

Methode: **Negative Projektive für die Mikrofotografie**

Literatur: s. Blatt 8

Anwendungsbereich:

Alle Mikroskope mit endlichem Strahlengang. Vorzugsweise PZO-Mikroskope, die Serien ZEISS-Standard, M 80 und M90 von MICROTHEK.

Bei der Mikrofotografie wird das vom Objektiv erzeugte reelle Zwischenbild, das sich je nach Fabrikat 10 bis 18 mm unterhalb des oberen Tubusrandes befindet, meistens mit einem positiven Projektionssystem (Okular, Foto-Okular, Projektiv) in die Filmebene eines Kleinbildkameragehäuses übertragen. Dabei können wegen der einzuhaltenden optischen Kameralänge manchmal recht hohe Aufbauten entstehen, die nicht nur das Fotografieren unbequem sondern auch das ganze System erschütterungsanfällig machen. Wenn keine Foto-Okulare oder Projektive mit niedriger Maßstabszahl vorhanden sind, entstehen unerwünscht hohe Bildübertragungsfaktoren. Nur wenn eine spezielle mikrofotografische Kamera bzw. Einrichtung mit einer entsprechend ausgelegten Optik ($f = 63$ bis 100 mm) zur Verfügung steht, sind die beschriebenen Nachteile der positiven Projektionssysteme ohne Bedeutung. Solche Einrichtungen sind relativ teuer, so daß von vielen Mikroskopikern die moderne Kleinbildkamera mit Zeitautomatik und TTL-Blitzmessung verwendet wird, die eine spezielle mikrofotografische Einrichtung durchaus ersetzen kann.

Mit negativ brechenden Projektionssystemen kann man bei beseitigtem Astigmatismus die Bildfeldwölbung und die chromatische Vergrößerungsdifferenz der Mikroskop-Objektive leichter kompensieren als das mit positiven Projektionssystemen möglich ist. Außerdem kann der ganze mikrofotografische Aufbau niedrig gehalten werden. Er ist dadurch weniger erschütterungsanfällig. Den Unterschied zwischen der Mikrofotografie mit einem positiven und einem negativen Projektionssystem zeigt Bild 1.

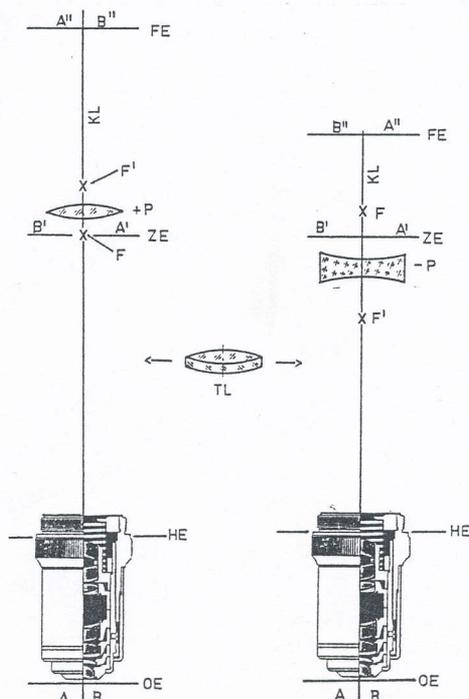


Bild 1:

- | | |
|--------|--|
| A/B | Präparat |
| OE | Objektebene |
| HE | Hinterere Brennebene des Objektivs |
| TL | Tubuslinse bei Unendlich-Mikroskopen |
| ZE | Ebene des reellen Zwischenbildes |
| +P | Projektiv oder Okular mit positiver Brennweite |
| -P | Projektiv mit negativer Brennweite |
| F | Objektseitiger Brennpunkt des Okulars |
| F' | Austrittspupille des Okulars oder Projektivs |
| KL | Optische Kameralänge |
| FE | Filmebene |
| A'B' | Reeles Zwischenbild des Objekts |
| A''B'' | Projektionsbild des Objekts in der Filmebene |

