

Kleinbild-Mikrofotografie mit weitem Bildfeld

Seit einigen Jahren läuft unter Mikroskopikern und speziell unter Mikrofotografen ein „Geheimtip“ um: Mikrofotografie mit einem 63-mm-Projektiv anstelle eines normalen Okulars. Der Vorteil: Sehr gute Ausnutzung des Bildfeldes, geringe Vergrößerung bei hoher Auflösung.

Die Anregung geht zurück auf eine Arbeit des amerikanischen Mikroskopikers Dale W. Quackenbush, die er in der Zeitschrift „The Microscope“ (Vol. 23, 195—211, 1975) veröffentlichte. Quackenbush entwickelte sein Verfahren an einer Zeiss-Apparatur. Es ist — sinnvoll modifiziert — auf alle industriell gefertigten mikrofotografischen Geräte übertragbar.

Zur Illustration der Ergebnisse: Die Mikrokosmos-Umschlagbilder Heft 5, 1978, Heft 5, 1979 und Heft 9, 1979 wurden mit dem von Quackenbush empfohlenen 63-mm-Projektionsokular angefertigt.

Wir bedanken uns bei der Redaktion von „The Microscope“ und bei Herrn Quackenbush für die Genehmigung zum Abdruck des Artikels, bei unserem Mitarbeiter Eric Grave für die Übersetzung. Herr Quackenbush hat für den Mikrokosmos alle Bilder neu angefertigt.

Redaktion Mikrokosmos

Zusammenfassung

Die meisten Aufsetzkameras haben den Nachteil, daß sie den Vorzug der modernen Plan-Objektive, ein weites und ebenes Bildfeld zu bieten, nicht ausnützen. Nicht nur, daß diese Kameras das verfügbare Bildfeld reduzieren, sie machen es unmöglich, einen 20,3×25,4 cm großen fotografischen Abzug ohne leere Vergrößerung herzustellen. Um das vorliegende Problem zu verstehen, wird im folgenden die Beziehung zwischen dem 35-mm-Filmformat und dem Bildfeld im Mikroskop besprochen. Im Bemühen, eine Lösung des Pro-

blems zu finden, wurden verschiedene Objektive und Okulare in verschiedener Kombination geprüft. Dies führte zur Entwicklung einer modifizierten Aufsetzkamera, die einerseits ein großes Bildfeld, andererseits hohes Auflösungsvermögen bietet.

Die 35-mm-Aufsetzkamera

Alle Mikroskophersteller liefern mindestens eine 35-mm-Kamera, die auf den vertikalen Tubus aufgesetzt werden kann. Leider hat die Konstruktion vieler dieser Apparate mit den Verbesserungen der modernen Objektive nicht Schritt gehalten. Nur wenige dieser Kameras sind so gebaut, daß sie das Bildfeld der neueren Plan-Objektive ausnützen. Die Herstellung von 20,3×25,4 cm-Abzügen ohne leere Vergrößerung ist unmöglich. Die mangelnde Auflösung in der fertigen Fotografie hat nichts mit der mechanischen Präzision des Fotoapparates zu tun. Sie ist auch nicht auf optische Unzulänglichkeiten in der Aufsetzkamera zurückzuführen. Die Mängel werden verständlich, wenn man sich über die Anforderungen klar wird, die an ein 35-mm-Filmformat gestellt werden.

Ungefähr 8fache Vergrößerung ist notwendig, um ein 35-mm-Negativ auf 20,3×25,4 cm zu bringen. Hinreichend feinkörnige Kleinformatfilme mit ausgezeichnetem Auflösungsvermögen sind erhältlich, um eine solche Vergrößerung zu rechtfertigen. Auch die neuen planapochromatischen Objektive haben ein Auflösungsvermögen, das starke Vergrößerungen erlauben sollte. Der begrenzende Faktor muß daher anderswo zu suchen sein. Wie die nachstehende Erörterung zeigen wird, liegt die Beschränkung in der numerischen Apertur der Objektive. Die Schwierigkeit besteht darin, daß viele Aufsetzkameras nur ein zentrales Rechteck des kreisförmigen mikroskopischen Bildes wiedergeben. Diese Einschränkung des

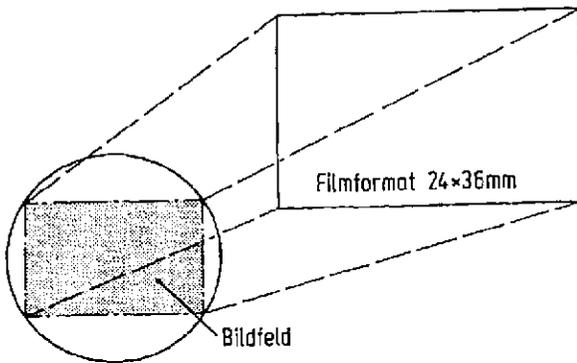


Bild 1: Erstklassige Plan-Objektive ermöglichen es theoretisch, das im Mikroskop sichtbare Bild auf dem 24x36 mm-Filmformat fast ganz zu erfassen.

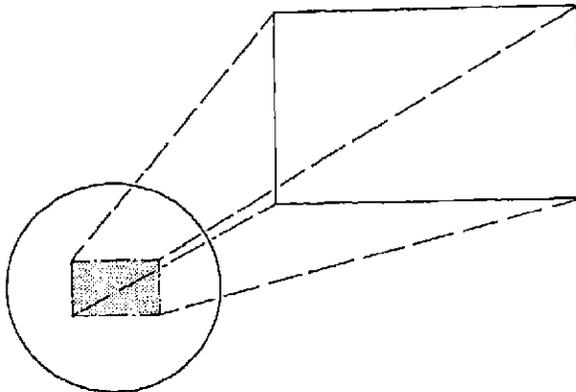


Bild 2: Bei Verwendung eines Okulars hoher Vergrößerung und einer Zwischenlinse kann nur ein kleiner zentraler Ausschnitt des Bildfeldes auf der Filmebene erfasst werden.

Bildfeldes führt notwendigerweise zu einer erhöhten Vergrößerung auf der Filmebene. Dies ist in Bild 1 und 2 dargestellt. Bild 1 zeigt unbeschränkte Wiedergabe des Gesichtsfeldes. (Die Diagonale des Filmformates entspricht der Diagonale des Bildes.) In Bild 2 nimmt der Film nur einen kleinen Ausschnitt des Gesichtsfeldes auf. Es ist augenscheinlich, daß der Vergrößerungsmaßstab auf dem Film in Bild 2 größer sein muß als der in Bild 1. Daß nur ein Ausschnitt des Feldes verwendet wird, ist der Grund für die Schwierigkeiten, die beim Vergrößern des Negativs entstehen: Die endgültige Vergrößerung ist oft stärker als es die numerische Apertur des Objektivs erlaubt. Das unvermeidliche Resultat ist leere Vergrößerung.

