenn man etwas vereinfachend die Zahl der Bildpunkte in X-Richtung aus dem Bildseitenverhältnis meines Mikroskopes  $4/5$  und der Linienzahl berechnet, erhält man  $2500 \times 3125 = 7.812.500$  Bildpunkte. Das wäre also die erwähnte maximal übertragbare Informationsmenge.

### **1) Polaroidfilm, 4x5"**

Die 2500 Linien müssen hier auf etwa 90 mm übertragen werden. Das entspricht 28 Linien pro mm. Das Polaroid-Photomaterial kann diese Linienzahl darstellen. Es ist aber relativ teuer und belastet die Umwelt vergleichsweise hoch. Das fertige Photo hält man nach ungefähr 2 Minuten in der Hand.

Ich werde im Folgenden auf die Möglichkeiten normaler Negativfilmmaterialien eingehen. Diese kommen gegenüber anderen Verfahren natürlich nur dann zum Einsatz, wenn man die Zeit der Belichtung eines Films, der Entwicklung und der Herstellung der Abzüge abwarten kann. Auch die Kosten dieser arbeitsintensiven Verfahren sind heute beträchtlich.

### **2) Kleinbildfilm, 24x36mm**

Die 2500 Linien müssen hier auf 24mm übertragen werden. Das entspricht 104 Linien pro mm. Moderne S/W-Kleinbildfilme höherer Qualität können diese Leistung gerade erbringen, aber es kommt hier wirklich auf die geeignete Objektiv-Film-Kombination an. Zu beachten ist, das S/W-Photomaterial in der Regel nicht mehr als 10fach vergrößert werden sollte. Damit wären mit Kleinbildfilmen also Positivformate bis 24x36 cm zu erreichen, etwas mehr als DIN A4. Für Dias gilt diese Grenze nicht, da der Betrachtungsabstand größer ist.

### **3) Mittelformatfilme, Planfilme, Polaroid-Positiv/Negativfilm**

Diese Filme sollte man verwenden, wenn die Positivformate über 24x36 cm liegen sollen, also für Poster. Der erwähnte Polaroidfilm liefert nicht nur ein Negativ für die spätere Weiterverarbeitung, sondern außerdem in gewohnt kurzer Zeit auch ein fertiges Positiv.

Im Folgenden werde ich auf die digitalen Wiedergabesysteme eingehen. Gemeinsam ist diesen, das hier das analoge Liniensignal zunächst in ein Raster von Informationspunkten überführt, also digitalisiert wird. Dieser Schritt kann die maximal mögliche Qualität des Endproduktes begrenzen, dann nämlich, wenn das Bild in weniger als 2500x3125 Bildpunkte überführt wird. Das betrifft allerdings nur diejenigen hochqualitativen Ausgabesysteme, die überhaupt eine so große Anzahl von Bildpunkten übertragen können. An den meisten REM's ist eine so genaue Digitalisierung nicht vorgesehen, da dies für die gängigeren Ausgabesysteme nicht erforderlich ist und auch gar nicht sinnvoll wäre. Es würde nur unnötige Rechenzeit bei der Druckausgabe kosten. Ohnehin sind die Druckzeiten für Halbtonbilder auf vielen digitalen Ausgabegeräten heute noch geradezu unerträglich lang. Sie sollten diese Zeiten bei der Auswahl eines Gerätes deshalb unbedingt mit in Betracht ziehen.

### **4) S/W- und Farbvideoprinter**

Die Druckmatrix dieser Geräte orientiert sich an den im PC-Bereich gängigen Bildspeicherauflösungen, beträgt also zum Beispiel 800x640 oder 1024x768. Der Grauwertumfang beträgt in der Regel nur 64 Graustufen. Aus diesen Daten ergibt sich natürlich bereits ein erheblicher Informationsverlust gegenüber dem Photoscan im REM. Außerdem ist die Größe der einzelnen Druckpunkte mitunter beträchtlich. Zum Beispiel erhält man bei 800 Punkten auf 28 cm eine Punktgröße von 0,35 mm. Druckpunkte werden sichtbar, wenn ihre Größe 0,1 mm

überschreitet. Diese Geräte können also die Qualität eines PC-Monitorbildes recht gut nachbilden, fallen aber gegenüber dem Photoscan im REM um den Faktor 3-4 in der Qualität ab. Die Kosten eines S/W-Bildes sind relativ gering, aber die Drucke sind nicht sehr lichtbeständig und die Oberfläche der Spezialpapiere fühlt sich etwas unangenehm an. Farbdrucke sind wieder relativ teuer. Die Druckzeit, insbesondere für Farbdrucke ist ziemlich lang.