Bei den positiven Systemen (Okular, Foto-Okular, Projektiv) befindet sich die Ebene des reellen Zwischenbildes ZE in der Ebene des objektseitigen Brennpunktes F unterhalb des Linsensystems des Okulars (z.B. beim Ramsden-Typ). Seine Austrittspupille F' liegt einige mm oberhalb der Augenlinse, um bei der visuellen Beobachtung des mikroskopischen Bildes einen bequemen Abstand der Augenpupille zu haben. Bei speziellen Foto-Okularen und Projektiven braucht auf die Höhe der Austrittspupille keine Rücksicht genommen zu werden. Trotzdem befindet sich die Austrittspupille auch hier immer oberhalb des Linsensystems. Bei negativen Projektiven verhält es sich genau umgekehrt. Die Ebene des reellen Zwischenbildes ZE liegt oberhalb des Linsensystems, die Austrittspupille F' in seinem Innern. Deshalb sind diese Systeme für die direkte mikroskopische Beobachtung ungeeignet. Die optische Kameralänge KL, die beim positiven Projektionssystem vorgegeben ist (z.B. 125 mm) und eingehalten werden muß, kann beim negativen Projektiv recht kurz sein. Deshalb ist hier der ganze mikrofotografische Aufbau gedrungen und wenig erschütterungsanfällig.

Als erste Firma brachte CARL ZEISS aufgrund der Arbeiten von BOEGEHOLD und KÖHLER (1) negative Projektionssysteme heraus. Sie wurden nach dem griechischen Wort für Ebenen als Homale bezeichnet. Nach diesem Vorbild haben dann auch einige andere Firmen, z.B. LEITZ, BAUSCH & LOMB und PZO negative Projektive ausschließlich für die Mikrofotografie gebaut. Der Grund für diese Entwicklung war die Tatsache, daß man mit diesen negativen Systemen die Bildfeldwölbung und chromatische Vergrößerungsdifferenz der Achromate, Fluorite und Apochromate weitgehend beseitigen konnte. Als es BOEGEHOLD 1938 schließlich gelang, die Bildfeldwölbung im Objektiv selbst zu beseitigen und ZEISS Planachromate bauen konnte, verloren die Homale und die davon abgeleiteten Konstruktionen allmählich an Bedeutung.

Bei PZO mußte man nach dem zweiten Weltkrieg davon ausgehen, daß zukünftig noch viele Mikroskopiker aus Kostengründen mit Achromaten und anderen ungeebneten Objektiven fotografieren würden. Deshalb hat man dort die Entwicklung der negativen Projektive fortgeführt und versucht, die sphärischen Fehler und die chromatische Vergrößerungsdifferenz der Objektive im negativen Projektiv zu korrigieren. Die Weitwinkel Projektive 8xPS, 12,5xPS und 16xPS gibt es schon länger als 30 Jahre (PS steht hier für Projection Screen). Sie wurden für heute nicht mehr produzierte mikrofotografische Aufsetzkameras und Aufnahmen auf Fotoplatten hergestellt. Als später die Entwicklung des Vario-Fototubus B-4 abgeschlossen war, stellte man fest, daß sich diese Weitwinkel-Projektive, besonders das 8xPS, sehr gut in Kombination mit dem extrem kurzen Fotostutzen B-41 an diesem schaltbaren trinokularen Fototubus verwenden ließen. Die Bildübertragungsfaktoren sind sehr niedrig, wie die nachfolgende Tabelle 1 zeigt. Je niedriger die Bildübertragungsfaktoren sind, um so schärfer ist das Bild.