Dem Berufsfotografen ist der Begriff der leeren Vergrößerung nur zu vertraut: Er nennt ein solches Bild „weich“ oder — aufrichtiger — „unscharf“, „verwackelt“. Wenn ein Negativ unzureichende Auflösung bietet, ist das einzige Hilfsmittel, die Entfernung zwischen dem Negativ und dem fotografischen Papier auf dem Vergrößerungsapparat zu reduzieren und sich mit einer geringeren Vergrößerung zufrieden zu geben. Allzu oft wird aber ein kleinerer Ab-

zug nicht die gleiche visuelle Wirkung haben wie ein Abzug professioneller Größe.

Die förderliche Vergrößerung

Die Grenze sichtbarer Vergrößerung bei Verwendung sichtbaren Lichtes liegt bekanntlich beim 1000fachen der numerischen Apertur des verwendeten Objektivs. Leere Vergrößerung beginnt, wenn diese Grenze überschritten wird. In der Praxis sollte man diese obere Grenze vermeiden und im Bereich der förderlichen Vergrößerung bleiben, der zwischen dem 500- und 1000fachen der NA liegt.

Mit wenigen Ausnahmen führen im Handel erhältliche Kamerasysteme zu ernststen Schwierigkeiten, wenn Mikrofotografien bis zur Grenze der förderlichen Vergrößerung gewünscht werden. Im folgenden werden Aufsetzkameras, Objektive und Okulare der Firma Carl Zeiss, Oberkochen, verwendet, um die Probleme zu demonstrieren, denen ein Mikrofotograf begegnet. Diese Ausrüstung wurde gewählt, weil die planapochromatischen Objektive dieser Firma zu den besten gehören, während andererseits die Aufsetzkamera all die Probleme zeigt, denen der Mikrofotograf beim Gebrauch dieser Apparatur gegenübersteht.

Probleme beim Gebrauch der Aufsetzkamera

Das Zeiss'sche Universal-Mikroskop im Laboratorium des Autors (Bild 3) ist mit einem vertikalen Fototubus versehen, dessen Höhe veränderlich ist. Dem Tubus ist ein Zwischenstück aufgesetzt, das eine 0,5-fache Zwischenlinse, ein seitlich angebrachtes Einstellfernrohr und ein halb-reflektierendes Prisma enthält. Auf dem Zwischenstück ist ein Kameragehäuse angebracht, in das der Film eingelegt wird. Ein 8faches Kpl-Okular wird in den Fototubus eingesetzt.

Bild 4 zeigt das volle Bildfeld eines 10-fachen 0,32 NA-Zeiss-Apochromaten, kombiniert mit dem 8X-Okular. Das Präparat war ein dünner Querschnitt einer Pappschachtel für gefrorene Lebensmittel. Bild 5 zeigt den Teil des Präparates, den der Film aufnimmt, wenn es mit der 35-mm-Aufsetzkamera fotografiert wird.

Die Vergrößerung auf dem Negativ kann wie folgt berechnet werden:

Vergrößerung = Objektiv \times Tubusfaktor \times Okular \times Zwischenlinse,
oder:

$$10 \times 1,25 \times 8 \times 0,5 = 50 \times .$$

Wenn wir das 24x36-mm-Negativ auf 20,3x25,4 cm vergrößern, erhalten wir eine Vergrößerung von ca. 425 (die Vergrößerung im Negativ 50x multipliziert mit dem fotografischen Vergrößerungsfaktor von

8,5). Dieser Wert ist ungefähr das 1300fache der numerischen Apertur des Objektivs (NA 0,32). Querschnitte von Papier oder Pappe, die mit Kunststoff imprägniert sind, haben im mikroskopischen Bild geringen Kontrast. Darum ist es oft notwendig, zur Verbesserung des Bildes den Kondensor abzublenden. Wenn dadurch die Apertur des Objektivs auf z. B. $\frac{2}{3}$ verringert wird, dann beträgt die Vergrößerung auf dem Abzug ungefähr das 2000fache der numerischen Apertur, ein unmöglich hoher Wert. Angenommen, die wirksame NA des Objektivs betrage nach Abblendung nur 0,22, so kann höchstens noch ein Abzug von $10,2 \times 12,7$ cm ohne leere Vergrößerung hergestellt werden. Ein solcher Abzug ist ziemlich klein, wenn er im normalen Leseabstand betrachtet wird und ist mit dem von modernen Mikroskopen gebotenen Bild nicht zu vergleichen. In technischen Veröffentlichungen fehlt einem solchen Abzug die erstrebte Wirkung, verglichen mit der Qualität einer Reproduktion, die eine volle Seite füllt.

Abgesehen von den mit der fotografischen Vergrößerung verbundenen Schwierigkeiten hat das Kleinformat-Negativ noch eine weitere Unzulänglichkeit: Es erfaßt nur eine begrenzte Fläche des Bildfeldes. Um das Präparat ganz studieren zu können, müssen in unserem Beispiel beide Seiten des Pappquerschnitts, die obere und die untere, sichtbar sein.

Bild 6 wurde ebenfalls mit dem $10\times$ Objektiv fotografiert. Im Gegensatz zu Bild 5 wird das mikroskopische Bildfeld in ausreichendem Maße erfaßt und die Fotografie zeigt keine leere Vergrößerung. Um diese Korrekturen zu ermöglichen, war es notwendig, die Kamera zu modifizieren.

Es ist zwar möglich, einen Abzug herzustellen, der eine größere Fläche des Präparates aufzeigt, ohne Änderungen an der Kamera vorzunehmen. Dies kann erreicht werden, wenn man ein Objektiv geringerer Vergrößerung verwendet. Leider hat aber ein solches Objektiv auch eine geringere numerische Apertur. Da diese und nicht die Stärke des Objektivs für die Maximalgröße des Abzugs ausschlaggebend ist, wird es darum immer noch nicht möglich sein, einen ganzseitigen Druck herzustellen. Das Objektiv Planapochromat $4\times$ hat zum Beispiel eine NA von 0,16, die Hälfte des 10fachen Planapochromaten. Daher ist die Maximalgröße des Abzugs wiederum auf $10,2 \times 12,7$ cm beschränkt. Das ausgezeichnete $4\times$ Objektiv würde einen Großformatabzug mit mehr als ausreichender Auflösung gestatten. Es ist jedoch dazu nicht imstande, wenn die optischen Bedingungen in der Aufsetzkamera das verfügbare Bildfeld auf weniger als ein Viertel reduzieren.

