

Rolf Vossen

Was man mit einem
einfachen Mikroskop
sehen kann

2021

<https://mikroskopiedernatur.de/was-man-sehen-kann-mit-einem-einfachen-mikroskop>



Einführung

Im Laufe der Jahre habe ich mit vielen verschiedenen Mikroskopen gearbeitet, von einfachsten Schulmikroskopen bis hin zu professionellen Labormikroskopen. Irgendwann wurde mir klar, dass es in Bezug auf die Bildqualität keinen sehr großen Unterschied zwischen einem Schulmikroskop und einem Forschungsmikroskop gibt. Forschungsmikroskope können mit speziellen Zusatzfunktionen wie Phasenkontrast, Differential Interference Contrast (DIC) und Fluoreszenzauflicht ausgestattet werden, ein einfaches Schulmikroskop ist da natürlich viel eingeschränkter. Aber bei normaler Hellfeldbeleuchtung ist der Unterschied zwischen einem einfachen Mikroskop und einem Labormikroskop jedoch bei weitem nicht so groß, wie man es erwarten sollte - das heißt, wenn die Beleuchtung in Ordnung ist; aber leider wird hier Vieles falsch gemacht.

Um ein Missverständnis zu vermeiden: Mit einem einfachen Mikroskop meine ich ein einfaches (monokulares) Stativ mit achromatischen Objektiven. Die Nennung von achromatischen Objektiven ist hier wichtig, da derartige Objektive den Unterschied zwischen einem echten Mikroskop und einem Spielzeugmikroskop ausmachen. Es ist erstaunlich, was mit einem einfachen Schulmikroskop gesehen werden kann. Dies wird manchmal von unerfahrenen Mikroskopikern und sogar einigen erfahrenen Mikroskopbenutzern übersehen. Manche Anfänger denken, dass sie teure Objektive benötigen, wie die besser korrigierten Fluoritsysteme oder apochromatische Objektive, um gute Bilder zu erhalten; oder es wird angenommen, dass eine Köhler-Beleuchtung notwendig ist oder dass man sogar einen aplanatischen achromatischen Kondensator benötigt. Man benötigt keine der oben genannten Dinge, um ein gutes Bild zu erhalten oder gute Bilder aufzunehmen. Es ist nicht wichtig, wie fortschrittlich ein Mikroskop ist, sondern vielmehr, wie das Mikroskop verwendet wird.

Nur wenige Instrumente werden öfter falsch verwendet als das Mikroskop. Für diesen Artikel habe ich absichtlich ein sehr einfaches Mikroskop ohne Kondensator verwendet. Nur ein Spiegel, achromatische Objektive, ein Tubus und ein Okular. Was kann man mit einem solchen Mikroskop sehen? Nun, sehr viel! Jedes Mal, wenn ich ein einfaches Schulmikroskop benutze, bin ich erstaunt, wie gut die Bildqualität sein kann. Wenn man die Beleuchtung ein wenig optimiert, kann man aus einem solchen Mikroskop ein gutes Instrument machen. Und einfache Mikroskope sind auf dem Gebrauchtmart für sehr wenig Geld zu finden.

Das Wichtigste für ein gutes Bild: eine gute Beleuchtung

Manchmal scheint es, dass Mikroskophersteller die Beleuchtung mehr oder weniger vernachlässigen. Selbst bei manchen professionellen Labormikroskopen lässt die Beleuchtung gelegentlich zu wünschen übrig. Tatsache ist, dass bei schlechter Beleuchtung die Bildqualität stark beeinträchtigt wird. Eine gute Beleuchtung ist für ein gutes mikroskopisches Bild wichtiger als alles andere. Dass teure Objektive verwendet werden, ist viel weniger relevant. Viele haben gelernt, dass eine Köhler-Beleuchtung notwendig ist, um ein gutes Bild zu erhalten. Die Köhler-Beleuchtung hat aber wenig Mehrwert, wenn man mit einem einfachen Mikroskop arbeitet, und man wird diese Beleuchtung hauptsächlich bei Forschungsmikroskopen finden. An einem Forschungsmikroskop kann man fast alles einstellen. Die Köhler-Beleuchtung hilft hier, alle Teile zu zentrieren, und sorgt für eine gleichmäßige Beleuchtung, wenn sie richtig eingestellt ist. Aber selbst unter erfahrenen Mikroskopbenutzern gibt es einige anhaltende Missverständnisse über die Köhler-Beleuchtung: Einige denken, dass Köhler-Beleuchtung für die Phasenkontrastmikroskopie notwendig ist oder dass diese Beleuchtung das höchste Auflösungsvermögen in der Hellfeldmikroskopie erzielt. In einigen Fällen kann sich die Köhler-Beleuchtung jedoch sogar negativ auf die Auflösung auswirken. Insbesondere, wenn Objektive mit hoher numerischer Apertur (NA) in Kombination mit einem Abbe-Kondensator verwendet werden.

Bei der Köhler-Beleuchtung ist die Auflösung besonders begrenzt, wenn Objektive mit einer NA von mehr als 0.65 in Kombination mit einem trockenen Abbe-Kondensator (NA <1.0) verwendet werden. Ein Beispiel für einen solchen Kondensator ist der Zeiss-typische Klappkondensator mit einer NA von 0.9. Wenn beispielsweise ein Objektiv 40/0.75 verwendet wird, begrenzt die Feldblende in der Köhler-Einstellung die mögliche Apertur des Objektivs. Auch wenn die Aperturblende vollständig geöffnet ist, wird die volle Apertur des Objektivs nicht genutzt, da es nicht vollständig ausgeleuchtet ist. Dies ist mit einem Phasenteleskop leicht zu beobachten. Wenn man die volle Apertur dieses Objektivs nutzen will, kommt man nicht darum herum, die Feldblende weiter zu öffnen und/oder den Kondensator in eine höhere Position zu bringen. In beiden Fällen werden die Bedingungen für eine strenge Köhler-Beleuchtung aufgegeben. Die Köhler-Beleuchtung wurde zu einer Zeit entwickelt, als Lichtquellen eine ungleichmäßige Beleuchtung zeigten und Mikroskopobjektive noch keine gute Vergütung hatten zur Verminderung von Streulicht. Die Köhler-Einstellung ermöglichte es, sowohl eine gleichmäßige Beleuchtung als auch eine Verbesserung des Kontrastes zu erzielen.

