



Mikrofotografie

Photoadventure 2024 10.11.2024

Gerhard Zimmert, Naturfoto-Zimmert

Gerhard Zimmert, Vorstellung

- ➔ Meine Liebe zur Fotografie besteht seit über 45 Jahren, seit mehr als 30 Jahren vermittele ich mein Wissen und meine Erfahrungen in Seminaren und Workshops.
- ➔ Autor von 5 Fachbüchern und unzähligen Fachartikeln
- ➔ Mikrofotografie seit 1990, ab 2003 mit den Möglichkeiten der Digitalfotografie ein echter Quantensprung.



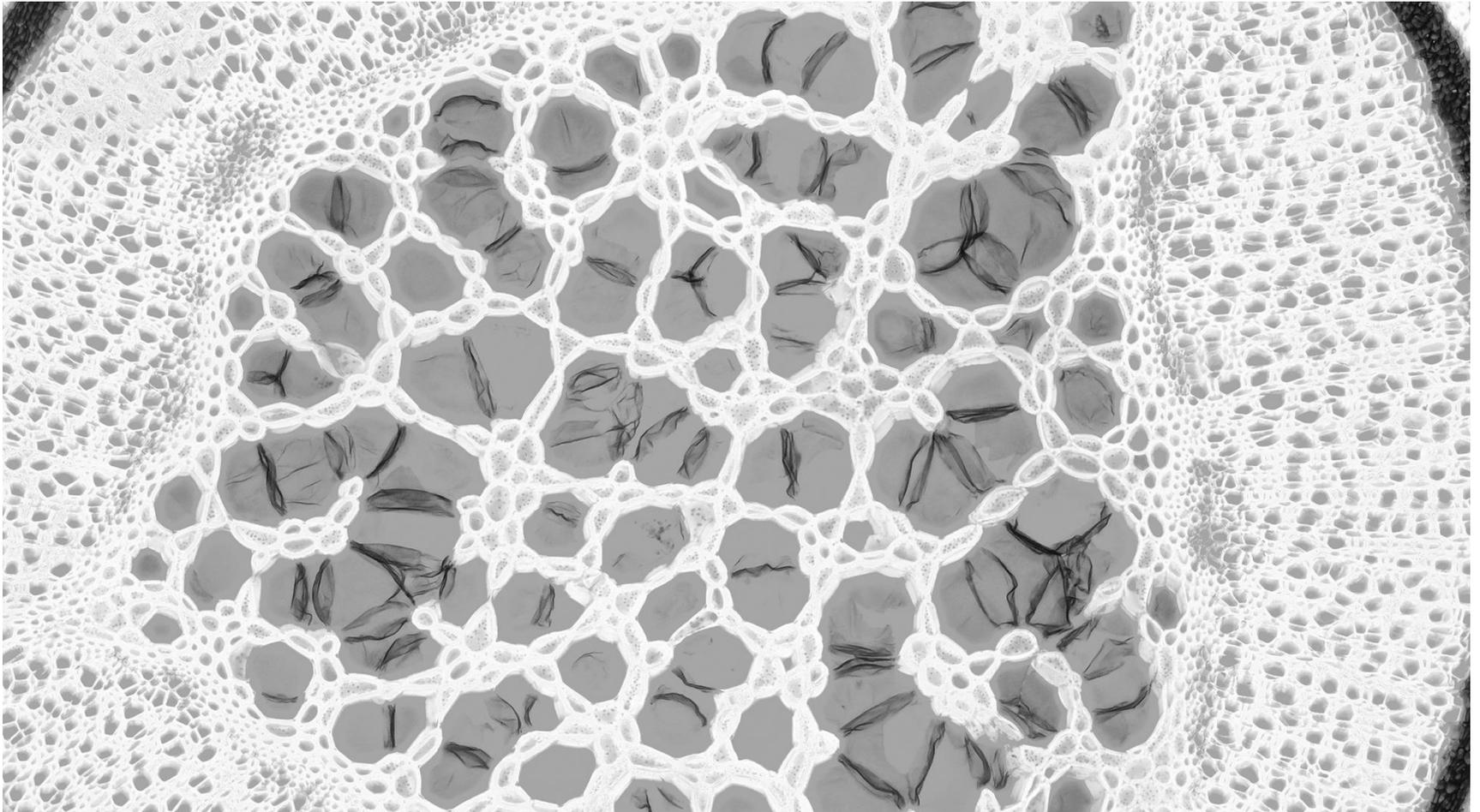
Einleitung

Die Mikrofotografie ist für mich eine logische Erweiterung der Makrofotografie. Wem der Abbildungsmaßstab von 1 : 1 nicht reicht und wer nach mehr strebt, ist am besten Weg in Richtung Mikrofotografie.