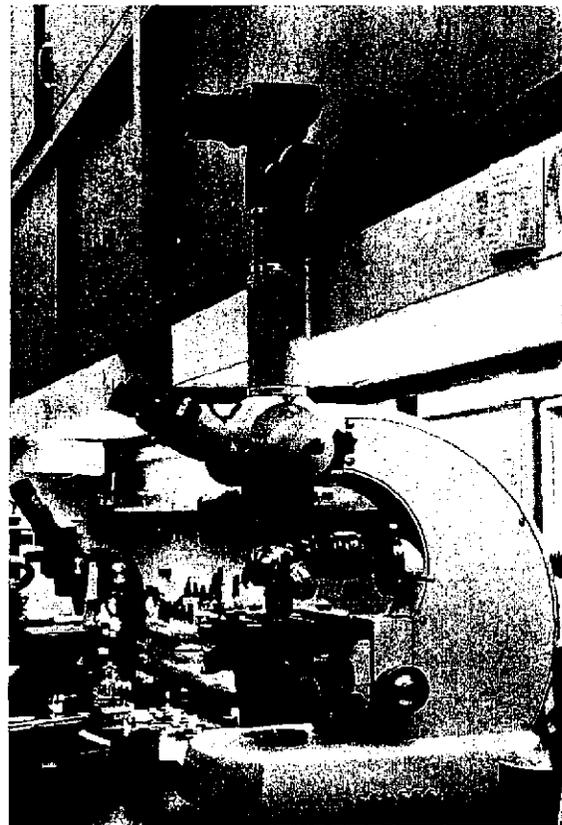
Eine Frage, die an dieser Stelle behandelt werden muß, ist das Auflösungsvermögen

der Objektive an der Peripherie des Feldes. Die typischen Planobjektive moderner Fabrikation geben ein viel größeres brauchbares Bild als Objektive älterer Bauart. Die Randauflösung dieser moderneren Objektive ist für fotografische Zwecke durchaus ausreichend. Mikroskopiker, die ältere, nicht korrigierte Objektive besitzen, sollten keine Weitfeldkamera benutzen. Nur das Zentrum der Mikrofotografie würde scharf sein, während ein erheblicher Teil des Bildrandes völlig unscharf herauskäme. Aus diesem Grunde beschränken sich ältere Aufsetzkameras auf den zentralen Teil des Bildes; es wurde damals angenommen, daß das Bild nicht mehr als dreifach vergrößert würde.

Viele verschiedene Mikrofotos wurden angefertigt, um die Randschärfe moderner planapochromatischer Objektive zu demonstrieren.

Die Bilder 7 und 8 zeigen das Resultat der Okularkorrektur. In Bild 8 sind Mikrofotografien einander gegenübergestellt, die sowohl vom Bildzentrum als auch vom Bildrand gemacht sind und die die förderliche Vergrößerung überschreiten. Dargestellt sind schrägbedampfte Diatomen.

Bild 3: Das mit einem modifizierten Fototubus ausgerüstete Universal-Mikroskop von Zeiss ermöglicht es, ein maximales Bildfeld auszunützen.



8,5). Dieser Wert ist ungefähr das 1300fache der numerischen Apertur des Objektivs (NA 0,32). Querschnitte von Papier oder Pappe, die mit Kunststoff imprägniert sind, haben im mikroskopischen Bild geringen Kontrast. Darum ist es oft notwendig, zur Verbesserung des Bildes den Kondensator abzublenden. Wenn dadurch die Apertur des Objektivs auf z. B. $\frac{2}{3}$ verringert wird, dann beträgt die Vergrößerung auf dem Abzug ungefähr das 2000fache der numerischen Apertur, ein unmöglich hoher Wert. Angenommen, die wirksame NA des Objektivs betrage nach Abblendung nur 0,22, so kann höchstens noch ein Abzug von $10,2 \times 12,7$ cm ohne leere Vergrößerung hergestellt werden. Ein solcher Abzug ist ziemlich klein, wenn er im normalen Leseabstand betrachtet wird und ist mit dem von modernen Mikroskopen gebotenen Bild nicht zu vergleichen. In technischen Veröffentlichungen fehlt einem solchen Abzug die erstrebte Wirkung, verglichen mit der Qualität einer Reproduktion, die eine volle Seite füllt.

Abgesehen von den mit der fotografischen Vergrößerung verbundenen Schwierigkeiten hat das Kleinformat-Negativ noch eine weitere Unzulänglichkeit: Es erfaßt nur eine begrenzte Fläche des Bildfeldes. Um das Präparat ganz studieren zu können, müssen in unserem Beispiel beide Seiten des Pappquerschnitts, die obere und die untere, sichtbar sein.

Bild 6 wurde ebenfalls mit dem $10\times$ Objektiv fotografiert. Im Gegensatz zu Bild 5 wird das mikroskopische Bildfeld in ausreichendem Maße erfaßt und die Fotografie zeigt keine leere Vergrößerung. Um diese Korrekturen zu ermöglichen, war es notwendig, die Kamera zu modifizieren.

Es ist zwar möglich, einen Abzug herzustellen, der eine größere Fläche des Präparates aufzeigt, ohne Änderungen an der Kamera vorzunehmen. Dies kann erreicht werden, wenn man ein Objektiv geringerer Vergrößerung verwendet. Leider hat aber ein solches Objektiv auch eine geringere numerische Apertur. Da diese und nicht die Stärke des Objektivs für die Maximalgröße des Abzugs ausschlaggebend ist, wird es darum immer noch nicht möglich sein, einen ganzseitigen Druck herzustellen. Das Objektiv Planapochromat $4\times$ hat zum Beispiel eine NA von 0,16, die Hälfte des 10fachen Planapochromaten. Daher ist die Maximalgröße des Abzugs wiederum auf $10,2 \times 12,7$ cm beschränkt. Das ausgezeichnete $4\times$ Objektiv würde einen Großformatabzug mit mehr als ausreichender Auflösung gestatten. Es ist jedoch dazu nicht imstande, wenn die optischen Bedingungen in der Aufsetzkamera das verfügbare Bildfeld auf weniger als ein Viertel reduzieren.

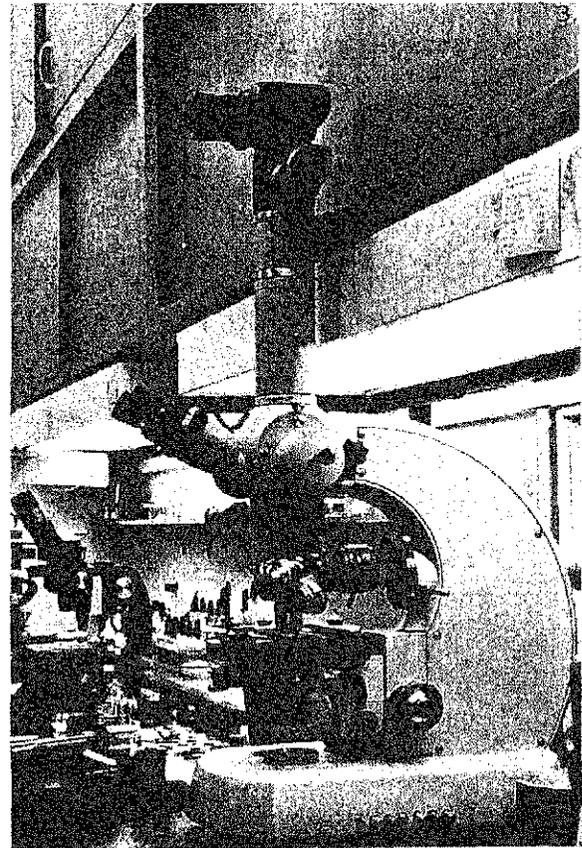
Eine Frage, die an dieser Stelle behandelt werden muß, ist das Auflösungsvermögen

