

Vom Gesichtsfeld des Mikroskops

Kurt Michel

Außer der Auflösung und der Vergrößerung ist für den Mikroskopiker bei der Benutzung seines Instruments vielfach noch von Interesse, wie groß der Ausschnitt aus dem Objekt ist, den er im Okular übersieht. Insbesondere dann, wenn größere Präparate systematisch abgesucht werden sollen, ist es wichtig, daß dieser Ausschnitt möglichst groß ist. Seine Größe ist bestimmt durch

1. die **Maßstabszahl** des Objektivs,
2. den **Durchmesser** der im Okular eingebrachten Blende.

Letzterer bestimmt zunächst einmal den Durchmesser desjenigen Ausschnitts, den das Okular aus dem vom Objektiv 10 mm unter dem Tubusrand des Mikroskops erzeugten, reellen Bild aufnimmt. Dieser Durchmesser stimmt mit dem Blendendurchmesser des Okulars nur dann überein, wenn sich vor dessen Blende keinerlei optisch wirksame Teile befinden. Ist das jedoch der Fall, unterscheidet sich der Blendendurchmesser mehr oder weniger stark von dem Durchmesser des vom Okular tatsächlich erfaßten Ausschnitts aus dem reellen Zwischenbild. Man kann also als Kenngröße des Okulars für das zu überblickende Feld nicht immer den wahren Durchmesser seiner Blende angeben. Wohl aber kann man hierfür den Durchmesser desjenigen Teils aus dem reellen Zwischenbild benutzen, den das Okular aufgrund der Größe seiner Blende erfaßt. Diesen Wert nennt man die

Sehfeldzahl S'

des Okulars. Aus ihr läßt sich leicht der Durchmesser des Objektfeldes S bestimmen, den man bei einer bestimmten Objektiv-Okular-Kombination im Okular erblickt. Man braucht hierzu nur die Sehfeldzahl S' durch die Maßstabszahl M des verwendeten Objektivs zu dividieren:

$$S = \frac{S'}{M}$$

In Tabelle 1 sind für eine Reihe von normalen ZEISS-Okularen die Sehfeldzahlen S'

und außerdem die Sehwinkel zusammengestellt, unter denen beim Einblick ins Okular das Bildfeld erscheint:

Bei Verwendung beispielsweise eines Objektivs 10/0,25 (Maßstabszahl 10) übersieht man also mit einem Okular Kpl 10x ein Objektfeld

$$S = \frac{16}{10} = 1,6 \text{ mm Durchmesser.}$$

Wenn der Wunsch besteht, dieses Feld zu vergrößern, dann hat man nach obiger Formel zwei Möglichkeiten: Man kann

1. ein Objektiv mit kleinerer Maßstabszahl, also ein „schwächeres“ **Objektiv** oder
2. ein **Okular** mit größerer Sehfeldzahl wählen.

Aus verschiedenen Gründen ist bisher vorwiegend der erstere Weg benutzt worden. Er hat den – allerdings meist nicht besonders störenden – Nachteil, daß schwächere Objektive in der Regel auch kleinere Apertur, also auch ein kleineres Auflösungsvermögen haben. Darf indessen das Auflösungsvermögen **nicht** sinken, bleibt nur der zweite Weg. Er wurde aber zunächst durch einige schwer zu überwindende Hindernisse blockiert. Diese bestanden einerseits in den Schwierigkeiten, die sich einer ausreichenden Beseitigung von Astigmatismus und Bildkrümmung im vom Objektiv erzeugten reellen Zwischenbild entgegenstellten und andererseits in den Dimensionen, wie sie sich im Laufe der letzten 150 Jahre für die Mikroskop**tuben** herausgebildet haben. Eben weil es wegen der zunächst als Schicksal hingenommenen Bildkrümmung zwecklos erschien, die Sehfeldzahlen der Okulare über die in obiger Tabelle 1 aufgeführten Werte zu steigern, hat sich als Norm für den Okulardurchmesser ein ziemlich kleiner Wert eingeführt (Innendurchmesser des Okularrohrs am Tubus 23,2 mm). Auf ihn wurden natürlich auch bei Geräten mit komplizierterem Aufbau die in den Tuben (z.B. in binoku-

laren oder Polarisationstuben) befindlichen Linsensysteme und Prismen abgestimmt.