Bei einfachen Mikroskopen ohne Kondensator kann die Beleuchtung erheblich verbessert werden, indem ein Mattglas oder Papier in den Strahlengang gelegt wird, so dass das Licht zerstreut wird. Indem das Licht diffus gemacht wird, wird das Auflösungsvermögen erhöht und eine gleichmäßigere Beleuchtung erreicht. Insbesondere bei Verwendung von Objektive mit geringer Vergrößerung (z.B. 4/0.10) ist ein solches diffuses Licht von Vorteil, da es mit solchen Objektiven schwieriger sein kann, eine gleichmäßige Beleuchtung bis zum Rand des Sehfeldes zu erzielen. Ein Mattglas, Transparentpapier oder normales weißes Papier kann verwendet werden, um das Licht zu zerstreuen. Der Diffusor kann dann irgendwo zwischen der Lichtquelle und der Aperturblende platziert werden. Es ist wichtig, dass sich das Mattglas oder Papier nicht zu nahe an der Lichtquelle befindet, da sonst das Licht nicht gut genug zerstreut wird. Ein Phasenteleskop oder eine Bertrand-Linse ist ein sehr nützliches Werkzeug zur Optimierung der Beleuchtung. Mit solch einem Hilfsmittel kann beurteilt werden, ob die Apertur des Objektivs ausreichend ausgeleuchtet wird.

Optimieren von Beleuchtung und Auflösung

Einfache Mikroskope haben oft eine minimale oder gar keine Kondensoroptik. Häufig befindet sich unter dem Objektisch nur eine Irisblende oder eine rotierende Scheibe mit Öffnungen unterschiedlicher Durchmesser. Manchmal wird eine einzelne Linse in den Objektisch eingebaut oder direkt über der Irisblende platziert. Die Lichtquelle besteht aus einem Spiegel oder einer einfachen Lampe in einem Gehäuse. Die Oberfläche des leuchtenden Teils der Lampe wird wichtig, wenn keine Kondensoroptik vorhanden ist. Je größer diese Oberfläche ist, desto besser ist die Auflösung, da ein größerer Teil der Objektivapertur ausgeleuchtet wird. Es ist daher wichtig, die leuchtende Oberfläche der Lichtquelle zu vergrößern, wenn sich unter oder in dem Objektisch keine Optik befindet.

Abbildung 1 zeigt eine Irisblende unter der Objektisch eines einfachen Hufeisenstativs. Da keine Kondensoroptik vorhanden ist, bestimmt die Oberfläche der Lichtquelle in diesem Fall die Auflösung des Mikroskops. Das in Abbildung 1 gezeigte Mikroskop hatte eine einfache Lampe in einem Gehäuse und einen Lichtaustritt aus Milchglas. Die Auflösung mit einem 40/0.65-Objektiv war unzureichend, selbst wenn die Irisblende vollständig geöffnet war. Mit Hilfe eines Phasenteleskops ist zu erkennen, dass die Apertur des Objektivs nicht ausreichend ausgeleuchtet ist (Bild 1 B); nur ein kleiner Teil der Apertur wird benutzt. In Abbildung 1 C wird ein Stück Papier auf die Unterseite der Irisblende angebracht, um das Licht zu streuen. Dies vergrößert die Lichtfläche und wirkt sich dramatisch auf die mögliche Auflösung aus.



Abb.1

Verbesserte Auflösung mit einem 40/0.65-Objektiv durch Zerstreung des Lichts.

A: Eine vollständig geöffnete Irisblende ohne Zerstreung des Lichts führt zu einer schlechten Auflösung.

B: Die mit einem Phasenteleskop fotografierte Ausleuchtung der Apertur zeigt, dass nur ein kleiner Teil der verfügbaren Apertur verwendet wird.

C: Durch Streuen des Lichts mit Hilfe von Papier wird ein größerer Teil der Objektivapertur ausgeleuchtet, was zu einer besseren Auflösung führt.

Spiegel oder Lampe?

Für die Mikroskop-Beleuchtung wird ein Spiegel im Vergleich zu einer Lampe oft als weniger geeignet oder sogar als minderwertig angesehen. Das ist ein großes Missverständnis. Ein Spiegel ist oft deutlich besser als die Lampen, die in einfachen Mikroskopen zu finden sind. In älteren Schulmikroskopen findet man regelmäßig eine 230 V Glühbirne, die anstelle des Spiegels (Einstecklampe) eingesteckt werden kann. Sie werden sehr heiß und werden das Präparat eher erhitzen als beleuchten. Viele dieser

Lampen sind eigentlich ziemlich nutzlos. Mit einem Spiegel kann man jede Lichtquelle nutzen und man hat die Möglichkeit, eine gute LED-Lampe zu verwenden.

Ein Mikroskopspiegel hat eine flache und eine konkave Seite. Die konkave Seite verwendet man, wenn kein Kondensor vorhanden ist; auf diese Weise wird das Licht ein wenig gebündelt. Wenn keine Maßnahmen zur Zerstreung des Lichts ergriffen wurden und keine Kondensoroptik vorhanden ist, verwendet man am besten die konkave Seite des Spiegels in Kombination mit einer größeren matten Lampe (größere Leuchtfläche). Die Apertur eines 10/0.25-Objektivs kann auf diese Weise vollständig ausgeleuchtet werden, aber mit zunehmender NA erweist sich diese Beleuchtung jedoch als unzureichend. Der Weg zur Verbesserung der Auflösung besteht also darin, das Licht zu zerstreuen. Wenn man hierfür beispielsweise weißes Papier verwendet, kann man auch in Kombination mit der konkaven Seite des Spiegels eine sehr helle LED-Lampe verwenden. Durch die Lichtzerstreung werden die Augen vor zu hellem Licht geschützt. Es können verschiedene Materialien verwendet werden, um das Licht diffus zu machen. Persönlich finde ich die meisten der 32 mm Mattscheiben, die speziell für Mikroskope entwickelt wurden, oft nicht wirksam genug, um das Licht einer hellen punktförmigen LED-Lichtquelle gleichmäßig zu zerstreuen. Bei einer hellen LED-Lampe mit kleiner Leuchtfläche ist es besser, normales Papier zu verwenden. Eine andere Möglichkeit, diffuses Licht zu erhalten, besteht darin, den Spiegel mit Papier zu bedecken. Das Papier reflektiert das Licht und sorgt so für eine sehr gleichmäßige Beleuchtung. Die JANSJÖ-LED-Lampen von IKEA eignen sich perfekt für ein solches Setup. Um mit diesem reflektierten Licht und einem 40/0.65-Objektiv eine ausreichende Auflösung zu erzielen, benötigt man allerdings mindestens eine einzelne Kondensorlinse. Der Grund dafür ist, dass der Abstand zwischen Spiegel und Präparat relativ groß ist, so dass die Leuchtfläche ohne Kondensorlinse zu klein ist. Ein nützlicher Nebeneffekt bei einem Spiegel mit aufgeklebtes Papier ist, dass die Lichtintensität leicht reguliert werden kann, indem der Spiegel von einer gekippten Position in eine horizontale Position gedreht wird. Das Licht wird dann langsam gedimmt (Bild 2).