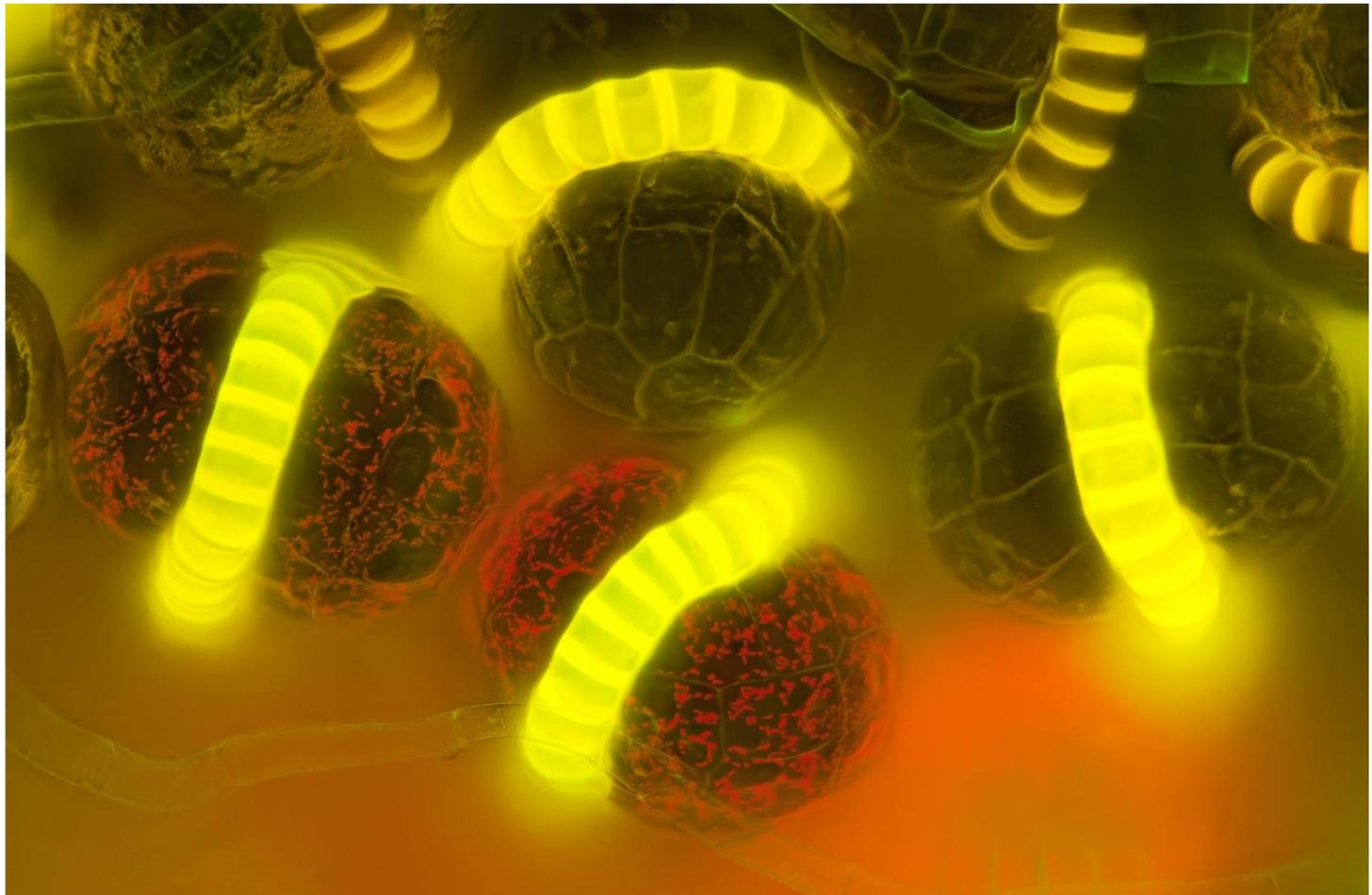
© Gerhard

Sumpfporst



Sporangien der Mauerrraute (Farn)

Autofluoreszenz
Aufnahme,
gezeigt
werden die
aktiven
Zellen (rot)



Abbildungsmaßstab

Der Abbildungsmaßstab gibt das Verhältnis zwischen der natürlichen Größe des Objekts und dessen Abbildungsgröße am Sensor (bzw. Film) an.

1 : 1 bedeutet, dass die natürliche Größe der Abbildungsgröße am Sensor entspricht (z. B. ein Objekt ist auf beiden 20 mm hoch). Die erste Zahl steht für den Sensor, die zweite für das Objekt, dazwischen steht der Doppelpunkt.

2 : 1 bedeutet, das Objekt wird doppelt so groß am Sensor abgebildet als es eigentlich ist;

1 : 2 bedeutet, das Objekt wird halb so groß abgebildet, als es in natura ist.

Was unterscheidet Makro- von Mikrofotografie?

In der Makrofotografie setze ich ein Makroobjektiv, Zwischenringe, Vergrößerungslinsen, usw. ein, um dem Objekt nahe zu rücken. Ich habe eine **einfache Vergrößerung**, die durch die Einstellung des Objektivs oder dessen Auszugsverlängerung zum Sensor erreicht wird.

In der Mikrofotografie wird überwiegend durch ein Mikroskop fotografiert. Hier setzt sich die **Vergrößerung** aber **aus mehreren Teilen** zusammen. Dem Mikroskop-Objektiv und dem Okular oder dem Projektiv plus dem Tubus-Faktor.

Beispiel: wenn das Objektiv 10x und das Okular 10x hat, ergibt sich $10 * 10 = 100$ fache Vergrößerung, wie viele Milli- oder Mikrometer dabei abgebildet werden, wird mit einem Objektmikrometer messtechnisch ermittelt (ein Lineal mit Skala).

Die Beleuchtungsrichtung

- In der Makrofotografie wird das Objekt überwiegend im Auflicht beleuchtet, Seitenlicht und Streiflicht kommen ebenfalls zum Einsatz. Nur wenige Objekte werden im Durchlicht (Gegenlicht) fotografiert.
- In der **Auflicht**-Mikrofotografie ist das genauso. Licht wird in den Strahlengang eingespiegelt und durch das Objektiv zum Objekt geleitet oder seitlich zum Objekt geführt.
- Aber, der Großteil der Mikrofotografien entstehen anders. Sie entstehen im **Durchlicht**. Das Licht scheint also durch das Objekt in Richtung Kamera.

Welche Mikroskope gibt es?

- Stereo-Mikroskope
- Auflicht-Mikroskop
- Durchlicht-Mikroskop
- Polarisationsmikroskop
- Mess-Mikroskop
- Taschen-Mikroskop
- Inverses Mikroskop
- ...