Ausgehend von grundlegenden Arbeiten über die Möglichkeiten der Bilddehnung bei Mikroskopobjektiven im Hause ZEISS zwischen 1935 und 1950, hat sich nun allerdings die Lage in den letzten fünfzehn Jahren allmählich gewandelt. Zu den Objektivreihen mit konventioneller Bildfeldkorrektion sind mehr und mehr Objektive mit **geebnetem** Zwischenbild getreten. Heute gibt es sinnvoll abgestufte **Reihen von Planobjektiven** sowohl mit achromatischer als auch mit apochromatischer Korrektion ebenso für Arbeiten mit durchfallendem wie für Arbeiten mit auffallendem Licht (Tabelle 2). Bei ihnen ist die Bildfeldkorrektion so durchgeführt, daß Sehfeldzahlen von 25 bis 30 ohne weiteres ausgenutzt werden könnten.

Dem stehen aber nun zunächst die oben erwähnten Dimensionen der Mikroskope entgegen. Wenn man die Möglichkeit der Verwendung größerer Sehfeldzahlen vorsehen will, scheint es zunächst nur den Weg zu geben, von den konventionellen Dimensionen der Mikroskop**tuben** und Okulare Abschied zu nehmen und sie entsprechend zu vergrößern.

Eine genauere Betrachtung zeigt aber, daß es auch andere Lösungsmöglichkeiten für die Aufgabe gibt, ohne Veränderung des Auflösungsvermögens und der Endvergrößerung ein größeres Objektfeld mit entsprechend größerem Sehwinkel zu überblicken.

Sie bestehen in einer Kombination der bereits eingangs erwähnten Möglichkeiten: Herabsetzen des Maßstabs im Zwischenbild und Vergrößern der Sehfeldzahl bei entsprechend stärkeren Okularen, wozu der konventionelle Okulardurchmesser ausreicht. Das Wesentliche ist in diesem Fall, daß beim Herabsetzen der Maßstabszahl die Apertur nicht verändert wird, d.h., auf die Maßstabszahl darf nicht durch eine Änderung am Objektiv, sondern nur durch eine solche im Okularsystem eingewirkt werden. Das geschieht am besten dadurch, daß man in dieses ein Zusatzsystem einfügt, welches verkleinernd auf das Zwischenbild einwirkt, aber dessen Lage im Tubus nicht beeinflußt. Es ist für das Verständnis des Erfolges zweckmäßig, dieses Zusatzsystem direkt als Bestandteil des Okulars aufzufassen, auch

Tabelle 1

Okular	C 5x	C 6,3x	Kpl 8x	Kpl 10x	Kpl 12,5x	Kpl 16x
Sehfeldzahl S' mm	20	18	18	16	12,5	10
Sehwinkel W Grad	23	26	33	36	36	36

Tabelle 2

ZEISS - Mikroskopobjektive mit geebnem Bildfeld für

Durchlichtbeobachtung von bedeckten
Objekten (Deckglasdicke 0,17 mm)

Auflichtbeobachtung von unbedeckten
Objekten

„Planachromat“	„Planapochromat“	„Epiplan“ *	„Epiplan Pol“
1 / 0,04			
2,5 / 0,08	4 / 0,10	4 / 0,10	4 / 0,10 Pol
6,3 / 0,16	10 / 0,32	8 / 0,20	8 / 0,20 Pol
10 / 0,25	25 / 0,65	16 / 0,35	16 / 0,35 Pol
16 / 0,35	40 / 0,90 Korr*	40 / 0,85	40 / 0,85 Pol
25 / 0,45		80 / 0,90	
40 / 0,65			
63 / 0,90 Korr.			
100 / 1,25 Oel	40 / 1,0 Oel	100 / 1,25	100 / 1,25 Pol
	63 / 1,4 Oel*	* diese Objektive werden in verschiedenen Fassungsvarianten auch für Spezialgeräte her- gestellt.	
	100 / 1,3 Oel		
	* in Vorbereitung		