Abb.2

Durch Abdecken des Spiegels mit Papier kann die Lichtintensität reguliert werden. Wenn man den Spiegel von einer gekippten Position (links) in eine horizontale Position (rechts) dreht, wird das Licht gedimmt.

Ein einfaches Grundmikroskop

Das für diesen Artikel verwendete Mikroskop ist in Abbildung 3 A dargestellt. Es hat keinen Kondensator und keine Optik in oder unter dem Objektisch. Für die Fotos in diesem Artikel wurde nur von einem Diffusor zerstreutes Licht verwendet. Das Mikroskop war ein EUROMEX Model SA. Dies hat ein einfaches Hufeisenstativ, wahrscheinlich aus den 1970er Jahren, das für die Sekundarstufe gebraucht wurde. Soweit ich weiß, wurden diese Mikroskope in China hergestellt. Das Mikroskop besitzt 3 achromatische Objektive: 10/0.25, 20/0.40 und 40/0.65. Ein häufiges Missverständnis ist, dass die Objektive eines solchen Mikroskopes immer von minderer Qualität sind und kein gutes Bild liefern können. Bei guter Beleuchtung wird jedoch deutlich, dass man mit solcher Optik gute Bilder machen kann. Alle Fotos in diesem Artikel wurden mit diesem Mikroskop aufgenommen. Unter dem Objektisch befindet sich eine drehbare Scheibe mit 5 runden Öffnungen unterschiedlichen Durchmessers. Mit zunehmender NA des Objektivs sollte eine Öffnung mit größerem Durchmesser gewählt werden. Bei sehr einfachen Mikroskopen findet man oft solche Apertur-Scheiben. Auch an Spielzeugmikroskopen sind sie oft zu finden (worüber ich nicht weiter sprechen werde), obwohl sie dort keine wirkliche Funktion haben. Eine solche drehbare Scheibe wird oft als minderwertig angesehen im Vergleich zu einer Irisblende. Trotzdem muss ich sagen, dass so eine Scheibe sehr nützlich sein kann. Es ist ein flexibles und einfach zu bedienendes Teil, das nicht nur die effektive Apertur reguliert, sondern auch verschiedene Beleuchtungen wie schiefe Beleuchtung und Dunkelfeldbeleuchtung zulässt. Ich habe die Öffnungen der Scheibe mit TESA-Klebeband abgedeckt, um das Licht zu zerstreuen. Für Abbildung 3 B habe ich die größte Öffnung nicht abgedeckt, um den Durchmesser zu zeigen. Später habe ich diese Öffnung verwendet, um eine Dunkelfeldblende hinein zu setzen, und dies ergab ein sehr schönes Dunkelfeldbild mit einem 20/0.40-Objektiv. Es gibt eine gewisse funktionale Ähnlichkeit zwischen einer solchen Scheibe und einem Phasenkontrastkondensator. Der Spiegel wurde mit einer JANSJÖ-LED-Lampe beleuchtet. Mit der flachen Seite des Spiegels gab es genug Licht für die schwächeren Vergrößerungen, während bei Verwendung von Objektiv 40/0.65 die konkave Seite des Spiegels besser geeignet war.

Abbildung 4 zeigt, dass die Apertur eines 40/0.65-Objektivs ausreichend ausgeleuchtet wird und dies ein ausreichendes Auflösungsvermögen gewährleistet.



Abb.3

A: Ein einfaches Schulmikroskop ohne Kondensoroptik (EUROMEX SA).

B: drehbare Scheibe mit Öffnungen von klein nach groß und 4 Positionen, die mit TESA-Klebeband abgedeckt wurden, um das Licht zu zerstreuen.

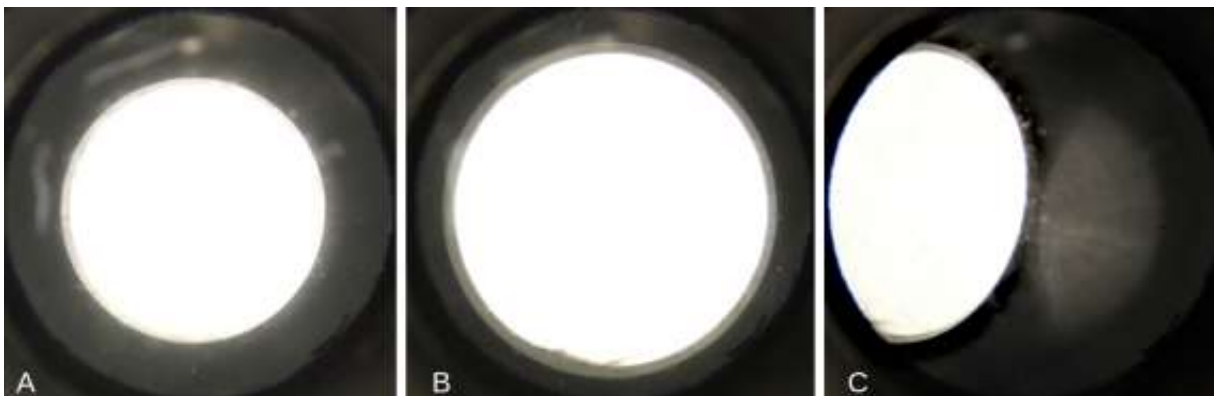


Abb.4

Ausleuchtung der Apertur eines 40/0.65-Objektivs, fotografiert mit einem Phasenteleskop.

A: Bei Verwendung der Öffnung mit dem zweitgrößten Durchmesser wurde bei normaler Hellfeldbeleuchtung eine ausreichende Auflösung erreicht. Der schwache Außenring zeigt die Grenze der Objektivapertur.