Vario-Tubus mit kurzem Kamera-Anschlußstutzen
und Weitwinkel-Projektiven der Reihe PS

Best.-Nr.	Projektiv	Bildübertragungsfaktor UF in die Filmebene (24 x 36 mm)
54.001	8xPS	3,9
54.002	12,5xPS	4,6
54.003	16xPS	5,6

Tabelle 1

Für den Vario-Fototubus und den Mikrofotografischen Aufsatz NF-M 1 wurden in der Folgezeit weitere negative Projektive entwickelt. Sie werden am Vario-Fototubus mit dem Fotostutzen T 3 und dem Kamera-Adapter B-421 verwendet. Wenn das Mikrozwichenstück L zwischen Fotostutzen T 3 und den Kamera-Adapter B-421 geschaltet wird, verfügt man über höhere Bildübertragungsfaktoren, wie es bei sehr kleinen Objekten wünschenswert sein kann. Die Projektive 4,5x, 6x und 7,5x (Best.Nr. 54.004 bis 54.006) kompensieren die Fehler der Achromate und dürfen nicht mit Plan-Objektiven kombiniert werden. Für Plan-Objektive aller Art sind die Projektive 4xP und 7xP bestimmt. Sie erhalten die Bildfeldebnung dieser Objektive und kompensieren ihre chromatische Vergrößerungsdifferenz. Den beiden nachfolgenden Tabellen 1 und 2 können die Bildübertragungsfaktoren entnommen werden. Bild 2 zeigt den Aufbau des Vario-Fototubus schematisch.

Vario-Tubus mit Fototubus T 3 und Mikrozwichenstück P

Best.-Nr.	Projektiv	Bildübertragungsfaktor UF in die Filmebene (24x36 mm)
54.004	4,5x*	4,2
54.005	6x*	5,1
54.006	7,5x*	6,3
54.007	4xP**	3,3
54.008	7xP**	5,6

* Für Achromate

**Für Plan-Objektive

Tabelle 2

Vario-Tubus mit Fototubus T 3, Mikrozwischenstück P
und zusätzlichem Zwischenstück L

Best.-Nr.	Projektiv	Bildübertragungsfaktor ÜF in die Filmebene (24x36 mm)
54.004	4,5x*	6,7
54.005	6x*	8,2
54.006	7,5x*	10,3
54.007	4xP**	5,1
54.008	7xP**	9,0

* Für Achromate

Tabelle 3

**Für Plan-Objektive

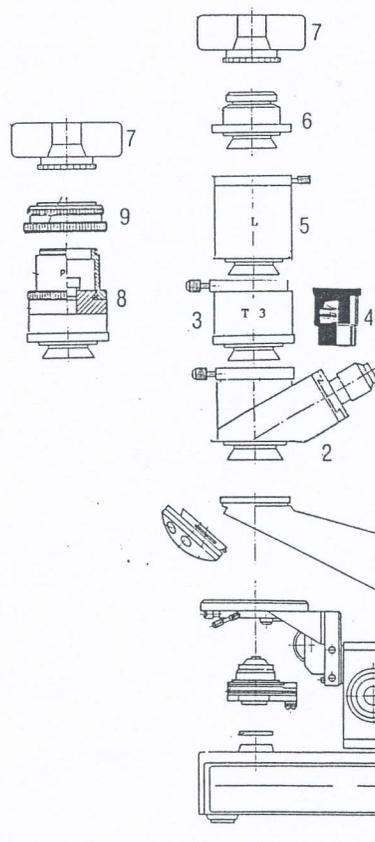


Bild 2

- 1 Stativarm
- 2 Vario-Fototubus
- 3 Fotostutzen T 3
- 4 negatives Projektiv
- 5 Mikrozwischenstück L
- 6 Kamera-Adapter
- 7 Kleinbild-Kameragehäuse
- 8 Kurzer Fotostutzen für negative Weitwinkel-Projektive PS
- 9 Kamera-Adapter

Vario - Tubus (B - 4) für STUDAR, STUDAR - lab und BIOLAR.
Auch für Zeiss - Standard geeignet.