wenn es unter Umständen näher am Objektiv als am Okular steht. Seine Wirkung ist ähnlich der, die bei schwachen Huygens-Okularen die vor deren Blende stehende Feldlinse hat. Es verkleinert das vom Objektiv erzeugte reelle Zwischenbild, so daß in der Okularblende eine größere Objektfäche erscheint. Durch entsprechende Dimensionierung läßt sich z. B. erreichen, daß in einer Okularblende, der – wie im früheren Beispiel – die Sehfeldzahl 16 zugeordnet ist,

ein objektives Gesichtsfeld abgebildet wird, dessen Durchmesser einer Sehfeldzahl 20 entspricht. Man kann dann die Sache auch so ausdrücken, daß dem Okularsystem, also dem Okular zusammen mit dem Zwischen- system, die Sehfeldzahl 20 zukommt. Natürlich wird auf diese Weise die Eigenvergrößerung des so gebildeten Okularsystems um den Faktor gesenkt, den das Zusatzsystem einführt. Wenn entsprechend unserer Forderung die Gesamtvergrößerung

gegenüber dem Ausgangsfall nicht geändert werden soll, muß das Okularsystem also so abgewandelt werden, daß seine Einzelvergrößerung insgesamt unverändert bleibt. Das heißt, es muß die Brennweite des über der Okularblende liegenden Okularteils so verkleinert werden, daß seine Luppenwirkung um den reziproken Faktor zunimmt, den das Zusatzsystem einführt.

Solche stärkeren Lupenteile erlauben nun zusätzlich noch eine relative Vergrößerung des Okularblendendurchmessers, wenigstens bis auf Werte, welche die Dimensionen der üblichen Tuben zulassen. Diese liegen bei 19 bis 20 mm. Ein Beispiel mag das verdeutlichen: Die Kombination Objektiv 10/0,25 mit einem Okular 10 x ($S' = 16$) bildet, wie wir sahen (Bild 1), ein Objektfeld von $S = \frac{S'}{M} = \frac{16}{10} = 1,6 \text{ mm } \phi$ ab. Die Betrachtungsvergrößerung ist $V_{\text{Mikr}} = 100 \times$. Der Sehwinkel, unter dem das Bildfeld erscheint, beträgt rund 36° . Wenn man ein Großfeldokular von $S' = 24$ wie in Bild 2 mit gleicher Einzelvergrößerung nehmen würde, könnte man ein Objektfeld von $S = \frac{S'}{M} = \frac{24}{10} = 2,4 \text{ mm } \phi$ mit der gleichen Vergröße- rung übersehen. Dadurch ändert sich nichts als der Sehwinkel, unter dem das Bildfeld erscheint. Er wächst auf ca. 53° an.