B: Beleuchtung mit der größten Öffnung. Hier wird ein großer Teil der Apertur ausgeleuchtet, was auf Kosten des Kontrastes eine hohe Auflösung liefert. Mit dieser Öffnung würde die Beleuchtung sogar für ein 60/0.85-Objektiv ausreichen.

C: Das Dezentrieren der größten Öffnung ergibt eine schöne Schieflicht-Beleuchtung.

Die Auflösung mit den verschiedenen Öffnungen wurde mit einem Präparat der Kieselalge *Pleurosigma angulatum* getestet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5 dargestellt. *Pleurosigma angulatum* wird oft zum Testen von Objektiven und Auflösung verwendet. Es ist ein kritisches Objekt für ein 40/0.65-Objektiv. Bei unzureichender Auflösung aufgrund falscher Einstellungen ist die Feinstruktur dieser Diatomee mit einem Objektiv 40/0.65 nicht mehr gut sichtbar.

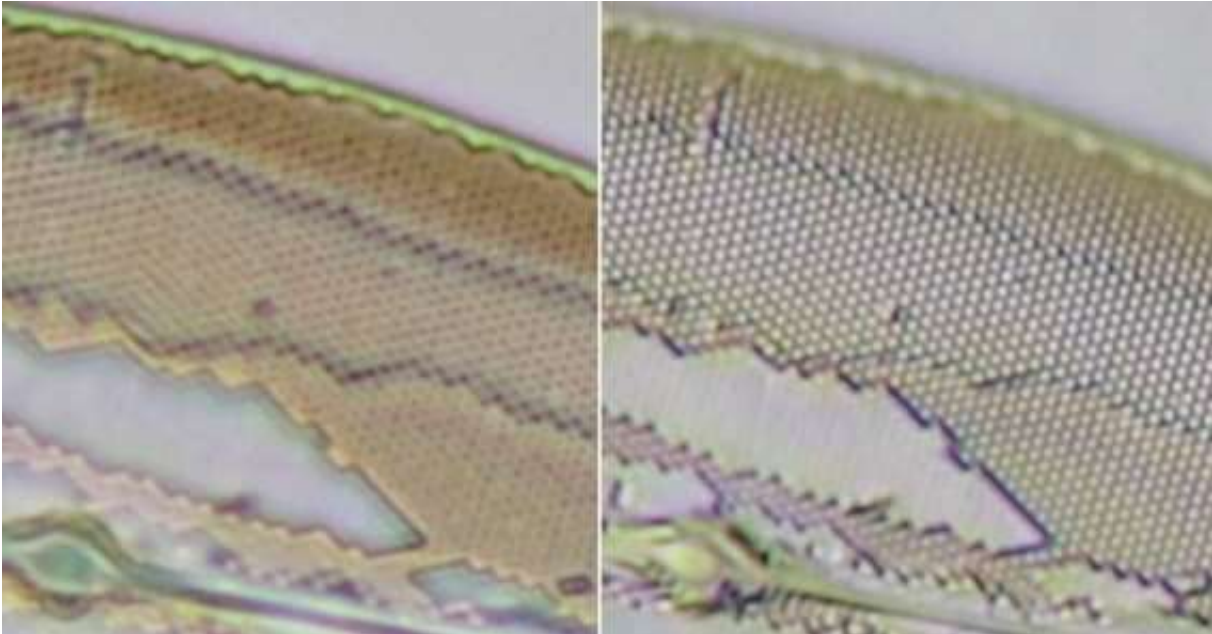


Abb.5

Links: Die feine Porenstruktur von *Pleurosigma angulatum* ist sichtbar, wenn die Öffnung, wie in Abbildung 4 A gezeigt, gebraucht wird.

Rechts: Eine schiefe Beleuchtung kann leicht erzielt werden, indem die Aperturscheibe leicht gedreht wird, so dass die Öffnung dezentriert wird. Die Einstellung erfolgte wie in Abbildung 4C. Dies macht die Struktur deutlicher sichtbar.

Die Okulare

Einfache Mikroskope wie das EUROMEX SA haben normalerweise ein Paar Huygens-Okulare. Huygens-Okulare haben eine einfache Konstruktion und das Sehfeld ist nicht groß. Es ist Geschmackssache, aber ich persönlich finde es angenehmer, ein Huygens-Okular zusammen mit einem Monokularmikroskop zu gebrauchen als ein Weitwinkelokular (Wide Field, WF). Mit einem kleineren Sehfeld hat man einen besseren Überblick, und das ist meiner Meinung nach angenehmer, wenn man mit nur einem Auge schaut - und die Beobachtung mit nur einem Auge kann manchmal eine Herausforderung für sein. Das EUROMEX-Mikroskop hatte 3 Okulare: 6x, 10x und 15x. Die 10x- und 15x- Okulare kompensieren kaum die Restfehler des Objektivs, daher werden diese Okulare vorzugsweise mit den schwach vergrößernden Objektiven, wie das 4/0.10 und 10/0.25, verwendet. Wenn bei diesen schwach vergrößernden Achromaten ein kompensierendes Okular verwendet wird, wird meistens das Bild überkorrigiert, was zu chromatischen Aberrationen führt. Das 6x-Okular hat offenbar eine kompensierendere Wirkung und wird vorzugsweise mit einem 40/0.65 oder einem stärker vergrößernden Objektiv verwendet.

Die Gesamtvergrößerung darf maximal $1000 \times NA$ sein, sonst gelangt man in den Bereich der „leeren Vergrößerung“: Das Bild zeigt keine neuen Einzelheiten, aber die Bildqualität, insbesondere der Kontrast, sinkt erheblich. Also: mit einem 40/0.65-Objektiv beträgt die maximale Vergrößerung 650x, mit einem 10/0.25-Objektiv beträgt sie 250x. Im Falle des schwachen Objektivs liegt die maximal erlaubte Vergrößerung des Okulares bei 25-fach ($10 \times 25 = 250$), im Falle des starken Objektivs nur noch bei 15-fach ($40 \times 15 = 600$).