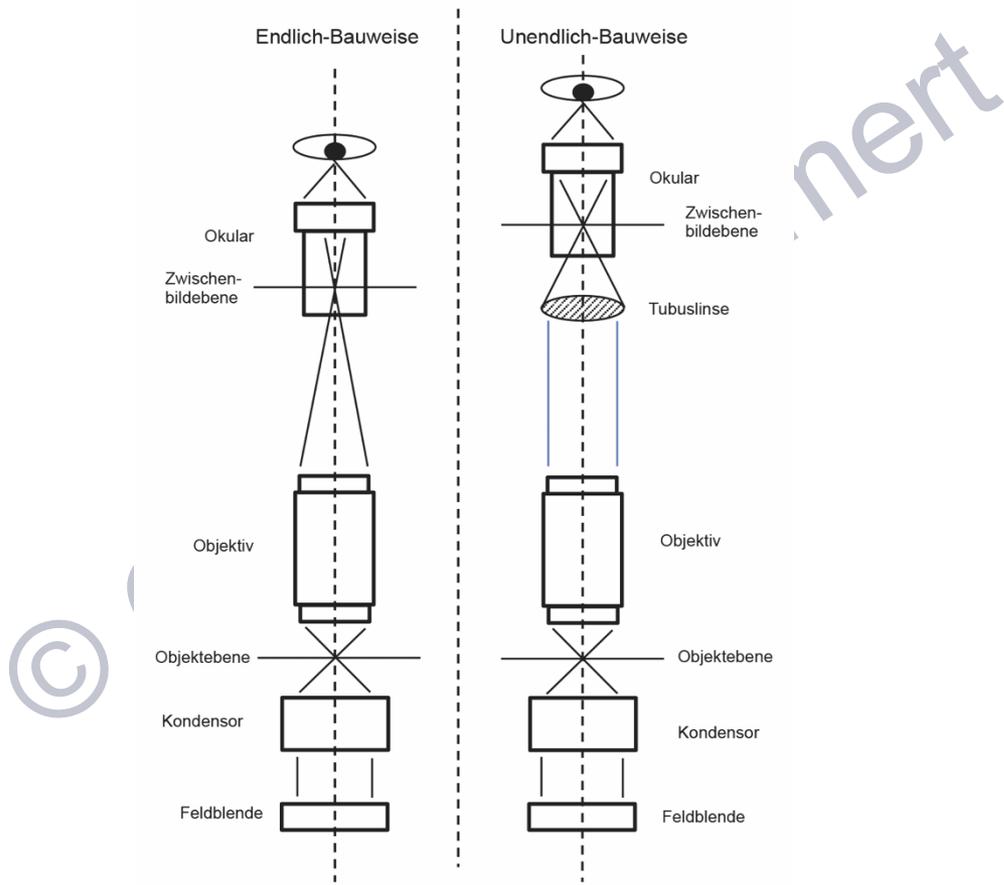
Unendlich/endlich Mikroskop-System

Da es unterschiedliche Mikroskope am Markt gibt und sich diese über mehrere Jahrhunderte weiterentwickelt haben, gibt es unterschiedliche Konstruktionen und Entwicklungen.

- Aktuelle Mikroskope entsprechen dem sogenannten „Unendlich-Typ“. Das hat Qualitätsgründe und bedeutet eine einfachere Ausbaufähigkeit. So kann z.B. eine Auflicht-Einrichtung beim Unendlich-Typ einfach eingesetzt werden, ohne Klimmzüge der Konstruktion zu betreiben.
- Wird bei einem „Endlich-Typ“ eine Auflicht-Einheit eingesetzt, muss ein optischer Trick angewendet werden. Dieser Trick (Telan-Linse) hat eine Eigenvergrößerung.
- Vertreter des „Endlich-Typs“ können selbstverständlich auch für die Mikrofotografie eingesetzt werden. Sie sind kostengünstiger auf dem Gebrauchtmart erhältlich.

Der zusätzliche Vergrößerungsfaktor (Telan-Linse) beträgt pro eingesetzter Einheit, meist 1,25. Das hat zur Konsequenz, dass – bleiben wir beim vorherigen Beispiel – die Vergrößerung das 125fach beträgt ($10 * 10 = 100 * 1,25 = 125$). Ob das ein Vor- oder Nachteil ist, hängt vom Anwendungsfall ab. Fotografiere ich größere Objekte kann das dazu führen, dass ich das Objekt nicht mehr auf einmal abbilden kann und ein Panoramabild fotografieren muss.