Der Mikrofotografische Aufsatz **NF-M 1** gleicht im Prinzip einer mikrofotografischen Aufsetzkamera, wenn er mit einem Kleinbildkameragehäuse kombiniert wird. Er wird jedoch nicht an einem Fototubus befestigt, sondern mit seiner Ringschwalbe (42,3 mm Durchmesser) direkt in die Ringschwalbenfassung des Stativarms aller PZO-Mikroskope, der Mikroskop-Serie ZEISS-Standard und der Serie J-90 von MICROTHEK eingesetzt. Bild 3 zeigt den Aufbau dieser mikrofotografischen Einrichtung. Die oben beschriebenen negativen Projektive werden in den Fotostützen T 2 eingesetzt.

Mit dem Einstellokular, das eine Formatbegrenzungsplatte enthält, kann da sehr helle Bild des Präparates beobachtet werden. Die erreichbaren Bildübertragungsfaktoren können der Tabelle 4 entnommen werden:

Mikrofotografische Einrichtung NF - M 1 für STUDAR, STUDAR-lab und BIOLAR. Auch für Zeiss - Standard geeignet.

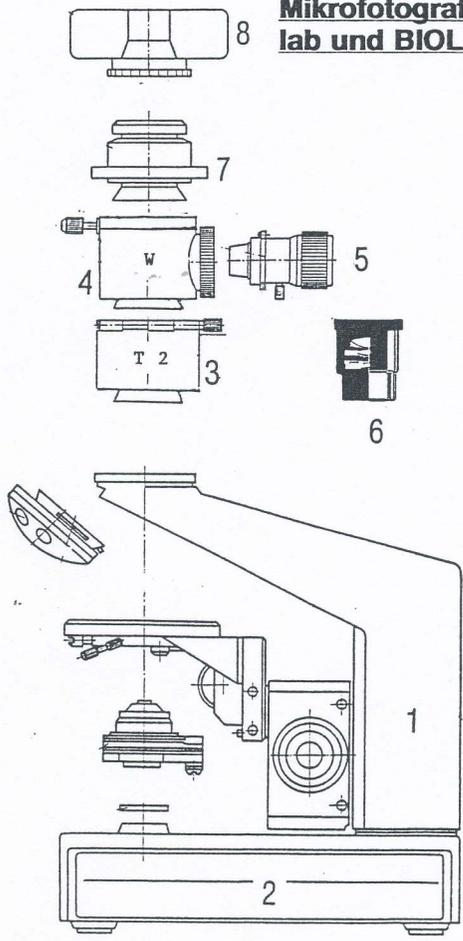


Bild 3

- 1 Stativarm
- 2 Stativfuß
- 3 Fotostützen T 2
- 4 Strahlenteiler
- 5 Einstellokular
- 6 negatives Projektiv
- 7 Kamera-Adapter
- 8 Kleinbildkameragehäuse

Tabelle 4

Best.-Nr.	Projektiv	Bildübertragungsfaktor in die Filmebene (24x36 mm)
54.004	4,5x*	5,0
54.005	6x*	6,7
54.006	7,5x*	8,2
54.007	4xP**	4,0
54.008	7xP**	7,2

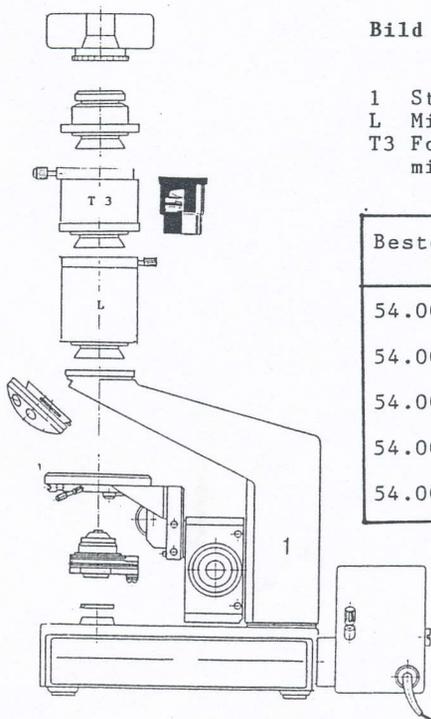
* Für Achromate.