Mit einem Objektiv 40/0.65 oder mehr ist die Verwendung eines Okulars mit einer Vergrößerung von weniger als 10x etwas angenehmer für meinen Geschmack. Das Bild sieht heller und kontrastreicher aus und die Gesamtvergrößerung ist geringer, wodurch der Eindruck des Bildes verbessert wird; es führt zu einer subjektiven Verbesserung der Bildqualität. Die Kurs- oder Schulmikroskope von Chinesischen Herstellern mit Endlichoptik haben heutzutage oft Weitwinkelokulare, die kaum oder nicht kompensieren. Das Bild mit diesen Okularen ist mit den Objektiven 4/0.10 und 10/0.25 in Ordnung. Sobald jedoch ein Objektiv 40/0.65 verwendet wird, tritt am Rand des Sehfelds chromatische Aberration auf. Jemand mit wenig Mikroskopenerfahrung wird dies wahrscheinlich nicht einmal bemerken. Wenn man sich jedoch das Bild im Randbereich kritisch ansieht, wird man feststellen, dass die Objekte dort verzerrt und von einem blauen Rand umgeben sind, auch wenn man nachfokussiert. In diesem Fall kann die Bildqualität eines Objektivs mit höherer Vergrößerung erheblich verbessert werden, wenn ein kompensierendes Okular verwendet wird. Ich habe die Erfahrung gemacht, dass die Verwendung der OLYMPUS-Okulare P7x, P10x und WF10x bei 40/0.65 Objektiven Chinesischer Hersteller oft zu einer signifikanten Verbesserung des Bildes führt. Diese OLYMPUS-Okulare waren für die Verwendung von OLYMPUS-Objektiven mit der kürzeren Abgleichlänge (36,65 mm) vorgesehen. Bei allen chinesischen 40er-Achromaten, die ich getestet habe, konnte ich bei Verwendung von kompensierenden OLYMPUS-Okularen eine Bildverbesserung feststellen. Die Verwendung verschiedener Okulare in Kombination mit unterschiedlichen Objektiven ist also eine gute Methode. Mit den meisten einfachen Achromaten ist es nicht möglich, mit einem einzigen Okular ein optimales Bild für alle Objektive zu erhalten. Die Verwendung eines einzigen Okulares für alle Objektive funktioniert vor allem mit Planachromaten und höher korrigierten Objektiven wie (Plan-) Fluoriten und (Plan-) Apochromaten. Mit diesen teuren Objektivklassen werden die einfachen Mikroskope jedoch niemals ausgestattet.

Das Hufeisenstativ

Heutzutage findet man nur noch selten Mikroskope mit einem Hufeisenstativ. Dies sind die Mikroskope mit einem geraden Tubus und einem kippbaren Stativ. Viele Schulen haben ihre älteren Mikroskope durch modernere Mikroskope mit Schrägtubus ersetzt - leider. Ich habe eine große Vorliebe für die Hufeisenstative, einfach weil es das optisch bessere Design ist. Mikroskope mit einer Schrägtubus haben ein Prisma im Strahlengang, aber jedes zusätzliche optische Element im Strahlengang kann die Bildqualität nur verschlechtern. Dies macht sich natürlich keineswegs immer bemerkbar, schon gar nicht bei Mikroskopen renommierter Hersteller, die hochwertige Materialien verwenden. Aber bei preiswerten einfachen Schulmikroskopen kann ein solches Prisma einen Unterschied machen. Und dies wird bei einem gebrauchten Mikroskop noch relevanter. Ich habe oft ein schlechtes Bild gesehen, das durch ein verschmutztes, delaminiertes oder verschobenes Prisma verursacht wurde. Bei einem Hufeisenstativ besteht eine direkte Verbindung zwischen Objektiv und Okular. Es ist eigentlich

ein Fototubus. Dies ist beispielsweise auch für die Polarisationsmikroskopie von Vorteil. Bei einem Mikroskop mit einem geraden Tubus kann man einfach ein Polarisationsfilter (Analysator) in das Okular einsetzen. Dies ist mit Mikroskopen, die einen Schrägtubus haben, nicht möglich, da polarisiertes Licht durch das Prisma teilweise depolarisiert wird. Entweder muss man den Polarisator im Filterhalter passend drehen oder den Analysator unter dem Prisma platzieren. Dies bedeutet, dass der Tubus demontiert werden muss. Nicht wirklich bequem, vor allem, wenn man das Filter danach wieder entfernen will. Bei Verwendung einer Systemkamera zum Fotografieren kann ein gerader Tubus von Vorteil sein. Eine Spiegelreflexkamera kann aufgrund ihres Gewichts eine gewisse Spannung verursachen, wenn sie auf einem Schrägtubus montiert wird. Und ein nicht so schweres Mikroskop kann sogar durch das Gewicht der Kamera kippen. Darüber hinaus ist es mit einem geraden Tubus möglich, eine Kamera direkt auf das Mikroskop zu setzen, ohne dass man eine feste Verbindung mit dem Mikroskop benötigt. Abbildung 6 zeigt ein Setup, das ich oft benutze. Ein Adapter wird um den Tubus geklemmt und auf den Adapter wird ein Gummiring gelegt. Ich kann problemlos eine OLYMPUS-PEN-Kamera mit einem Sigma-30mm-Objektiv darauf setzen. Durch das Gewicht der Kamera bleibt alles stabil und ich kann mit dem Selbstauslöser fotografieren. Das Sigma-30mm-Objektiv ist dafür sehr gut geeignet, da es keine nach außen beweglichen Teile hat, alles findet intern statt. Nach dem Aufnehmen des Fotos wird die Kamera abgenommen und es kann wieder durch das Okular geschaut werden



Abb.6

OLYMPUS-PEN-EP-1-Kamera mit Sigma-30mm-Objektiv auf einem Hufeisenstativ. Aufgrund des Eigengewichts bleibt die Kamera an Ort und Stelle. Ein solches Setup kann auch mit einem Smartphone verwendet werden, bei dem man das Telefon mit einer Seite auf dem Gummiring legt.

Kleine und schwierig zu beobachtende Objekte

Es wird oft gedacht, dass man ein Ölimmersionsobjektiv und eine 1000-fache Vergrößerung benötigt, um zum Beispiel Bakterien zu sehen. Und dass man auch noch Phasenkontrast benötigt, um die Bakterien und transparente Zellen beobachten zu können. Auf einem Schulmikroskop wird man kein Ölimmersionsobjektiv und keine Phasenkontrasteinrichtung finden. Das heißt aber nicht, dass Bakterien und farblosen Zellen nicht gesehen werden können. Bakterien sind die kleinsten Organismen, die mit einem Lichtmikroskop noch sichtbar gemacht werden können. Aber auch diese etwas schwierigeren Objekte können mit einem einfachen Mikroskop gesehen werden. In diesem Artikel werden einige Fotos gezeigt von Objekten, die etwas schwieriger wahrzunehmen sind, wie Wangenepithelzellen, Blut und Bakterien.