#### **5) Thermosublimationsdrucker**

Diese Drucker bieten heute typischerweise eine Auflösung von 300 DPI. Das entspricht einer Auflösung von 12 Linien pro mm. Da die Druckpunkte bei einer Anzahl von mehr als 10 Linien pro mm bei der Betrachtung nicht mehr einzeln in Erscheinung treten und diese Drucker 24 Bit Farbtiefe, entsprechend 256 Graustufen übertragen, kommen wir hier sehr nahe an photographische Qualität heran (daher auch die Bezeichnung „photorealistischer Drucker“). Die Informationsmenge des Photoscan kann, eine hochauflösende Digitalisierung und eine ausreichende Größe des Druckformates vorausgesetzt, vollständig übertragen werden. Wenn man ein Bild, das mit 3125x2500 Bildpunkten digitalisiert wurde 1:1 übertragen möchte, so wird das Druckformat eine Größe von etwa 26x21 cm erreichen. Wählt man ein kleineres Druckformat, so wird Information verloren gehen (oder anders gesagt: Es wurde dann überflüssig genau digitalisiert). Wählt man ein größeres Druckformat, bzw. einen Ausschnitt, so werden die Bildpunkte wieder sichtbar werden, weil dann mehrere Druckpunkte einen Bildpunkt bestimmen. Nachteilig bei diesen Druckern sind die hohen Verbrauchskosten infolge der Verwendung spezieller Papiere und Farben (Normalpapier kann nicht verwendet werden), sowie die ziemlich träge Druckausgabe.

#### **6) hochauflösende Laserdrucker**

Inzwischen sind einige 1200 DPI-Laserdrucker zu erträglichen Preisen verfügbar. Diese Drucker können maximal etwa 300 Druckpunkte pro inch für Halbtonbilder (256 Graustufen) erzeugen. Das entspricht einer Auflösung von 12 Linien pro mm. Die Anzahl der Druckpunkte pro inch ist wählbar, und die Gesamtanzahl der Druckpunkte in der Druckmatrix ist völlig variabel. Da die Druckpunkte bei einer Anzahl von mehr als 10 Linien pro mm bei der Betrachtung nicht mehr einzeln in Erscheinung treten, kommen wir hier sehr nahe an photographische Qualität heran. Die Informationsmenge des Photoscan's kann, eine hochauflösende Digitalisierung und eine ausreichende Größe des Druckformates vorausgesetzt, vollständig übertragen werden. Es gelten dabei die gleichen Regeln wie für Thermosublimationsdrucker. Bei Druckausgabe mit dem Laserdrucker bei EMTEC in Polaroidgröße ist eine Einzugsauflösung von 1000x1250 sicher ausreichend, bei Druckausgabe in DIN A4 Quer ist etwa 2500x3125 angemessen.

Vorteil dieser Drucker ist die Ausgabe der Bilder auf Normalpapier, auch in beliebige Dokumente eingebettet, bei sehr geringen Verbrauchskosten und in akzeptabler Geschwindigkeit.

#### **7) hochauflösende Farbtintenstrahldrucker**

Seit etwa drei Jahren eine gebräuchliche Alternative der qualitativ hochwertigen Bildausgabe. Häufig ergibt sich ein besserer Bildeindruck als mit Laserdrucken. Nachteilig ist aber der langsame Druckfortschritt, hohe Verbrauchskosten und mitunter der Zwang zur Verwendung spezieller Papiere. Vorteilhaft ist der mögliche Einsatz von Farbe in den Bildern und Dokumenten.

#### **8) Belichter**

Belichter werden eingesetzt, um Druckvorlagen zum Beispiel für den Offsetdruck zu erzeugen. Für höchste Ansprüche wird üblicherweise maximal mit einem 150er Raster gedruckt. Das entspricht 15 Linien pro mm. Für Belichter ist das natürlich kein Problem, denn sie sind ja für diesen Zweck konstruiert. Besondere Maßnahmen werden allerdings erforderlich, wenn die Größe des Druckformates über 21x17 cm liegen soll, also für Posterdrucke. Um zu vermeiden, daß dann die Bildpunkte wieder sichtbar werden, sollte die Anzahl der Bildpunkte entweder bereits bei der Digitalisierung oder später rechnerisch erhöht werden. Die Informationsmenge im Bild bleibt in diesem Fall unverändert.

Dr. A. Lorenz  
Heidelberg, 20.9.1999