Der Strahlengang im Vergleich

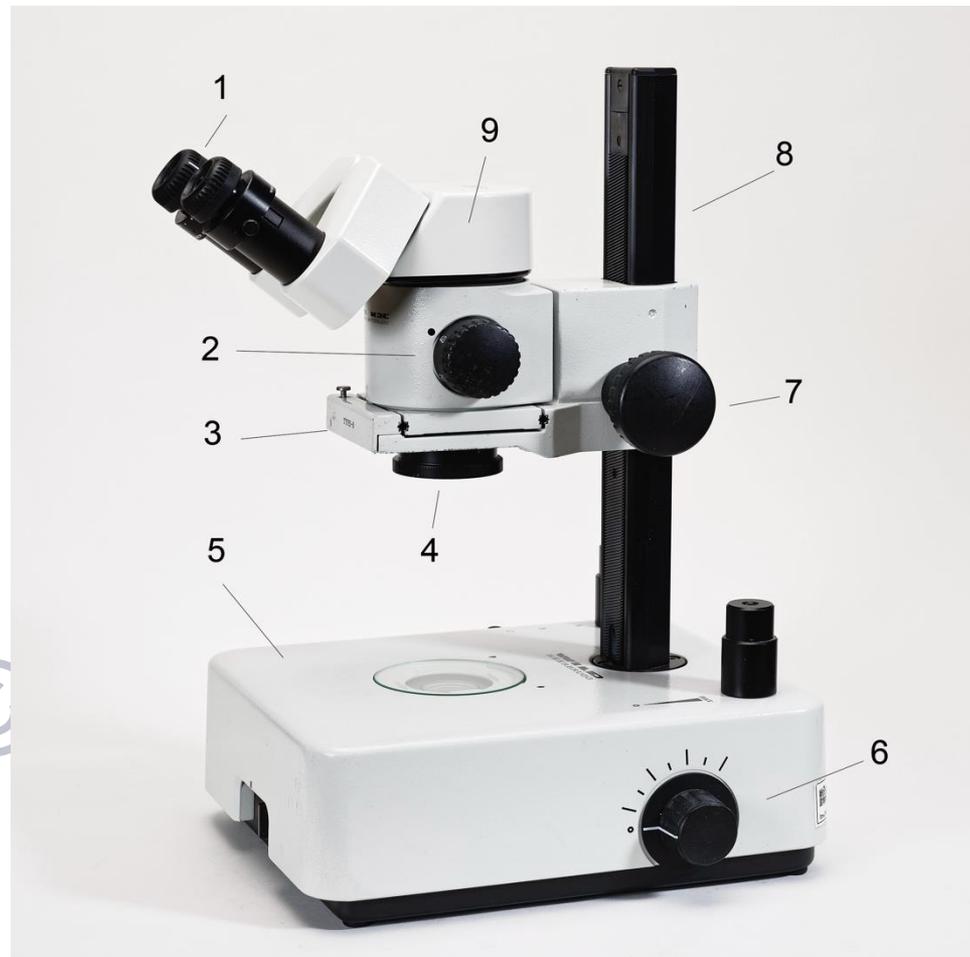


ner

Stereo-Mikroskop

- Es entsteht ein dreidimensionales Bild. Es gibt zwei Betrachtungs-Strahlengänge, die durch ihre Positionierung zueinander diesen Stereoeffekt entstehen lassen.
- Die Mehrheit dieser Stereo-Mikroskope ist nur für die Betrachtung gedacht und für die Fotografie nicht wirklich geeignet.
- Es gibt im professionellen Bereich natürlich Stereo-Mikroskope, die über eine eigene Fotografie-Stellung verfügen. Dabei wird ein Strahlengang „gerade“ gerückt und durch diesen in der Lotrechten fotografiert.
- Kinder können, mit ihrem noch nicht vollständig ausgebildeten Sehvermögen, gut mit einem Stereo-Mikroskop umgehen (mit einem Lichtmikroskop nicht, erst ab 12 bis 14 Jahren funktioniert das auch für Kinder).
- Der Nachteil ist das deutlich geringere Auflösungsvermögen der Stereo-Mikroskope.
- Sie sind aber für die Präparation und Qualitätskontrolle unverzichtbar.

Stereo-Mikroskop



Auflicht-Mikroskop

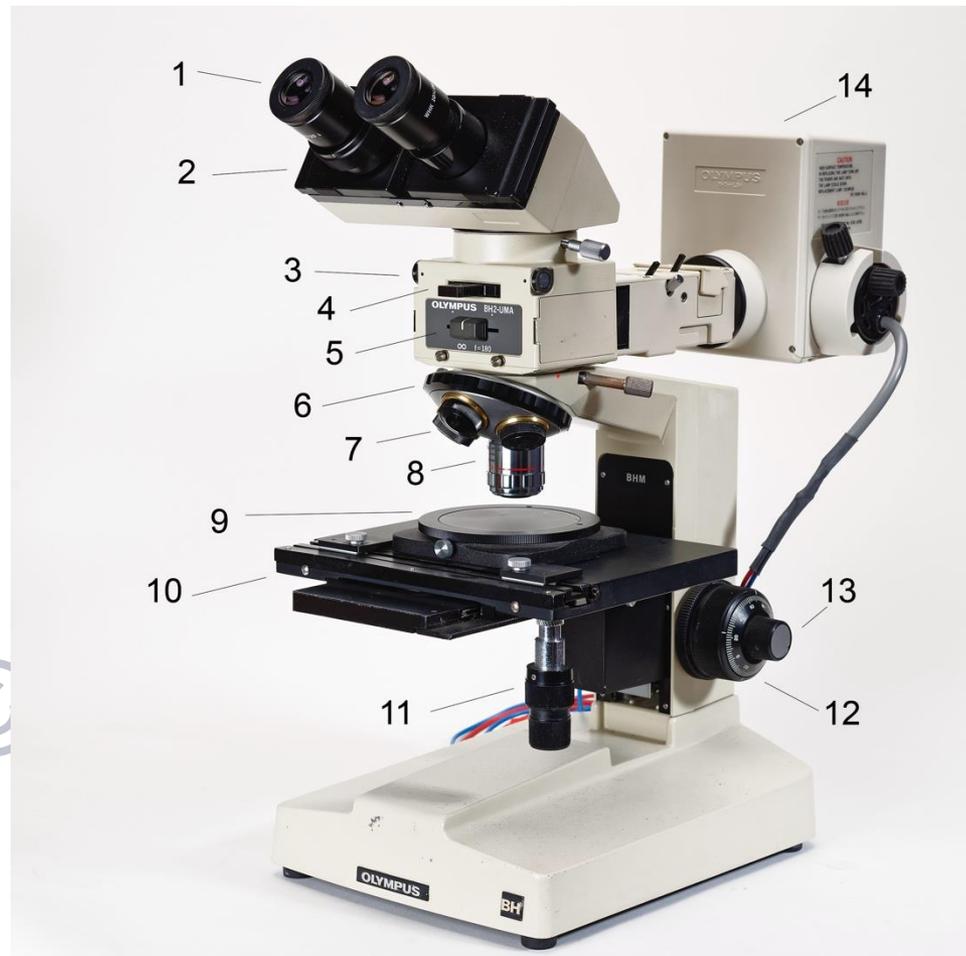
Auch wenn das Auflicht-Mikroskop, das für Makro-FotografInnen naheliegendste ist, wird es kaum verwendet. Bei mir sind es weniger als 10 %. Das ändert nichts daran, dass ein Neueinsteiger, der aus der Makrofotografie kommt, sich damit am schnellsten einarbeiten kann.

- Betrachtet werden nicht durchscheinende Objekte, Insektenaugen, Oberflächen (z. B. metallische), makroskopische Holz- oder Blattstrukturen, Sternensand, usw.

Wir unterscheiden fünf Beleuchtungsverfahren

1. Hellfeld: sehr schwer zu beherrschen. Das Licht wird dabei von oben durch das Objektiv geführt und das reflektierte Bild wird am Sensor aufgenommen.
2. Dunkelfeld: das am meisten eingesetzte Verfahren. Das Licht wird dabei am Objektiv vorbeigeführt und mittels eines umlaufenden Prismas in die Schärfenebene gelenkt.
3. Seitliche Beleuchtung mittels externer Lichtquellen, meist Lichtleiter
4. Polarisiertes Licht
5. DIK-Auflicht, um Strukturanten besser hervorheben zu können.

Auflicht-Mikroskop



Blaumohn (Samen)

Aufgenommen im
Dunkelfeld

Das Bild besteht aus
mehreren Bilderstapeln
und wurde zum
Panorama verrechnet.



Schwalbenschwanz Flügelschuppen

Aufgenommen im
Hellfeld

Das Bild besteht aus
mehreren Bilderstapeln
und wurde zum
Panorama verrechnet.