Fazit

Mit einem einfachen Schulmikroskop kann viel gesehen und fotografiert werden, wenn die Beleuchtung gut eingestellt ist. Das für diesen Artikel verwendete Mikroskop könnte sogar für berufliche Zwecke verwendet werden, beispielsweise in einer Tierklinik. Ich denke, es gibt einige Missverständnisse darüber, welches Mikroskop man tatsächlich benötigt, um bestimmte Proben zu untersuchen. Oft wird von Anfänger geglaubt, man brauche teure, hoch korrigierte Objektive. Dies kann daran liegen, dass viele erfahrene Mikroskopiker nur die beste Optik verwenden, und als Anfänger denken Sie vielleicht, dass Sie das auch brauchen, um schöne Fotos machen zu können. Es geht aber nicht nur um die Optik. Es ist nicht so wichtig, wie gut ein Mikroskop ausgestattet ist, sondern wie das Mikroskop verwendet wird. Und eine gute Beleuchtung ist eines der wichtigsten Dinge.

Der Originalartikel wurde in englischer Sprache im Micscape Magazine veröffentlicht und kann als PDF über den unten stehenden Link heruntergeladen werden:

<http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/artnov19/rv-basic-microscope.pdf>

Die Bilder

Alle Fotos wurden mit dem EUROMEX-SA-Mikroskop und einer OLYMPUS-PEN-EP-1-Kamera mit Sigma-30mm-Objektiv aufgenommen. Die Bildbearbeitung wurde auf ein Minimum beschränkt. Zusätzlich zur Korrektur des Weißabgleichs und der Belichtung wurde der Kontrast der Bilder leicht erhöht. Alle Fotos sind Einzelaufnahmen; keines der Bilder wurde durch Stapeln (Stacking) mehrerer Fotos erstellt. Die Bilder wurden heruntergesampelt.