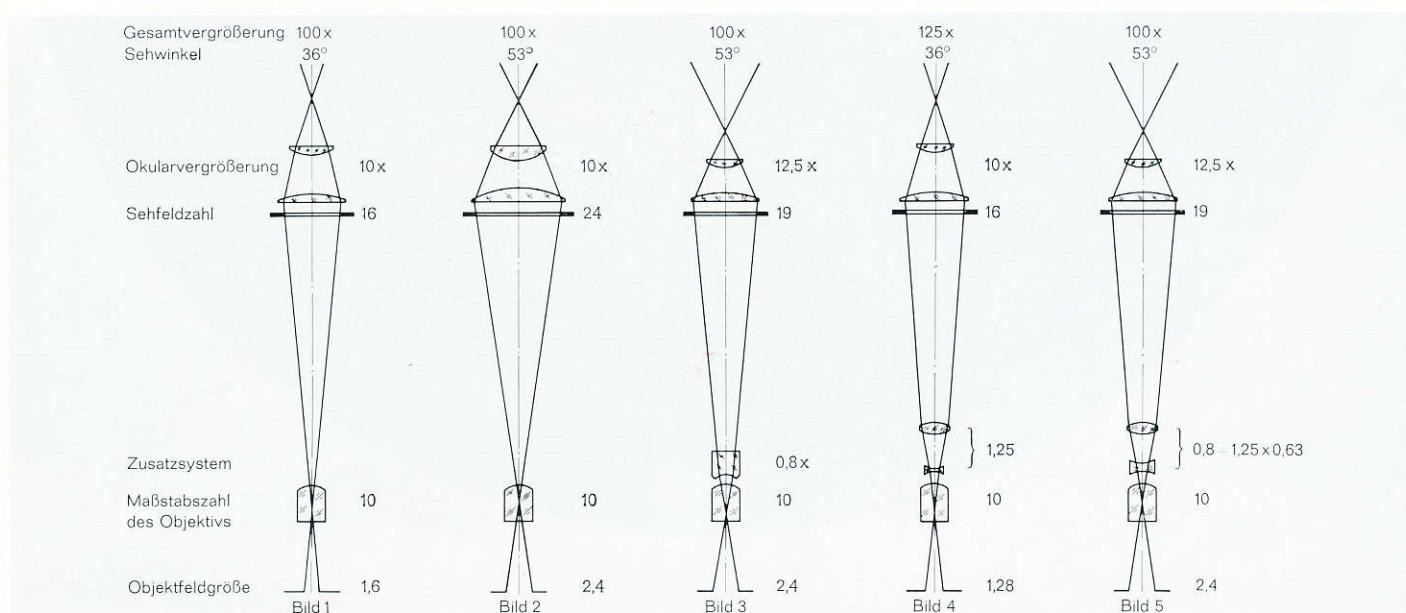


Bild 6: Aus 250 mm betrachtet, zeigt dieses Bild, wie dem Beobachter ein Objekt im Mikroskop mit einem Planachromat 16/0,32 bei Verwendung eines normalen Kpl-Okulars 10 x mit der Sehfeldzahl 16 erscheint.