**Für Plan-Objektive.

**Mikrofotografie mit den negativen Projektiven
ohne Vario-Fototubus bzw. Mikrofotografischen Aufsatz NF-M 1**

Häufig wird die Frage gestellt, ob für die Arbeit mit den negativen Projektiven unbedingt der Vario-Fototubus bzw. das Mikrofotografische Gerät NF-M 1 erforderlich ist. Wie früher beim geraden Fototubus mit Mikroz Zwischenstück und aufgesetztem Kleinbildkameragehäuse kann man in ähnlicher Weise auch die negativen Projektive verwenden und damit sehr gute Resultate erzielen. Man muß nur darauf achten, daß sich das negative Projektiv unterhalb des vom Objektiv erzeugten reellen Zwischenbildes befindet. Wenn man den erforderlichen kurzen Fotostutzen und das Mikroz Zwischenstück für die Kamera nicht selbst herstellen will, läßt sich das am einfachsten durch die Kombination des Mikroz Zwischenstückes L mit dem Fotostutzen T 3 (Best.Nr. B-42) und dem Kamera-Adapter B-421 realisieren.

In die Ringschwalbenfassung des Stativarms der PZO-Mikroskope, der Mikroskope ZEISS-Standard oder der Serie J 90 von MICROTHEK wird zuerst das Mikroz Zwischenstück L eingesetzt, dann in dessen Ringschwalbenfassung der Fotostutzen T 3, der das Projektiv aufnimmt. In den Fotostutzen T 3 setzt man dann die Ringschwalbe des Kamera-Adapters B-421 mit dem angeschlossenen Kameragehäuse ein. Bild 4 zeigt die beschriebene Kombination. Da alle Teile mit Ringschwalben verbunden sind, ist dieser Aufbau sehr kompakt. Der nachfolgenden Tabelle 5 können die recht niedrigen Bildübertragungsfaktoren entnommen werden, die mit den einzelnen Projektiven zu erzielen sind.



**Bild 4: Verwendung der negativen PZO-Projektive
ohne Vario-Fototubus und ohne MNF-1**

- 1 Stativarm
- L Mikroz Zwischenstück L
- T3 Fotostutzen T3 für negative Projektive
mit Kamera-Adapter und Kleinbildkameragehäuse

Bestell-Nr.	Projektiv	Bildübertragungsfaktor ÜF in die Filmebene (24x36 mm)
54.004	4,5x*	3,8
54.005	6x*	4,7
54.006	7,5*	5,8
54.007	4xP**	3,6
54.008	7xP	5,0

* für Achromate
** für Plan-Objektive

Der Telekonverter als negatives Projektionssystem in der Mikrofotografie

Der Einsatz des Telekonverters als Projektionssystem bei Aufnahmen mit dem Stereomikroskop wurde von GÖKE bereits 1988 beschrieben (2). Mit diesem negativen Linsensystem wird normalerweise die Brennweite von Foto-Objektiven verlängert. Ein Telekonverter mit dem Faktor 2 überträgt auch das reelle Zwischenbild mit dem Bildübertragungsfaktor ~ 2 in die Filmebene der Kamera. Ohne eine mechanische Anpassung des Telekonverters kommt man allerdings nicht zum Ziel. Er muß objektseitig mit einer Ringschwalbe versehen werden, die man sich von einem Mechaniker drehen lassen kann. Der kameraseitige Anschluß ist von der Art des Kameragehäuses abhängig und meistens vorhanden. Zunächst setzt man das beschriebene Mikrozischenstück L in die Ringschwalbenfassung des Stativarms ein und in dessen Fassung den modifizierten Telekonverter mit dem Kameragehäuse. Die Kombination zeigt Bild 5.