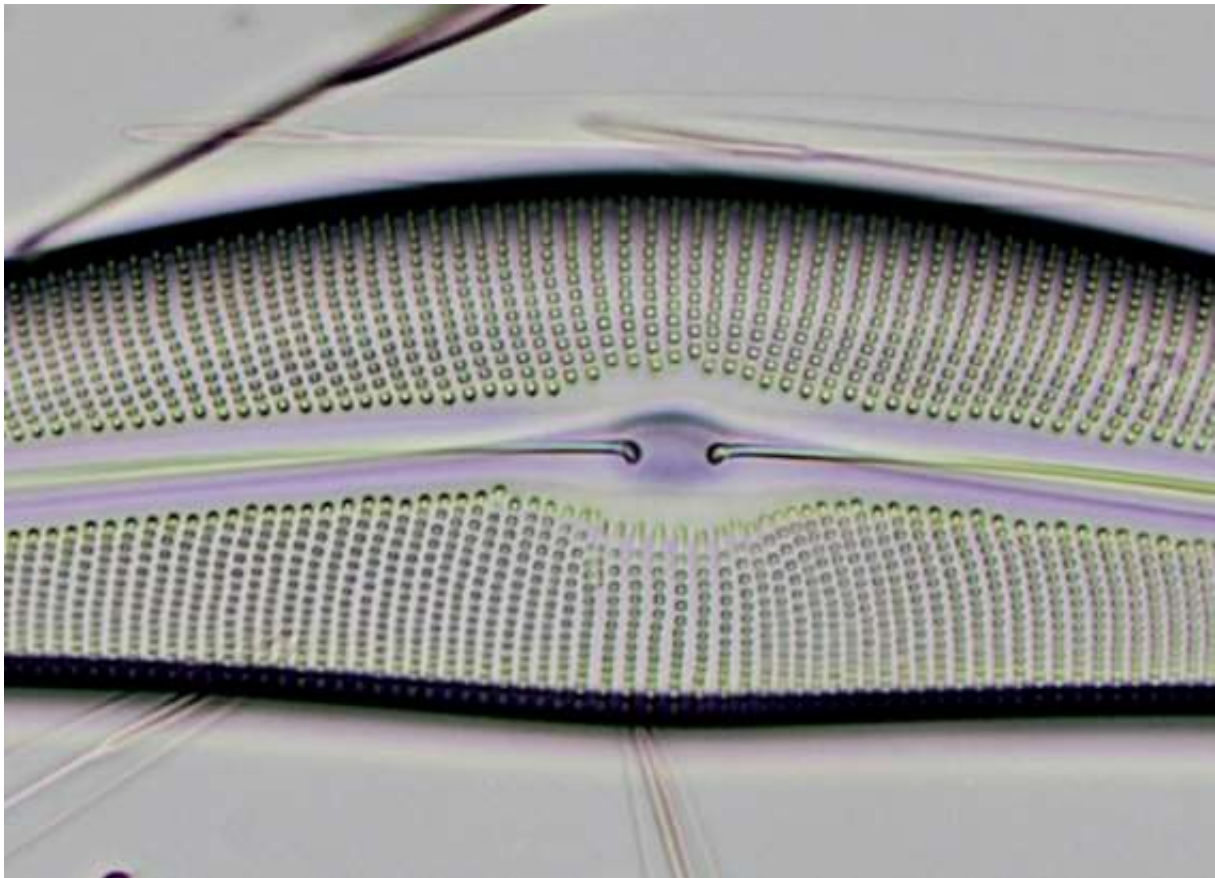
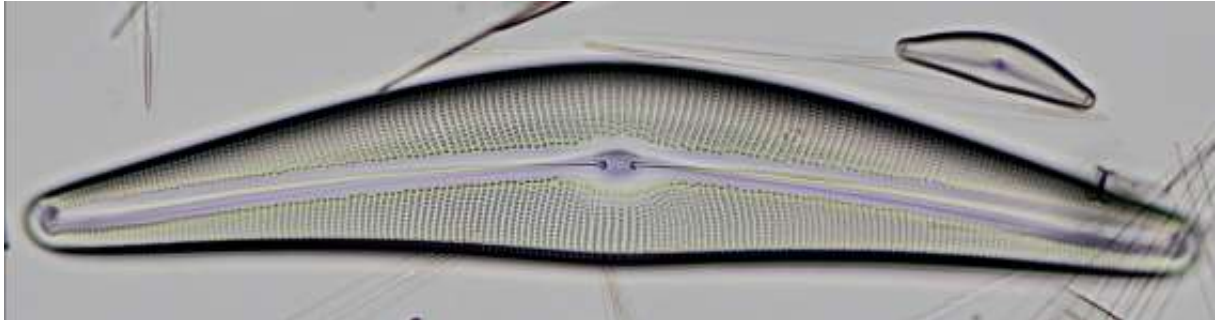
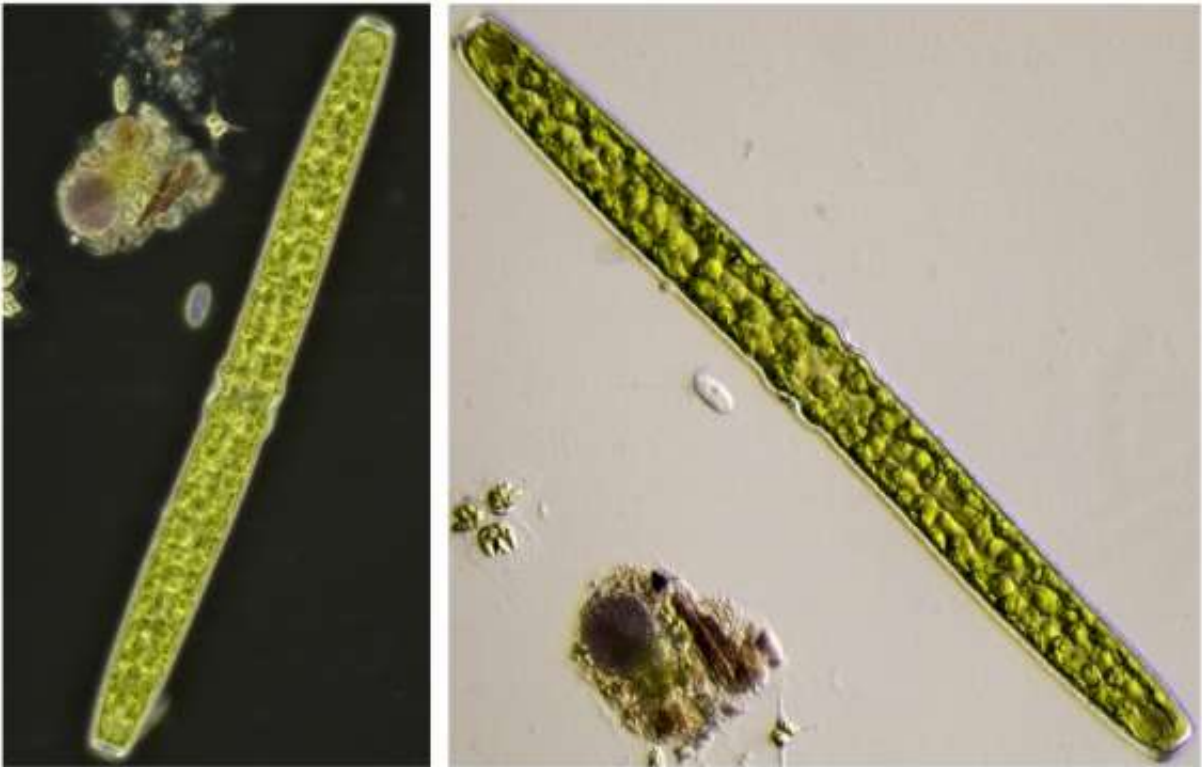
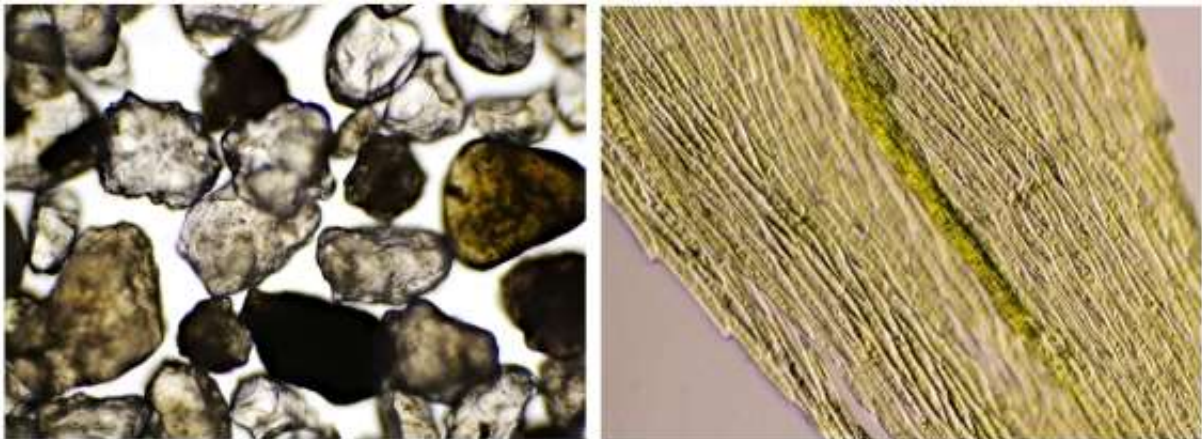


Abb.7

Hellfeld-Aufnahme von *Cymbella*. Objektiv 40/0.65. Gesamtbild und Ausschnitt

**Abb.8**

Pleurotaenium, Dunkelfeld-Aufnahme (links) und schiefe Beleuchtung (rechts). Objektiv 20/0.40.

**Abb.9**

Sand (links) und Teil eines Moosblattes (rechts). Objektiv 10/0.25.



Abb.10
Lebende *Pinnularia* in Hellfeld-Beleuchtung (oben) und schiefer Beleuchtung (unten).
Objektiv 40/0.65.



Abb.11
Chloroplasten in den Zellen von *Elodea* (Wasserpest). Objektiv 40/0.65.



Abb.12
Cymatopleura, eine Diatomee mit einer interessanten Form. Objektiv 40/0.65.