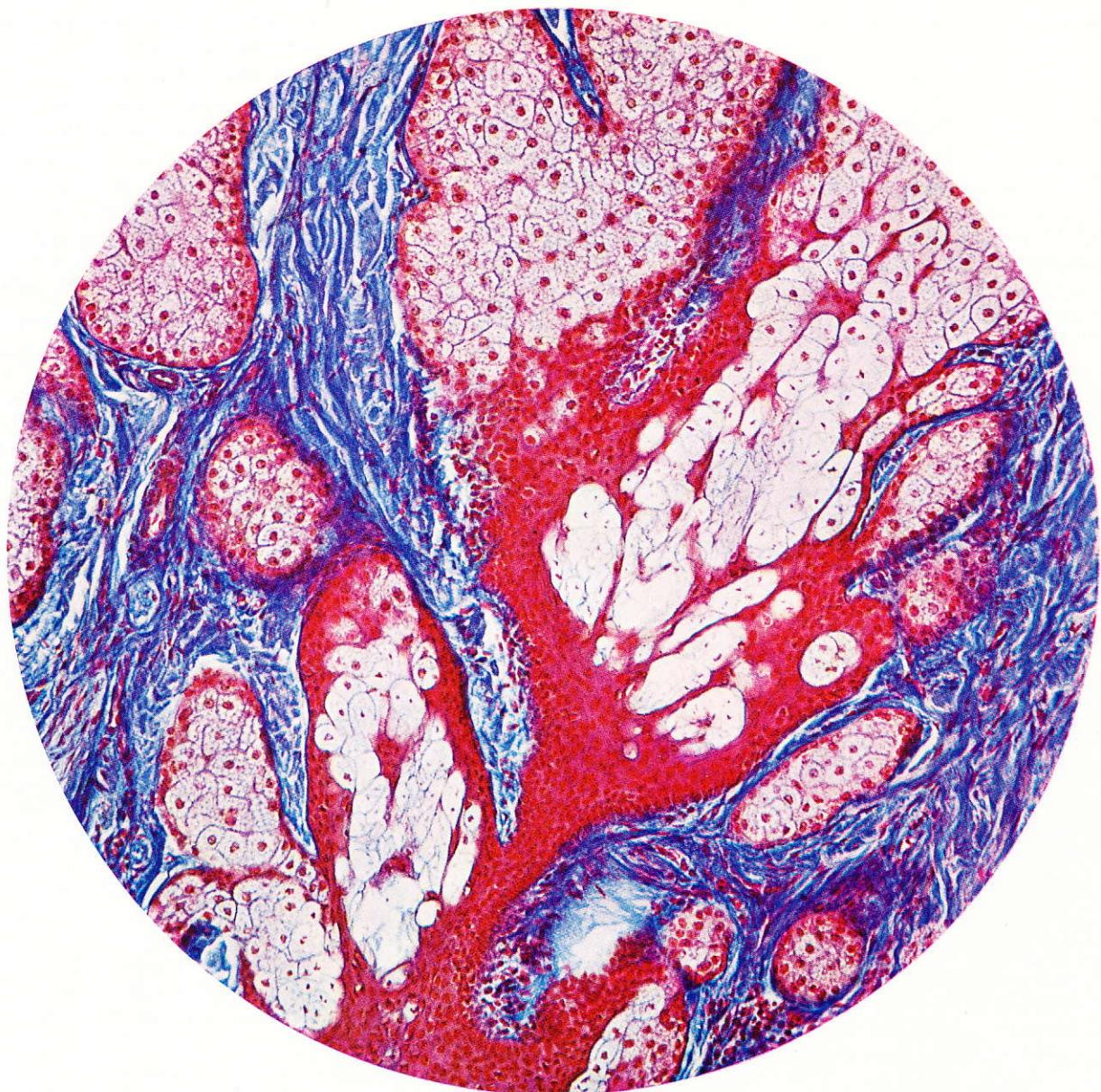
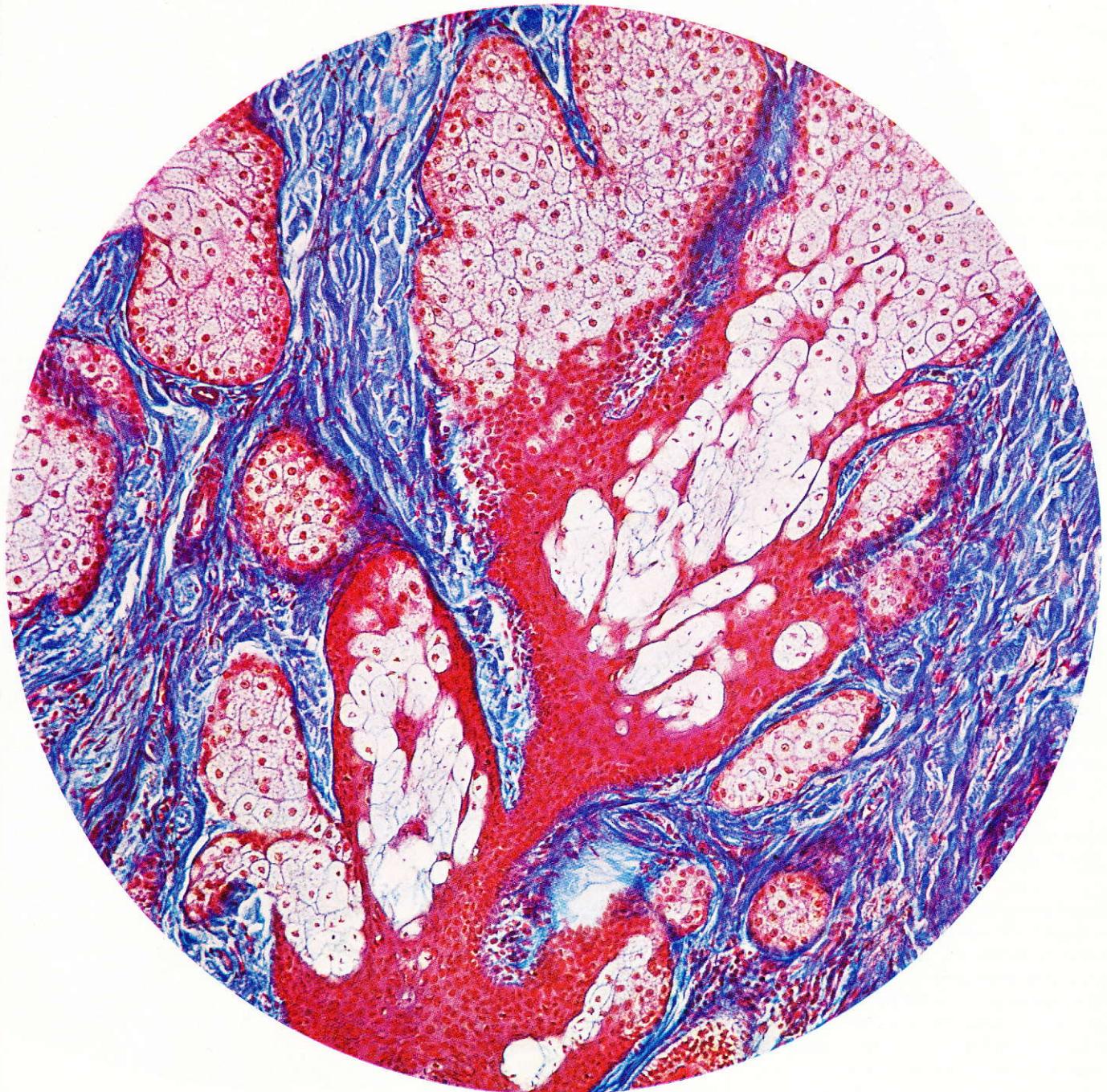