der Objektive an der Peripherie des Feldes. Die typischen Planobjektive moderner Fabrikation geben ein viel größeres brauchbares Bild als Objektive älterer Bauart. Die Randauflösung dieser modernen Objektive ist für fotografische Zwecke durchaus ausreichend. Mikroskopiker, die ältere, nicht korrigierte Objektive besitzen, sollten keine Weitfeldkamera benutzen. Nur das Zentrum der Mikrofotografie würde scharf sein, während ein erheblicher Teil des Bildrandes völlig unscharf herauskäme. Aus diesem Grunde beschränken sich ältere Aufsetzkameras auf den zentralen Teil des Bildes; es wurde damals angenommen, daß das Bild nicht mehr als dreifach vergrößert würde.

Viele verschiedene Mikrofotos wurden angefertigt, um die Randschärfe moderner planapochromatischer Objektive zu demonstrieren.

Die Bilder 7 und 8 zeigen das Resultat der Okularkorrektur. In Bild 8 sind Mikrofotografien einander gegenübergestellt, die sowohl vom Bildzentrum als auch vom Bildrand gemacht sind und die die förderliche Vergrößerung überschreiten. Dargestellt sind schrägbedampfte Diatomen.

Bild 3: Das mit einem modifizierten Fototubus ausgerüstete Universal-Mikroskop von Zeiss ermöglicht es, ein maximales Bildfeld auszunützen.



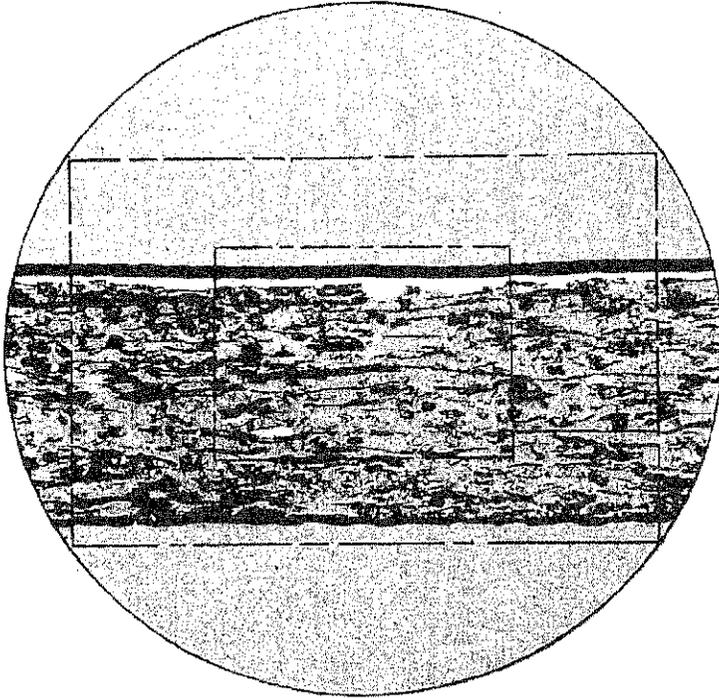


Bild 4: Bildfeld des 10 \times -Planapochromaten von Zeiss, kombiniert mit dem 8 \times -BrKpl-Okular. Das größere der beiden Rechtecke ist der Umriss eines 35-mm-Filmformats, wenn das maximale Bildfeld erfaßt wird. Das kleine Rechteck umreißt die Bildfläche, die mit einer Zeisschen C-35-Aufsetzkamera und einem 8 \times -Okular erreichbar ist.

Der Bau einer Weitfeldkamera hohen Auflösungsvermögens

Für den Versuch, eine mikrofotografische Weitfeld-Aufsetzkamera mit hohem Auflösungsvermögen zu konstruieren, waren zwei Möglichkeiten gegeben:

1. ein 4faches Okular zu verwenden, das die Kameravergrößerung halbieren und gleichzeitig die fotografierte Fläche um das Vierfache vergrößern würde;
2. das 8fache Okular, das Zeiss empfiehlt, beizubehalten und die 0,5 \times Zwischenlinse durch eine 0,25 \times (63 mm) Zwischenlinse zu ersetzen.

Optische Überlegungen verlangen, daß die Zwischenlinse in einer Entfernung von der Filmebene liegt, die ihrer Brennweite entspricht. Da diese Linse mit einer sehr kleinen relativen Apertur arbeitet, darf sie nur sehr wenig Luft-Glas-Flächen haben. Versuche mit Zwischenlinsen verschiedener Brennweiten haben ergeben, daß ihre achromatische Abweichung und ihr Anteil an der Gleichmäßigkeit der Bildebene in dem Maße verbessert werden, in dem ihre Brennweite (der Vergrößerungsfaktor der Kamera) herabgesetzt wird. Diese Korrekturen sind nur am Rande des Bildes von Bedeutung, es ist aber gerade dieser Bereich, der uns interessiert.

Eine 75-mm-Zwischenlinse wurde beschafft und adaptiert. (Es war nicht möglich, eine 63-mm-Zwischenlinse aufzutreiben; mehrere achromatische Linsen wurden ausprobiert, bevor eine einfache 25-mm-Vivitar-Vergrößerungslinse, die ungefähr § 14.— gekostet hatte, gewählt wurde.) Die ersten

Versuchsnegative mit dieser Linse in Verbindung mit einem 25 \times und auch mit einem 40 \times Planapo-Objektiv waren ausgezeichnet. Die Bildweite war erheblich größer, die Randauflösung war gut. Mit dem 10 \times Planapo war die Schärfe des Bildrandes weniger gut als erwartet. Mit dem 4 \times Objektiv war die Einbuße an Bildqualität noch enttäuschender. Versuche, die optischen Bestandteile entsprechend anzupassen und das Bild zu verbessern, schlugen fehl. Bevor wir auf die Versuche mit verschiedenen Okularen eingehen, möchte ich noch die Technik direkter Projektion beschreiben, mit der die bestmögliche Auflösung erzielt werden kann und die sich daher für die Bewertung der Versuche besonders eignet.