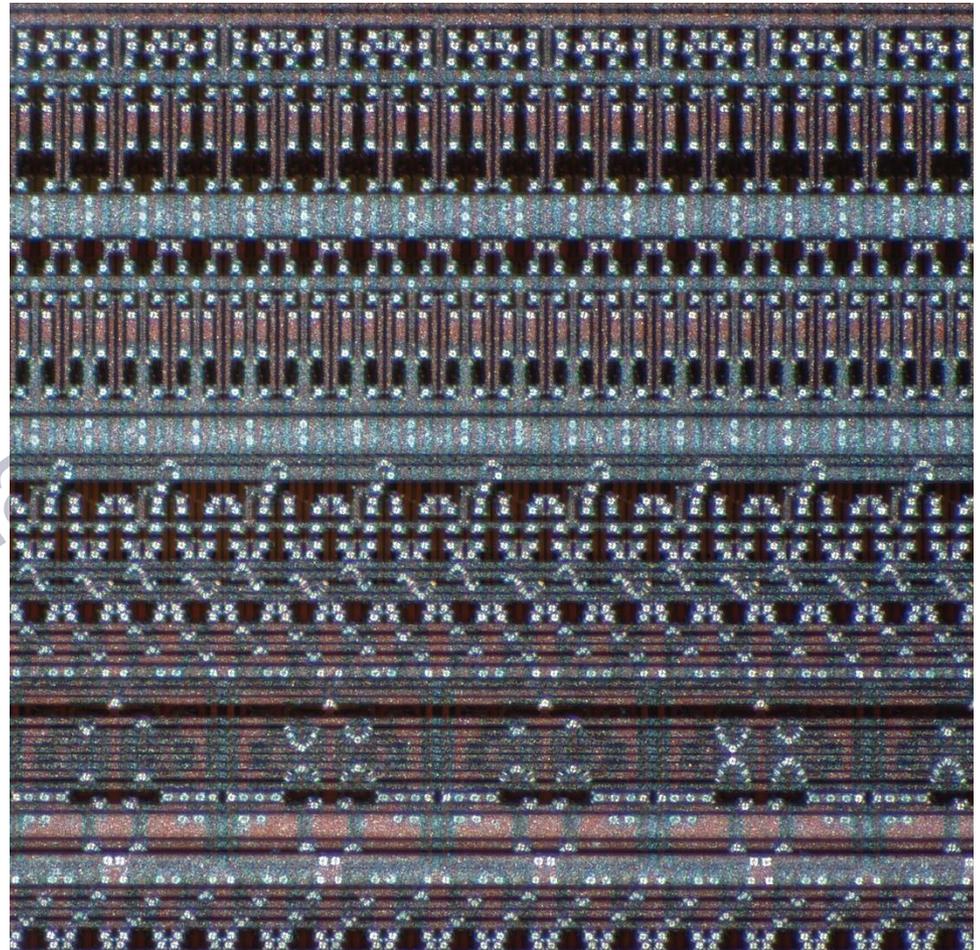


© Gerhard

E-Prom – Elektronischer Bauteil, Innenleben

Aufgenommen im DIK

Das Bild besteht aus
einem Bilderstapel.



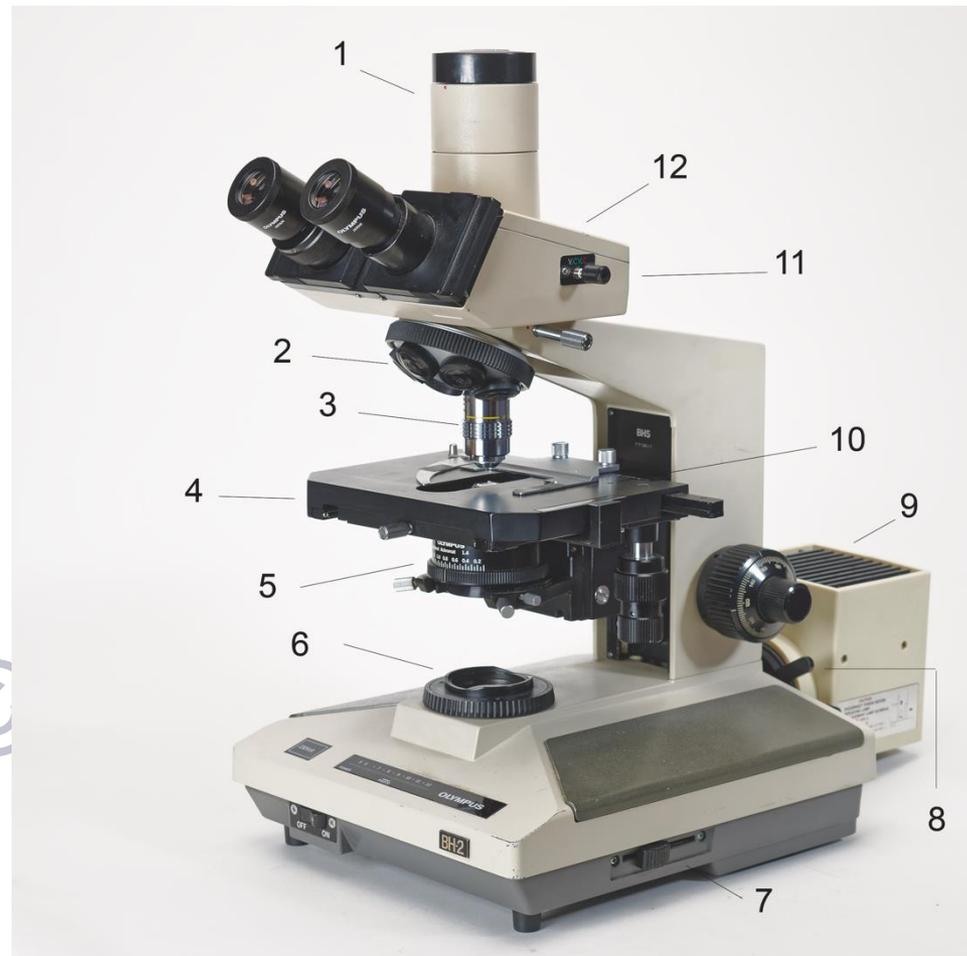
Durchlicht-Mikroskop

Das am häufigsten eingesetzte Mikroskop. Zur Zeit der Erfindung des Mikroskops hat es nur diese Mikroskop-Art gegeben.