Bild 7: Aus 250 mm betrachtet, zeigt dieses Bild, wie der Beobachter das Objekt unter sonst gleichen Bedingungen mit einem Kpl-Weitwinkelokular mit der Sehfeldzahl 18 erblickt.



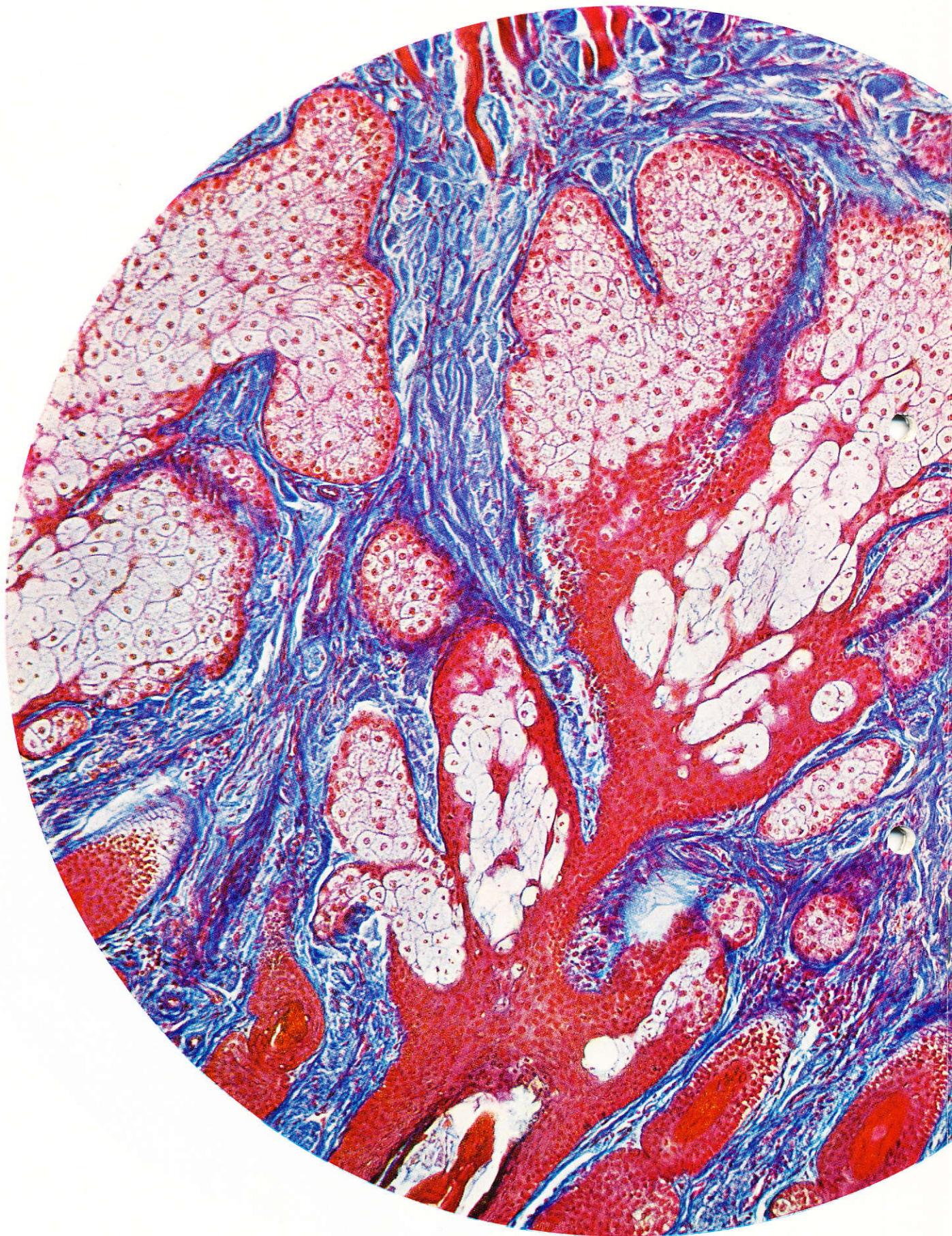
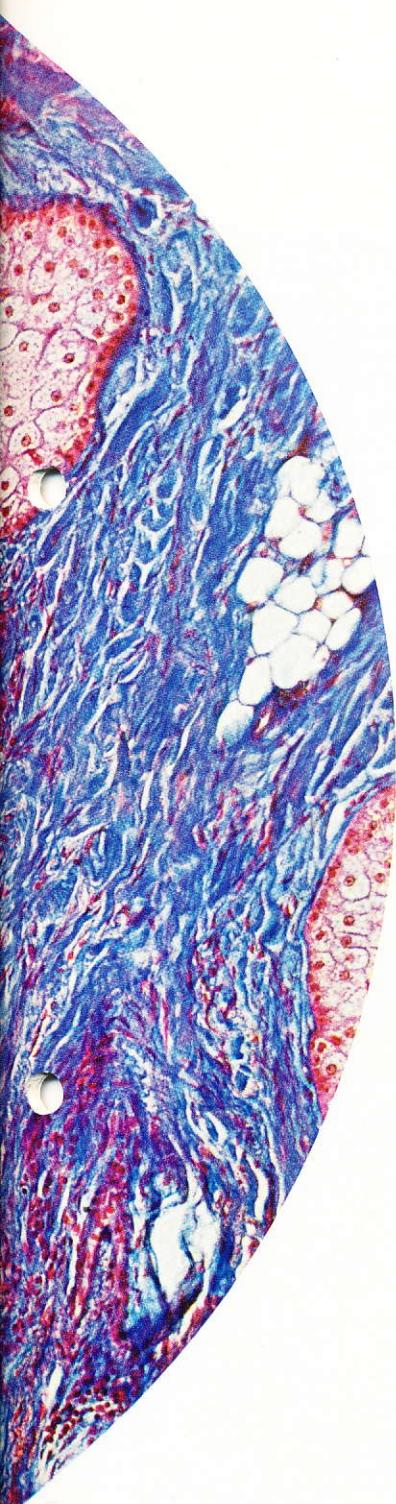