Mikrofotografien durch direkte Projektion

Eine Technik wurde entwickelt, die es ermöglicht, Mikrofotografien höchstmöglicher Auflösung zu erzielen. Diese Technik wird als „direkte Projektion“ bezeichnet. Sie ist zu umständlich, um für Routinearbeiten anwendbar zu sein, ergibt aber ausgezeichnete Resultate in Versuchen. Mit direkter Projektion werden eine Reihe veränderlicher Faktoren ausgeschaltet, die eine Verminderung der Bildschärfe verursachen können. Solche Faktoren sind Schmutz auf der Zwischenlinse, Mängel des Films. Erschütterungen durch den Verschluss, optische Mängel der Vergrößerungslinse, Irrtümer in der Scharfeinstellung während der fotografischen Vergrößerung, Erschüt-

terungen des Vergrößerungsapparates und schließlich die Möglichkeit, daß sich das Negativ während der Herstellung der Abzüge als Folge der Erwärmung des Vergrößerungsapparates verschiebt.

Bei direkter Projektion wird eine 20,3×25,4 cm große Kassette einer mikrografischen Kamera mit fotografischem Papier geladen. Das durch die Objektiv-Okular-Kombination entstehende Bild wird direkt auf das Papier projiziert. Bei einem 20,3×25,4 cm Format ist die Projektionsentfernung stets mehr als 250 mm. Die meisten Experten stimmen darin überein, daß bei einer Projektionsentfernung von mehr als 250 mm eine auf unendlich eingestellte Zwischenlinse nicht nötig ist.

Okular und Auflösung

Wegen der enttäuschenden Resultate, die mit dem 8× Kpl-Okular und Objektiven geringer Vergrößerung erzielt werden, wurde die Qualität verschiedener Okulare geprüft. Zeiss bietet eine reiche Auswahl von Okularen.

Es gibt keine Richtlinien, die den Mikroskopiker in der Wahl dieser Okulare leiten könnten und es ermöglichen würden, ihre Eignung in Verbindung mit Planapos zu beurteilen. Die Prospekt-Literatur besagt in der Tat nur, daß alle Okulare so berechnet sind, daß sie alle Zeiss'schen Objektive kompensieren.

Die Okulare wurden sorgfältig mit Planapos geprüft. Deutliche visuelle Unterschiede konnten bezüglich Augenanpassung, Vergrößerung und Ausmaß des Gesichtsfeldes festgestellt werden. Wenn diese Okulare fotografisch geprüft wurden, stellte sich heraus, daß jedes seine eigenen charakteristischen Eigenschaften hatte.

Die Tabelle faßt die Prüfungsergebnisse eines einzigen Okulars, des 8× Kpl, in Verbindung mit der kompletten Reihe der Planapochromate zusammen.

Das 4× und das 10× Objektiv werden im Laboratorium des Autors am häufigsten gebraucht. Darum waren die Ergebnisse dieser Untersuchungen besonders enttäuschend. In einer Beziehung waren sie aber wertvoll: Sie klärten die unzureichende Randauflösung des 4× Objektivs, wenn die 75-mm-Zwischenlinse durch die von der Fabrik gelieferte 125-mm-Linse ersetzt

Bild 5: Die Mikrofotografie mit der Zeisschen C-35-Aufsetzkamera, einem 10×-Objektiv und einem 8×-Okular ist in der Detailwiedergabe auf einem kleinen Abzug zufriedenstellend. Das Bildfeld ist aber erheblich eingeschränkt.

Bild 6: Verbesserte Bildfeldwiedergabe ist mit einer modifizierten 35 mm-Aufsetzkamera möglich. Ein zusätzlicher Vorteil: Das Negativ kann ohne leere Vergrößerung auf 20,3×25,4 cm vergrößert werden. Bild 5 würde bei diesem Format „weich“ erscheinen.

Tabelle: Auflösung planapochromatischer Objektive in Kombination mit dem 8× Kpl-Okular von Zeiss

Zeiss-Planapochromat	Auflösung in Bildmitte	Auflösung am Bildrand
4× NA 0,16	gut	schlecht
10× NA 0,32	gut	brauchbar
25× NA 0,65	gut	gut
40× NA 1,0 Öl	gut	gut
100× NA 1,3 Öl	gut	gut

wurde. Offenbar hat das 8× Kpl nicht die optischen Eigenschaften, um das 4× Planapo zu kompensieren und zugleich eine gute Auflösung der Peripherie zu geben. Weitere Versuche mittels direkter Projektion und verschiedenen Okularen ergaben, daß das 8× Br Kpl (Katalog-Nr. 46 39 22) ein überraschendes Resultat mit dem 4× Planapo gab: Die Peripherie des Bildkrei-

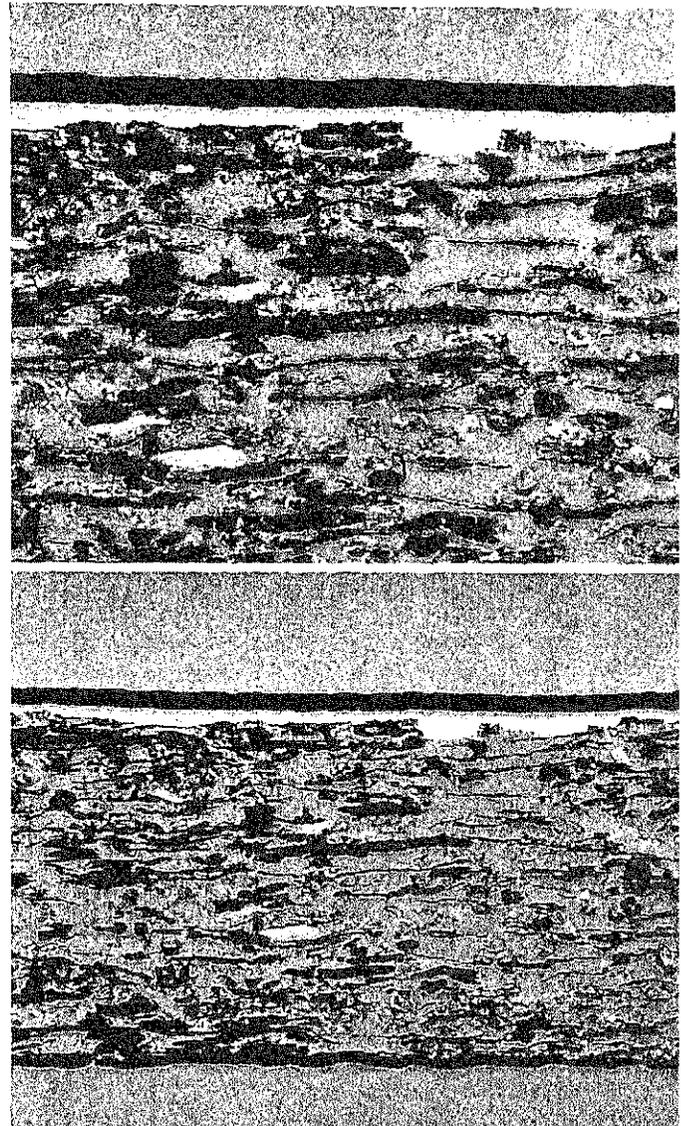




Bild 7. Schragbe-dampftes Diatomeenpräparat, ideal für die Prüfung des Auflösungsvermögens von Objektiven geringer Vergrößerung. Objektiv 10×. Wenn die durch die unterbrochenen Linien angezeigte Fläche auf 20,3×25,4 cm vergrößert wird, beträgt die Vergrößerung ungefähr 200×. Diese Mikrofotografie liegt den Abbildungen in Bild 8 zugrunde, um zu zeigen, daß die Auflösung selbst am äußersten Rand des Bildfeldes noch hinreichende Information liefert.