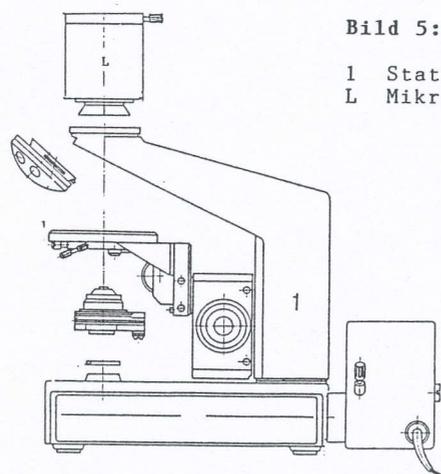
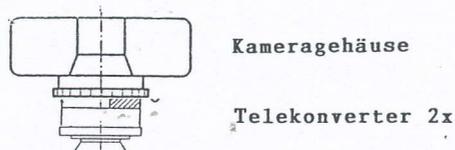


Bild 5: Verwendung eines Telekonverters 2x als Projektiv

- 1 Stativarm
- L Mikrozischenstück L

Der Telekonverter kann in ähnlicher Weise auch am Vario-Fototubus B-4 verwendet werden. Man setzt ihn mit oder ohne Mikrozischenstück L in dessen Ringschwalbenfassung ein. Je nach Konstruktion des Konverters ist ein leichtes nachfokussieren der Bildschärfe erforderlich. Der Bildübertragungsfaktor beträgt etwa 3, wobei eine mehr oder weniger starke Vignettierung der Bildecken in Kauf genommen werden muß. Deshalb ist die Methode ohne den Vario-Fototubus vorzuziehen.

Da ein Telekonverter die Fehler der Objektive nicht oder nur zufällig kompensiert, sollten die verwendeten Mikroskop-Objektive von guter Qualität sein (Planachromate, CF-Objektive u.a.). Es ist jedoch erstaunlich, daß auch mit modernen Achromaten, besonders mit solchen, deren Bildfeldebnung erweitert wurde, gute Resultate erzielt werden können.

Vorteilhaft ist jedoch die Kombination des Telekonverters mit der Videokamera am Vario-Fototubus, weil kaum ein anderes Projektionssystem so niedrige Bildübertragungsfaktoren bewirkt. Beim Vario-Fototubus hat man drei Möglichkeiten der Adaption einer Videokamera. Man kann das reelle Zwischenbild direkt in die Ebene des CCD-Chips legen. Schaltet man kurz oberhalb des Zwischenbildes eine positive achromatische Linse ($f = 63 \text{ mm}$) ein, so wird das Bild auf dem Chip um etwa 30 % verkleinert und somit auf dem Monitor ein größeres Objektfeld dargestellt. Wird jedoch der Telekonverter verwendet, so erscheint das Bild um den Faktor 2 auf CCD-Chip und Monitor vergrößert, ein Wert, der nur in Ausnahmefällen mit stärkeren Projektiven überschritten werden sollte.

Literatur:

1. BOEGEHOLD, H. u. A. KÖHLER: Das Homal, ein System, welches das mikrographische Bild ebnet. Z. wiss. Mikrosk. 39, 249 -262 (1922).
2. GÖKE, G.: Ein Foto-Aufsatz mit negativem Projektionssystem für Stereomikroskope. MIKROKOSMOS 77, 26 -30 (1988).
3. GÖKE, G.: Ein Vario-Tubus mit negativem Projektionssystem. MIKROKOSMOS 76, 250 - 254 (1987).
4. GÖKE, G.: Projektionssysteme mit positiver und negativer Brennweite für die Mikrofotografie und Videomikroskopie. Arbeitsmappe "4. Internationale Mikroskopie-Tage in Hagen". Hagen 1992.
5. GÖKE, G.: Moderne Methoden der Lichtmikroskopie. Franckh-Stuttgart 1988.
6. PLUTA, M.: Advanced Light Microscopy. Vol.1: Warszawa 1988. Vol. 2: Warszawa 1988.