Bild 8: Aus 250 mm betrachtet, zeigt dieses Bild, wie der Beobachter das Objekt mit Hilfe des beschriebenen Zusatzsystems 0,8 x und einem Okular 12,5 x, gemeinsame Sehfeldzahl 24, sieht.



Bei dem von uns diskutierten Verfahren (Bild 3) verkleinert das Zwischensystem allein das vom Objektiv erzeugte Zwischenbild um den Faktor 0,8 x. Wenn die Endvergrößerung unverändert bleiben soll, muß die Lupenvergrößerung des benutzten Okulars um den reziproken Faktor zunehmen. Wir müssen also anstelle des 10fachen Okulars ein $\frac{10}{0,8} = 12,5$ faches benutzen, das zusätzlich noch eine Vergrößerung seiner Blende auf einen Durchmesser erhalten kann, der einer Sehfeldzahl 19 entspricht. Das Okularsystem im vorher definierten Sinn, also Okular + Zusatzsystem, erhält so die Einzelvergrößerung 10 x und eine Sehfeldzahl 24. Der Schwenkinkel, unter dem das Bildfeld erscheint, ist dann ebenfalls 53°. Man überblickt also auch so ein Objektfeld, das im Verhältnis 24²:16², d. h. 2,25 mal größer ist als bei der Benutzung normaler Okulare alleine.