ses war fast 100%ig scharf. Dieses Resultat war so interessant, daß ein zweites Okular der gleichen Art beschafft wurde. Beide erwiesen sich als identisch. Leider führten dieselben Okulare mit dem 25× und dem 40× Planapo nicht zu den gleichen Ergebnissen. Andere Okulare wie das 12,5× BrKpl produzierten verzerrte Randbilder mit allen Planapos, obwohl die zentrale Partie des Bildes scharf war. Drei verschiedene 12,5× BrKpl wurden geprüft, alle mit dem gleichen Ergebnis. Wenn diese Randverzerrung mit höherer Vergrößerung geprüft wird, scheint sie auf einer Coma-Abweichung zu beruhen. Das 10× KplBr für visuellen Gebrauch zeigte mangelnde Auflösung an der Peripherie, aber ausgezeichnete Schärfe für ungefähr 2/3 des Zentrums.

Bild 8 illustriert die Bildqualitäten in der Mitte sowie am Rande des Bildfeldes für drei verschiedene Okulare in Verbindung mit dem 10× Planapo. Diese Illustrationen sind wegen der Zweideutigkeit von Begriffen wie „weich“ oder „scharf“ notwendig; sie geben dem Leser eine Handhabe, die Ergebnisse visuell zu vergleichen. In allen Fällen wurde das Objekt im Zentrum scharf eingestellt, da Kompromisse im Fokussieren bei Versuchen dieser Art nicht angebracht sind.

Bild 8 demonstriert die Schwierigkeiten,

denen man bei der Konstruktion einer 35-mm-Aufsatzkamera begegnet, die Mikrofotografien mit weitem Feld und hochgradiger Auflösung erzielen soll. Nur ein Okular ist mit allen Planapos im gleichen Maße zufriedenstellend. Bei direkter Projektion ist es relativ einfach, ein bestimmtes Okular zu wählen und zu installieren, das für ein bestimmtes Objektiv optimale Resultate gibt. Bei einer 35-mm-Aufsatzkamera jedoch liegen die Verhältnisse anders. Es wäre zu zeitraubend, die Apparatur auseinanderzunehmen, um zu ermitteln, mit welchem Okular und welcher Zwischenlinse beide Erfordernisse: Schärfe und Weitfeld gegeben sind.

Das 63-mm-Kpl-Mikroprojektionsokular (Mipro) von Zeiss ergab die besten Resultate mit allen Objektiven. Es ist ein Okular geringer Vergrößerung (4×) und konnte darum ohne Abänderung der 0,5× Zwischenlinse verwendet werden. Eine ungewöhnliche Schwierigkeit ergab sich jedoch während des Versuches: Wegen seiner sehr großen Projektionsentfernung war es nicht möglich, das Bild auf der Mattscheibe zu betrachten und gleichzeitig die Scharfeinstellung am Mikroskop zu bedienen. Eine Adaption der Scharfeinstellung war notwendig.

Der Versuch ergab, daß das Mipro-Okular optimale Bilder mit jedem der Planapos

Bild 8: Diese Serie demonstriert die Bedeutung des Okulars in der Mikrofotografie. In ihr ist ein kleiner Ausschnitt aus Bild 7 auf 1000X vergrößert (siehe Rechteck ungefähr in der Mitte von Bild 7). Teilbilder a, c und e auf der linken Seite sind Aufnahmen in der Mitte des Feldes, während für die Fotos b, d und f die Diatomee an die Peripherie verschoben wurde, an die Stelle, die in Bild 7 mit einem Kreis (rechts oben) bezeichnet ist. 1000fache Vergrößerung überschreitet die Grenze der NA eines 10X-Objektivs bei weitem, und das Bild wird dem Beschauer unscharf erscheinen. Unterschiede in der Auflösung sind indes noch sichtbar.

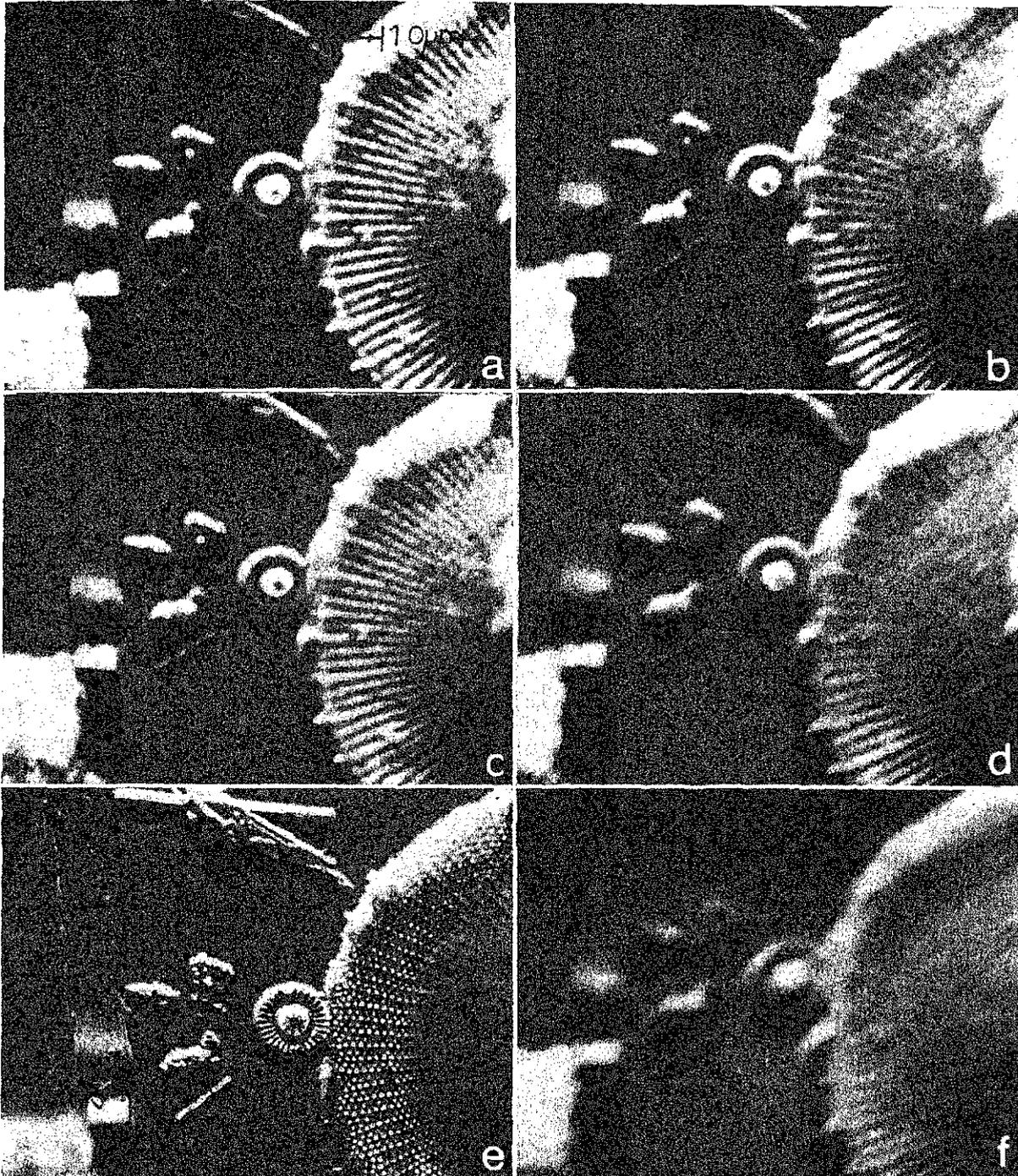
Teilbilder a und b: Beide Fotos sind mit dem Mipro 63 mm Kpl aufgenommen. Die Auflösung