Die betrachteten Objekte müssen durchscheinend sein. Wenn Sie sich jetzt z.B. eine Holzprobe vom Stamm vorstellen, da ist nichts durchsichtig. Mittels Präparationsverfahren müssen die Objekte aufbereitet werden, um sie unter dem Mikroskop betrachten zu können.

- Es gibt eine Beleuchtung, die durch einen Spiegel in die optische Achse umgelenkt wird. Dann kommt ein Kondensor, das Objekt mit seinem Deckglas, Eindeckungsmittel und Deckglas, dem Zwischenbild und den Okularen.
- Für die Fotografie wird dieser Strahlengang eigens justiert, man nennt das auch „Köhlern der Beleuchtung“ oder „Köhlersche Beleuchtung“. Der Name bezieht sich auf August Köhler, deren Erfinder.

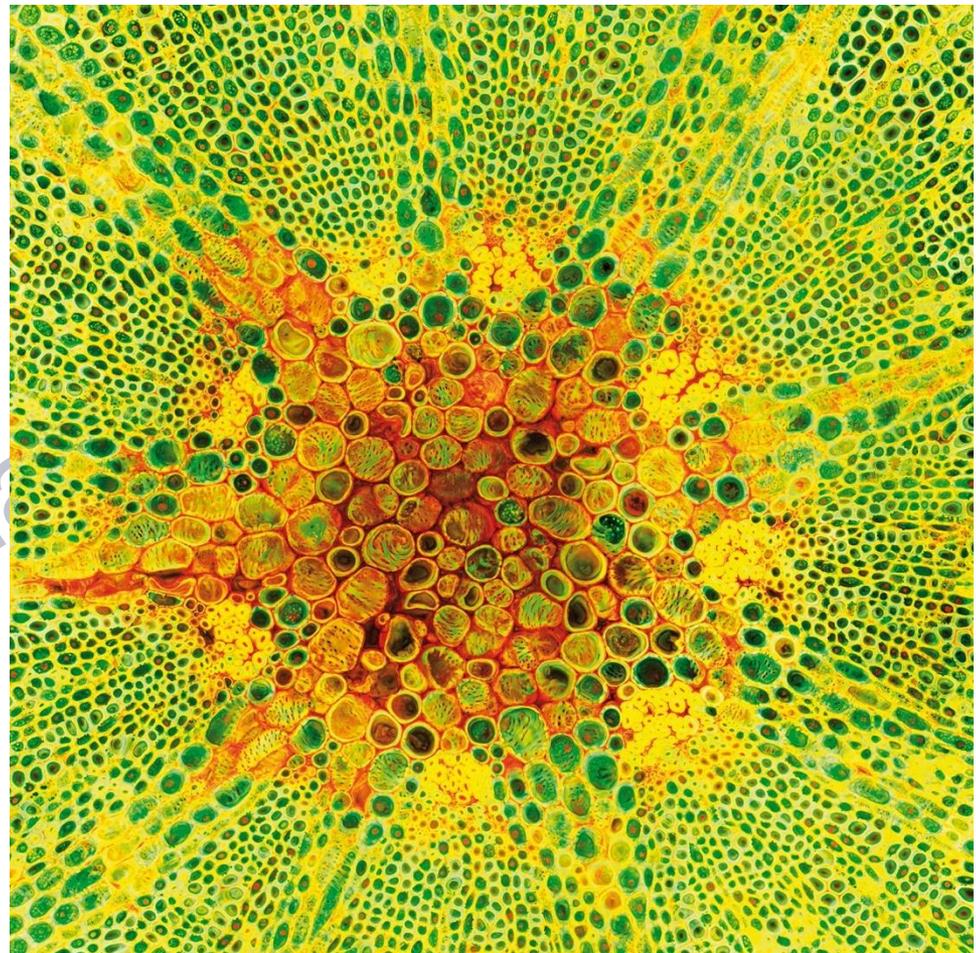
Durchlicht-Mikroskop



Weißbeerige Mistel

Aufgenommen im
Hellfeld.

Es handelt sich um
einen gefärbten
Mikrotomschnitt.



Ruderfußkrebs

Aufgenommen im
Durchlicht

Der Ruderfußkrebs
lebt. Er befindet sich
im Wasser zwischen
Objektträger und
Deckglas. Ein
Wassertropfen aus
der Probe wurde mit
übertragen.



Polarisationsmikroskop

Beim Polarisations-Mikroskop, kurz POL-Mikroskop, handelt es sich um ein Werkzeug, mit dem Messungen durchgeführt werden können.