Da es nach diesem Verfahren gelingt, durch verhältnismäßig einfache Zusatzteile auch alle vorhandenen Mikroskope auf eine Großfeldbeobachtung umzustellen, wird sich CARL ZEISS, Oberkochen, des zuletzt geschilderten Verfahrens bedienen. Es wurden für alle Stative des ZEISS-Mikroskopprogramms passende Zusatzteile geschaffen.

Bei den Standard-Typen wird es mehrere Ausführungsformen geben. Im einfachsten Fall wird das Zusatzsystem mit dem Faktor 0,8, das sich in einer zylindrischen Fassung befindet, von unten in ein dort für derartige Zwecke schon immer befindliches Gewinde in den Tubus geschraubt. Damit wird das Mikroskop für ständig auf Großfeldbeobachtung umgestellt. Ein Übergang auf die bisher übliche Beobachtung ist natürlich durch Entfernen des Systems möglich. Das ist aber immerhin etwas umständlich. Für Fälle, in denen ein häufigerer Wechsel zwischen beiden Beobachtungsarten erwünscht ist, wird das System in gleicher Weise wie der bekannte Vergrößerungswechsler der ZEISS-Mikroskope in diese eingesetzt. Mit ihm kann das Zusatzsystem beliebig rasch ein- oder ausgeschaltet werden. Der gleiche rasche Wechsel und darüber hinaus noch ein weitergehender Vergrößerungswechsel ist mit einem entsprechend abgeänderten „Optovar“ möglich, das anstelle der bisher üblichen Vergrößerungsstufen 1 x; 1,25 x;

1,6 x und 2 x die Stufen 0,8 x; 1 x; 1,25 x und 1,6 x enthält. Diese Umstellung der Stufen könnte sowohl durch Änderung der Wechsler-systeme als auch durch Ersatz des unteren Telangliedes durch ein entsprechend längerbrennweitiges erfolgen.

Bei den Großmikroskopen Universal, Photomikroskop und Ultraphot ist dieser letztere Weg vorgesehen (Bild 4 und 5). Bei ihnen befindet sich der untere, negative Teil des Telansystems im halbkugeligen Träger des Objektivwechslers. Mit ihm werden mit dem gesamten Optovarsystem die Faktoren 1,25 x; 1,6 x und 2 x ermöglicht. Wenn der Großfeld-Effekt erzielt werden soll, müssen diese auf 0,8 x; 1,0 x und 1,25 x herabgesetzt werden. Das geschieht durch Einbau eines negativen Telansystems passend geänderter Brennweite anstelle des normalen. Dadurch wird es bei den genannten Geräten möglich, nur durch Austausch des Objektivwechslers von normaler Beobachtung auf Großfeldbeobachtung überzugehen. Die auf dem Optovarsystem aufgravirten Faktoren brauchen nicht geändert zu werden. Sie werden ja auch nach wie vor für die normale Beobachtung gebraucht. Die richtige Berechnung der Endvergrößerung bei dem Großfeldwechsler wird gewährleistet, wenn dieser mit dem Faktor 0,63 x in die Rechnung eingesetzt wird. Man rechnet also:

Maßstabszahl des Objektivs x Wechslerfaktor x Optovarfaktor x Okularvergrößerung.

Als Okular sollte gemäß dem oben Gesagten in allen Fällen zur Erzielung des vollen Effekts eines der ZEISS Kpl-Weitwinkelokulare 10 x oder 12,5 x für Brillenträger benutzt werden.

Zur weiteren Veranschaulichung der vorstehenden Ausführungen mögen die Bilder 6 bis 8 dienen.

Bild 6 zeigt – aus 250 mm Entfernung betrachtet – wie dem Beobachter ein Objekt im Mikroskop mit einem Planachromat 16/0,32 bei Verwendung eines normalen Kpl-Okulars 10 x mit der Sehfeldzahl 16 erscheint. Bild 7 zeigt, wie er es unter sonst gleichen Bedingungen mit einem Kpl-Weitwinkelokular mit der Sehfeldzahl 18 erblickt und Bild 8 demonstriert, wie es mit Hilfe des beschriebenen Zusatzsystems 0,8 x und einem Okular 12,5 x, gemeinsame Sehfeldzahl 24, zu sehen ist.