am Rand ist fast so gut wie im Zentrum. Objektiv 10X.

Teilbilder c und d: Beide Fotos sind mit dem vielfach empfohlenen 8X-Kpl aufgenommen. Das zentrale Bild ist ausgezeichnet, wie mit allen Zeiss-Okularen, das von der Peripherie jedoch zeigt einen deutlichen Auflösungsverlust. Objektiv 10X.

Teilbild e: Aufgenommen mit dem 40X-Planapo in Verbindung mit dem 12,5X-BrKpl-Weitfeld-Okular. Der Vorteil einer höheren NA ist augenscheinlich.

Teilbild f: Für die Mikrofotografie ist das 12,5X-Okular offensichtlich weniger gut geeignet.



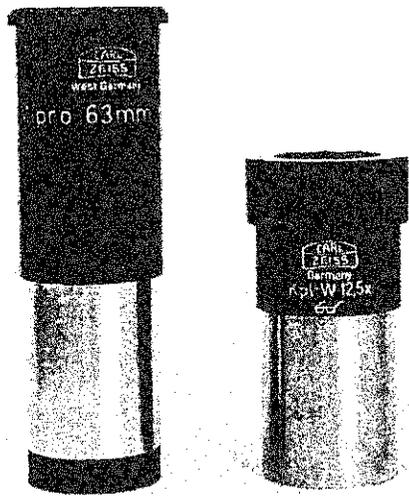


Bild 9: Das 63 mm-Mipro-Okular verglichen mit dem 12,5× Br. Kpl. Es ist die ungewöhnliche Länge des Mipro, die eine Verlängerung des Fototubus erfordert.

produzierte, guten Kontrast und Auflösung erzielte. Es erschien darum wichtig, einen Weg zu finden, um dieses Okular der 35-mm-Mikrokamera anzupassen.

Die Anpassung des 63-mm-Mipro-Okulars an die Aufsetzkamera

Die Schulterhöhe des Mipro-Okulars ist zu groß, um es direkt im veränderlichen Fototubus zu gebrauchen. Der Tubus mußte um 35 mm verlängert werden, bevor Mikrografien aufgenommen werden konnten. Anfängliche Versuche zeigten mäßige Schärfe an der Peripherie des Negativs. Der Grund war, daß die Zwischenlinse dem Okular zu nahe war. Verschiedene Hinweise in der Literatur besagen, daß die Austrittspupille des Okulars auf die untere Fläche der Zwischenlinse fallen soll. Das 63-mm-Okular hat eine Austrittspupille von 21 mm über der Augenlinse. Wenn der verschiebbare Fototubus um 21 mm gehoben wurde, verbesserten sich die fotografischen Ergebnisse erheblich. Weitere Versuche enthüllten, daß optimale Randauflösung erzielt werden konnte, wenn die Zwischenlinse um weitere 7 mm über die Austrittspupille angehoben wurde. Dafür konnte keine Erklärung gefunden werden. Wiederholte Tests deuteten jedoch darauf hin, daß es notwendig war. Die Entfernung zwischen der oberen Linse des Mipro-Okulars und der unteren Fassung der Zwischenlinse muß für beste Resultate 28 mm betragen.

Die ursprünglich 35 mm betragende Entfernung zwischen dem Fototubus und dem Grundkörper der Kamera war jetzt zu kurz. Ein Verlängerungsring von 70 mm

Höhe ergab die korrekte Distanz zwischen dem Mipro-Okular und der 0,5× Zwischenlinse, wenn der veränderliche Fototubus auf die kürzeste Entfernung eingestellt war.

Ein letztes Problem blieb noch zu lösen: Das mikroskopische Bild war an den Ecken des Negativs vignettiert. Dieser Effekt ist auf die Lochblende im Mipro-Okular zurückzuführen. Diese wurde durch eine Blende mit einer ca. 1 mm größeren Öffnung ersetzt. Auflösung und Kontrast wurden dadurch nicht beeinträchtigt.

Die nach obigen Grundsätzen modifizierte mikroskopische Weitfeldkamera arbeitet mit absolut befriedigenden Resultaten. Das erfaßte Feld ist nahezu bis zum optischen Maximum erweitert und füllt das 24×36-mm-Format der Filmebene. Die Auflösung mittels Planapo-Objektiven ist ausgezeichnet. Bild 9 zeigt das einzigartige Mipro-Okular sowie das 12,5-BrKpl-Weitfeldokular. Bild 10 ist eine schematische Darstellung der Weitfeldkamera.

Modifikationen von Aufsetzkameras für Mikroskope verschiedener Fabrikation

Obwohl nach der Prospektliteratur verschiedener Fabrikanten die Frage der Bildgröße kein Problem darstellt, bedürfen die meisten Aufsetzkameras einer Abänderung, wenn die Qualität der Planapos voll ausgenutzt werden soll. Solche Broschüren zeigen oft das kreisförmige Bildfeld des Mikroskops, in das das Kleinbildformat eingezeichnet ist, als ob ca. 9/10 des Feldes von der Kamera erfaßt würden. In den meisten Fällen entspricht aber das kreisförmige Bild nicht dem, was durch die Okulare zu sehen ist; statt dessen wird ein Bildkreis gezeigt, der durch die Kombination eines zu starken Okulars mit einer zu starken Zwischenlinse reduziert wurde.