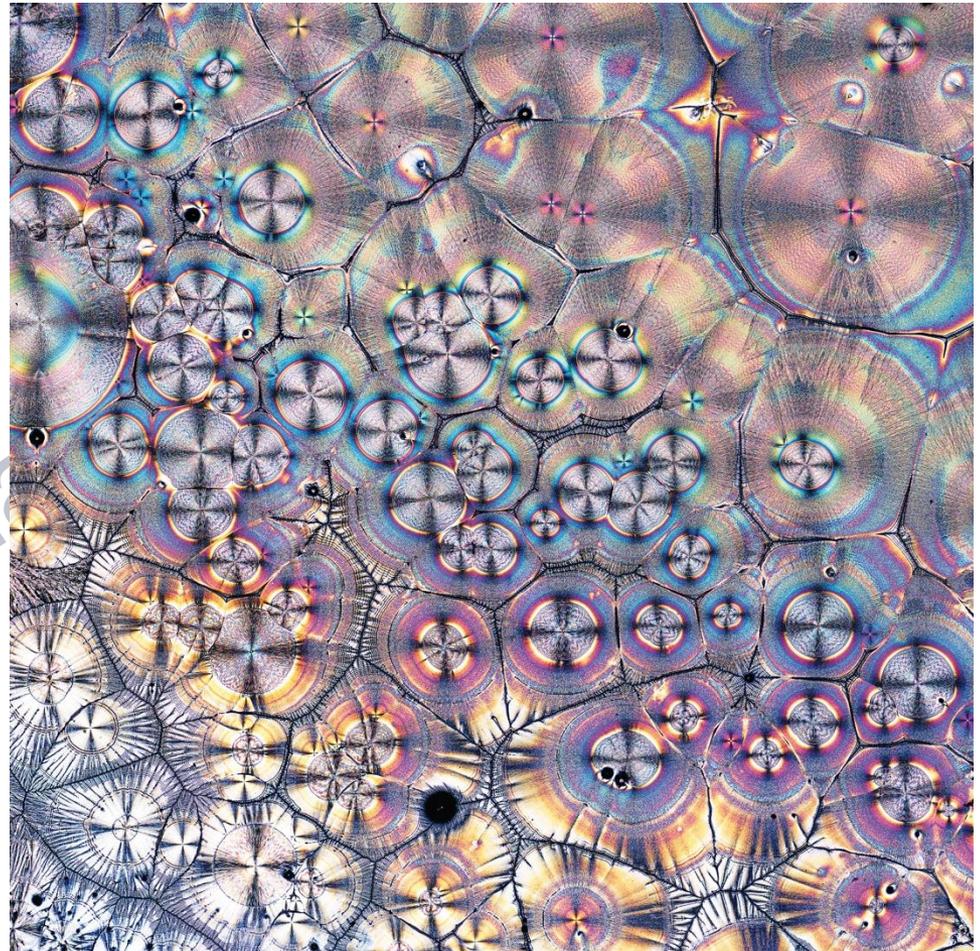
- Es sind im Beleuchtungsstrahlengang zwei lineare Polfilter verbaut. Dadurch kann eine einfache oder doppelte Polarisation (auch Kreuzpolarisation) erzeugt werden.
- Ein echtes POL-Mikroskop erkennt man an einem POL-Kondensator (spannungsfreies Glas und eingebauter POL-Filter), dem Drehtisch mit seinen Skalen für die Messung, zentrierbaren, spannungsfreien Objektiven und dem zweiten POL-Filter unterhalb des Trinotubus.
- Es sind zwei Beleuchtungsverfahren verfügbar:
 1. LPL = (Linear Polarisiertes Licht) und XPL = (Kreuzpolarisiertes Licht) wird am häufigsten verwendet und
 2. die konoskopische Einstellung für z.B. Bestimmung von Mineralen wie Quarz.

Achtung: Damit unsere Belichtungsmessung in der Kamera funktioniert, benötigen sie zirkular polarisiertes Licht und nicht linear polarisiertes Licht des POL-Mikroskops. Da das im POL-Mikroskop nicht verfügbar ist, muss man mit Hilfe des Histogramms die Belichtung ermitteln, andernfalls erhält man Messfehler.

Ascorbinsäure

Kristallisation,
Kristallisation aus der
Schmelze

Es gibt zwei Wege der
Kristallisation ent-
weder Erhitzen bis zum
Schmelzpunkt oder
Auflösen und trocknen
lassen.



Granit

Dünnschliff – XPL

Es wird eine Scheibe aus dem Stein geschnitten, geschliffen, poliert und mit einem Eindeckmittel eingedeckt.

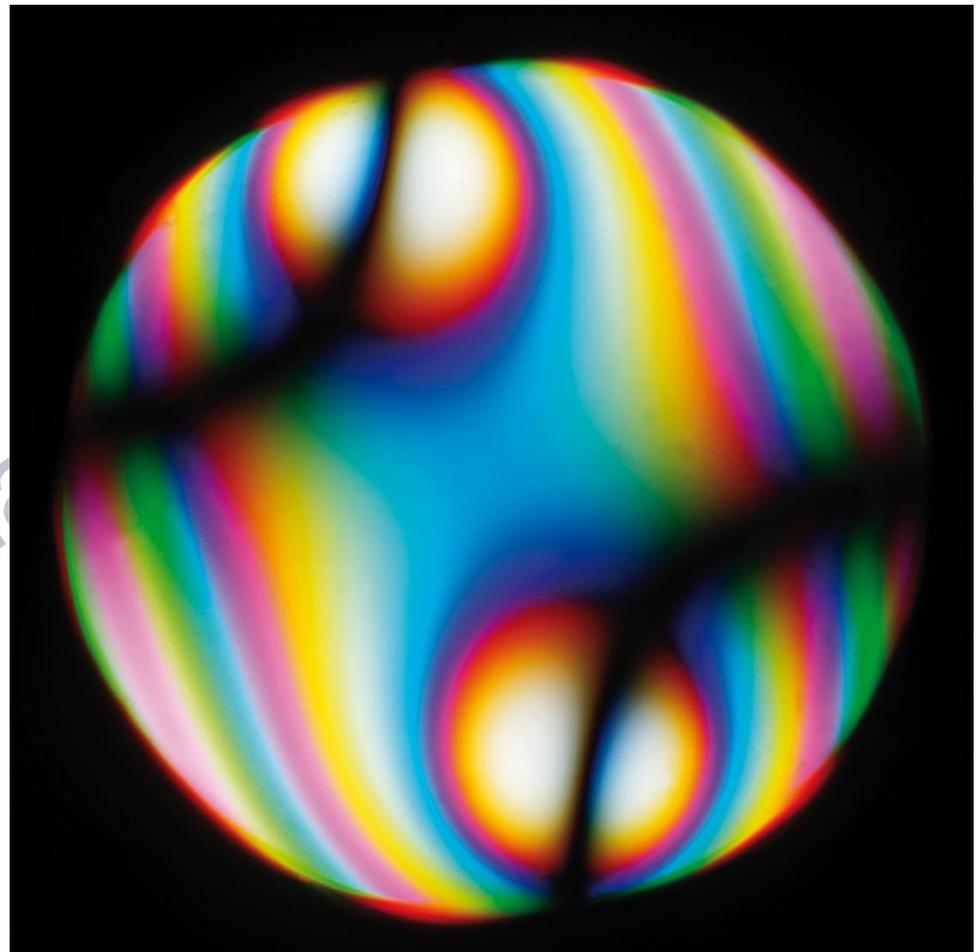


© Gerhard

Muskovit - Glimmer

Achsenbild

Achsenbilder werden mit dem POL-Mikroskop aufgenommen. Dabei wird der konoskopische Strahlengang eingesetzt. Bestimmt wird z.B. Ein/Mehrachsigkeit, positive/negative Ausrichtung, usw.



Kameraadaption

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten über das Mikroskop zu fotografieren. Welche am jeweiligen Mikroskop zur Verfügung stehen, hängt vom Hersteller und vom Mikroskop selbst ab.