Um einen größeren Kreis zu erfassen, muß der Mikrofotograf die Ausrüstung modifizieren und entweder ein Okular geringerer Vergrößerung oder eine schwächere Zwischenlinse verwenden.

Eine Warnung: Das für einen besonderen Zweck entwickelte 63-mm-Mipro-Okular kann so ungewöhnlich gute Resultate nur mit der derzeitigen Serie Zeiss'scher Planapo-Objektive bieten. Objektive einer Firma dürfen nie mit Okularen anderer Firmen kombiniert werden, insbesondere nicht in der Mikrofotografie. In früheren Zeiten war die Auswechslung optischer Komponenten üblich, mit modernen Objektiven ist dies nicht mehr angezeigt.

Die ideale 35-mm-Aufsetzkamera

Als eine Lösung für die den Aufsetzkameras eigene Unzulänglichkeit, nur einen Teil des Bildfeldes zu erfassen, ist vorge-

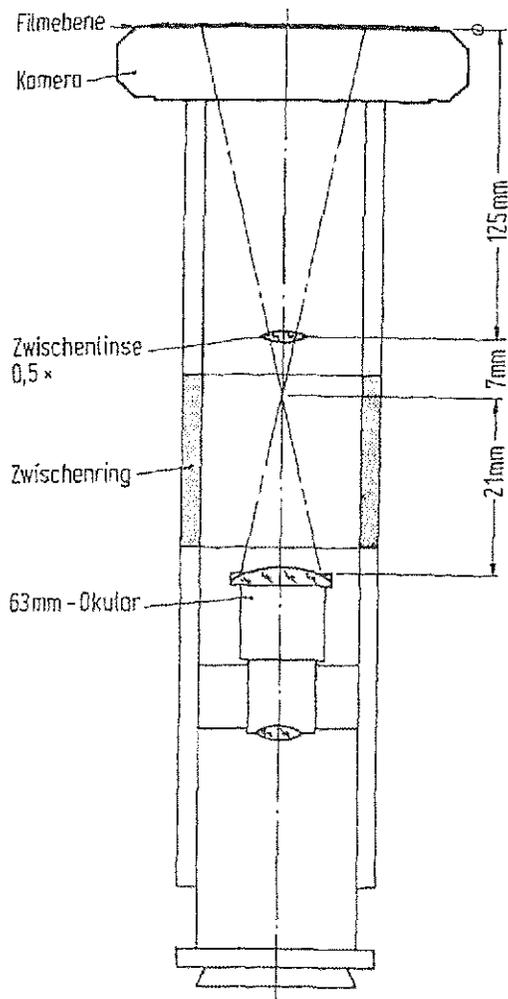


Bild 10: Schematische Darstellung der modifizierten optischen Anordnung.

schlagen worden, ein Linsensystem zwischen dem Objektiv und dem Objektivrevolver einzuschalten. Gegen eine solche Lösung sprechen verschiedene Gründe. Solche zusätzlichen Linseneinheiten in einen bereits gedrängten optischen Gang einzuführen, würde eine außerordentliche Präzision erfordern, wenn die Auflösung an der Peripherie des Bildes erhalten bleiben soll. Außerdem wäre es mit einem solchen zusätzlichen System nicht möglich, kontrastverbessernde Methoden wie die Nomarski-Interferenz-Ausrüstung zu gebrauchen. Eine Verbesserung der Aufsetzkamera ist

zu erwarten, wenn die Zwischenlinse eliminiert wird. Diese Linse trägt in keiner Weise dazu bei, die Bildqualität zu verbessern. Ihre einzige Funktion besteht darin, sicherzustellen, daß das Objektiv in dem Arbeitsabstand eingestellt ist, für den es berechnet ist; ihre Aufgabe ist es, Abweichungen in einem bereits gründlich korrigierten optischen System zu vermeiden. Die Zwischenlinse in vielen Aufsetzkameras richtet in der Tat ziemlich Schaden an. Der Mikroskopiker muß jetzt über tausend Dollar für bestimmte planapochromatische Objektive zahlen. Ist es nicht merkwürdig, daß man eine solche Summe für ein Objektiv aufbringen muß, dessen einziger Vorteil eine verbesserte Randschärfe ist, dann aber eine Zwischenlinse benötigt, die das brauchbare fotografische Feld auf ein Viertel dieses sehr kostspieligen Bildkreises reduziert?

Die ideale Lösung wäre, wenn die Mikroskop-Hersteller ein kurzbrennweitiges Projektionsokular zur Verfügung stellen würden, das sorgfältig auf ihre Serie von Planapos abgestimmt ist. Ein solches Okular würde den korrekten Arbeitsabstand der Objektive sichern, kurze Verlängerungsringe erfordern und die lästige Zwischenlinse beseitigen. Ein gut konstruiertes Fotookular dieser Art würde eine Anzahl Linsen innerhalb des vertikalen Fototubus ersetzen und somit den Bildkontrast verbessern. Die Vergrößerung des Fotookulars, das das mikroskopische Bild nahezu voll erfassen würde, müßte für normale Mikroskope $2,5\times$ betragen oder $2\times$ für Mikroskope mit einem Tubusfaktor von 1,25. Sollten jedoch dem Mikroskopiker nur Objektive zur Verfügung stehen, die keine Plankorrektur aufweisen, würde ein $5\times$ Fotookular das verfügbare Feld auf das kleine zentrale Rechteck beschränken, das die derzeitigen 35-mm-Aufsetzkameras wiedergeben.

Jedenfalls aber können die Besitzer einer Zeiss-Ausrüstung mit dem 63-mm-Mipro-Okular in der modifizierten Aufsetzkamera hervorragende Resultate erzielen.

Aus dem Englischen übersetzt von Eric Grave, New York.

Verfasser: Dale Quackenbush, Weyerhaeuser Company, Longview, Washington 98632, USA.

110 Jahre Paraffin-Technik

Die Durchtränkung mit Paraffin zur Herstellung dünner Schnitte, vor allem von Mikrotomschnitten, wurde schon 1869 von Klebs eingeführt! Es ist erstaunlich, daß sich dieses mikrotechnische Verfahren trotz der ungeheuren Fortschritte der Kunststoffchemie bis heute behauptet hat, ja sogar die am häufigsten angewandte Standardmethode geblieben ist. Offenbar hat sich

trotz aller Versuche, ein günstigeres Einbettungsmedium zu finden, keine Substanz besser bewährt als das gute alte Paraffin.

Etwa in dieselbe Zeit fällt die Entwicklung der ersten Mikrotome, und die Vermutung ist sicher berechtigt, daß die Paraffin-Technik die Gestaltung der Mikrotome entscheidend beeinflusst hat: Auch heute noch sind Schlitten- und Rotationsmikrotom in allererster Linie zum Paraffinschneiden gedacht.
Dieter Krauter