1. Adaption mittels Projektiv
2. Adaption mittels Relais-Optik
3. Kamera-Adaption für das Zwischenbild
4. Adaption an Stelle eines Okulars
5. Mit dem Handy durch das Okular fotografieren

Da die Mikroskope nicht für die Fotografie entwickelt, bzw. Fotomikroskope im vorigen Jahrhundert für analoge Kameras auf den Markt gebracht wurden, sind meist Umbauten notwendig, um es für eine aktuelle Digitalkamera zu adaptieren.

Natürlich gibt es bei aktuellen, am Markt befindlichen Labormikroskopen eine proprietäre Fotoadaption mit speziellen Kamerasystemen, diese sind aber sehr teuer und entsprechen nicht dem, was wir von unseren Digitalkameras gewöhnt sind.

Kameraadaption



Kameraadaption mittels Projektiv

- Das ist der eleganteste Weg. Hersteller wie z.B. Olympus bieten sowohl für die Endlich- als auch Unendlich-Systeme eine Fotoadaption mittels Projektiv an.
- Ein Projektiv übernimmt die Funktion eines Okulars, es ist aber für die Fotografie konstruiert. Das hat zur Folge, dass die Lichtstrahlen in einer definierten Entfernung, z.B. 125 mm am Film/Sensor so ankommen, dass sie unmittelbar aufgenommen werden können. Okulare hingegen sind konstruiert, um ein punktförmiges Bild für unser Auge zu produzieren.
- Projektive gibt es mit unterschiedlichen Vergrößerungsfaktoren, damit die unterschiedlichen Sensorformate optimal bedient werden können (z.B. 1,67 für APSC, 2,5 für Vollformat).
- Projektive sind Teil der optischen Rechnung. Das bedeutet z.B. bei Endlich-Systemen, dass ein Teil der Korrekturen erst im Projektiv – analog zu den Okularen – durchgeführt wird. Die Hersteller gehen hier ihre eigenen Wege, um die Kompatibilität zu anderen Herstellern einzuschränken.
- Das Projektiv wird am Trino-Tubus eingesetzt, der einen 3. Ausgang für die Fotografie/ das Filmen besitzt.

Olympus NFK Projektive

Projektive für die BH-2
Serie in Verbindung mit
deren LB-Objektiven
gerechnet



Adaption mittels Relais-Optik

Diese Adaption kommt dann zustande, wenn entweder vom Hersteller keine Projektive entwickelt wurden oder ein größerer Bildausschnitt am Foto abgebildet werden soll.

Die Abbildung zeigt meinen Versuchsaufbau, um am Olympus BH-2 Mikroskop am Trino-Tubus mittels Relais-Objektiv und Super-Widefield Okular fotografieren/filmen zu können.



Adaption mittels Relais-Optik

- Dabei gibt es eine Fokusschnecke und einen Adapter, um das Okular in die richtige Position zu bringen.
- Als Relais-Optik kommt das Nikkor P 1:2,8/45mm zum Einsatz – eine Perle, die nur sehr selten am Gebrauchtmart auftaucht. Eine sogenannte Pancake-Konstruktion.
- Flach, wenig Linsen, hohe Abbildungsleistung durch geringe Lichtstärke, ein geringes Gewicht, sind die Kriterien einer Pancake-Konstruktion.
- Laut Berechnung wäre 42 mm Brennweite erforderlich, um 100 % des Zwischenbildes zum Sensor zu bringen. 45 mm sind ein guter Kompromiss, um Randbereiche, die ja optisch schwächer sind, auszublenden.
- Was in der Abbildung fehlt – sonst würden sie den Aufbau nicht sehen – ist das Gehäuse, welches an der Stelle der silbergrauen Beilag-Scheibe sitzt und auf der anderen Seite in das Filtergewinde des Objektivs geschraubt wird.

Kamera-Adaption für das Zwischenbild

- Dabei handelt es sich um die einfachste Kamera-Adaption. Sie ist ohne mechanische Kenntnisse zu realisieren.
- Der Adapter verfügt über einen T2-Schraubadapter und es können jene Kameras adaptiert werden, für die es einen T2-Adapter am Markt gibt.

Nachteil

- Sie ist nur für Unendlich-Systeme möglich
- Wie viel abgebildet wird hängt von der Konstruktion der Objektivserie ab. Sind diese für die Wide-Field-Betrachtung gerechnet? Wenn nicht, bekomme ich keine volle Ausleuchtung eines APSC-Sensors und muss in der Bildbearbeitung deutlich beschneiden, um das Format mit Bilddaten zu versorgen.
- Wir landen bei einer „einfachen“ Vergrößerung. Es wirkt nur noch die Vergrößerung des Objektivs, ohne Nachvergrößerung, da weder ein Okular noch ein Projektiv im Einsatz ist. Diese Adaption ist ein Rohr ohne Linsen.

Welche Sensorauflösung wird benötigt?

- Optimal sind zwischen 24 und 36 Megapixel, wenn mit Bayer-Sensorgeometrie aufgenommen wird.
- Je höher die Objektivvergrößerung wird, um so geringer sind die erforderlichen Megapixel.
- Die Numerische Apertur (NA) eines Mikroskop-Objektives und die Wellenlänge des Lichts (der Beleuchtung) sind für die erzielbare Auflösung verantwortlich. Die NA wird am Mikroskop-Objektiv angegeben, ihre genaue Erläuterung erfordert Verständnis der Wellenlehre (Physik), kann aber in der Praxis meist vernachlässigt werden.
- Befindet sich zwischen der Frontlinse und dem Deckglas und dem Kondensor und dem Objektträger Luft als Intermedium, ist die maximal übertragbare NA 0,95 (theoretisch 1,0).
- Ist die NA eines Objektivs größer/gleich 1,0 muss Wasser oder Immersionsöl eingesetzt werden, um die NA auch übertragen zu können. Das gilt für den Abstand zwischen Deckglas und Frontlinse, aber auch für die Lichtübertragung am Kondensor zum Objektträger. Beide Stellen müssen immerniert werden.

Bildteil

Vielen Dank!

**Sie sind herzlich
eingeladen unsere**

Ausstellung zu besuchen

Bildbeispiele

© Gerhard Zimmert