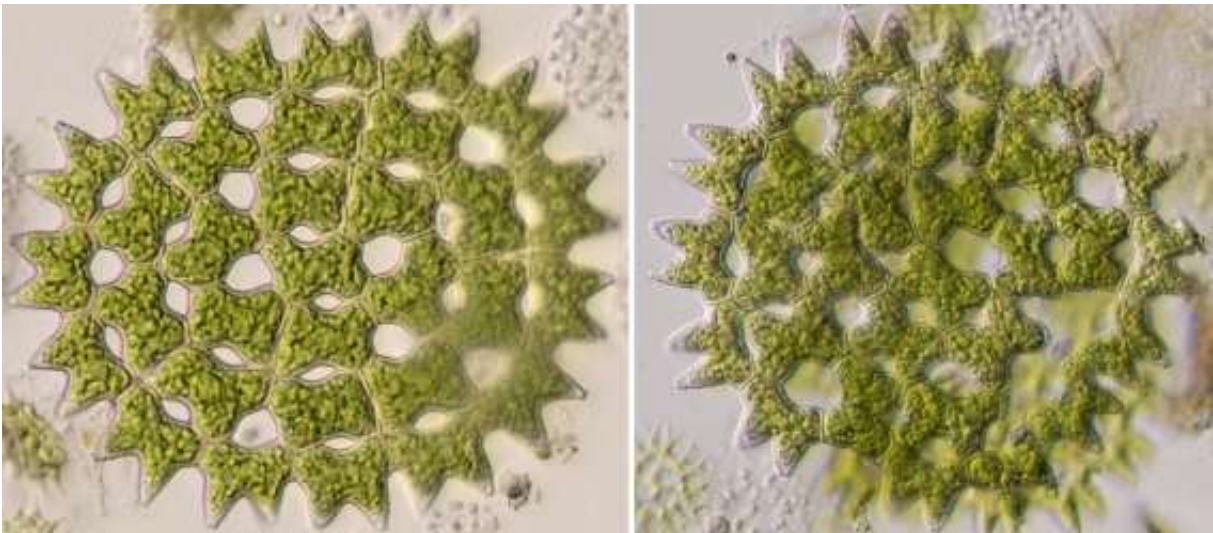


Abb.13
Pediastrum duplex. Objektiv 40/0.65.

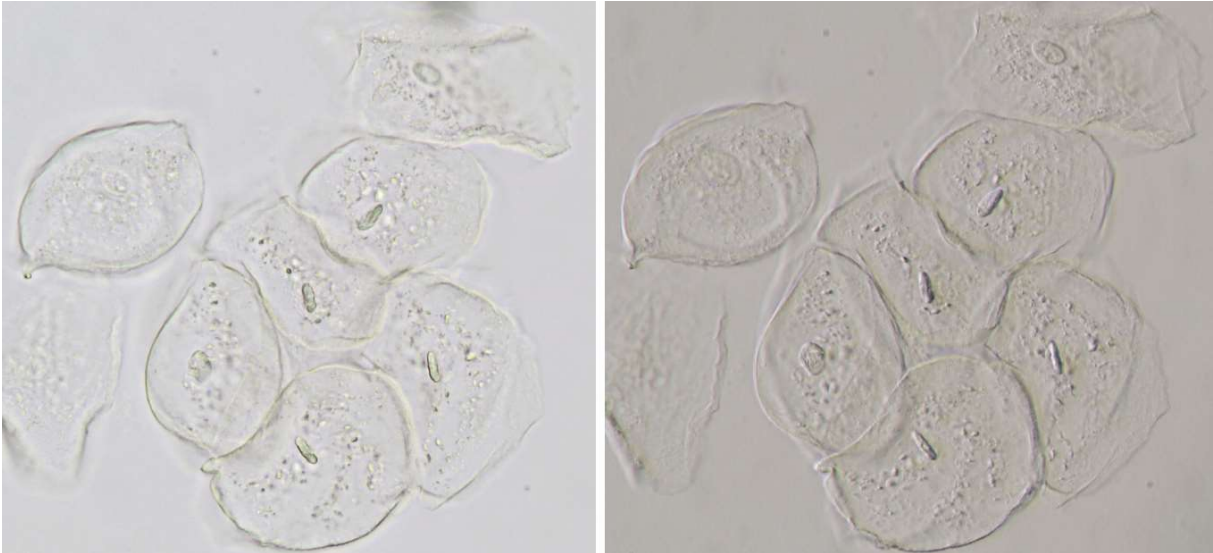


Abb.14
Wangenepithelzellen im normalen Hellfeld (links) und bei schiefer Beleuchtung (rechts). Objektiv 40/0.65.

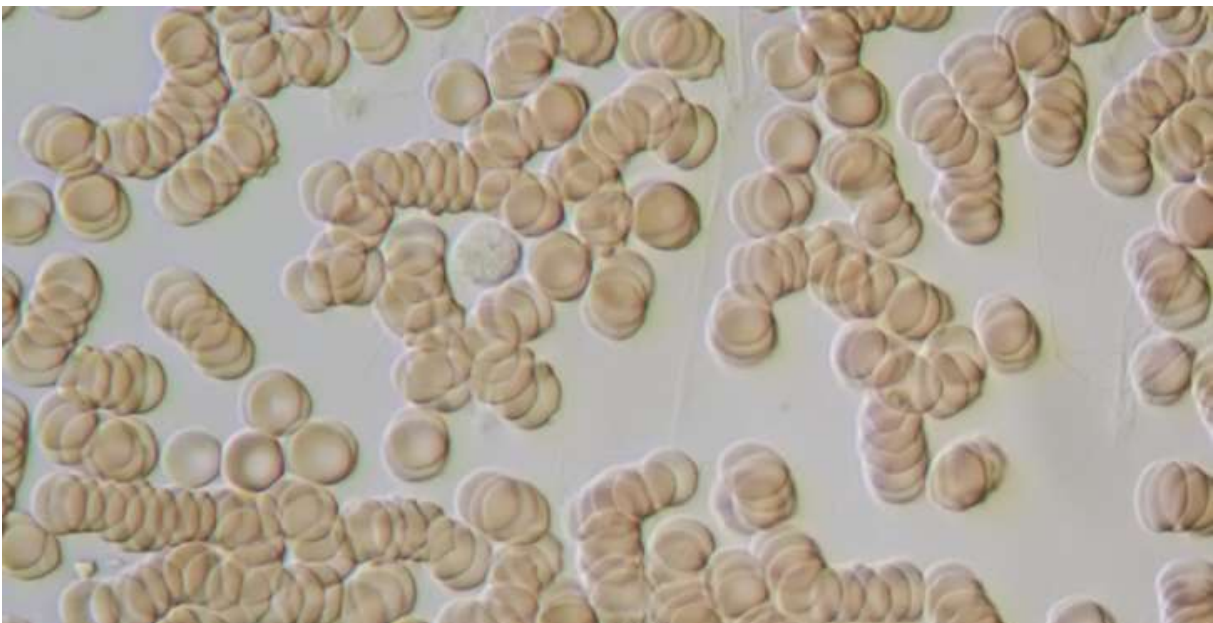
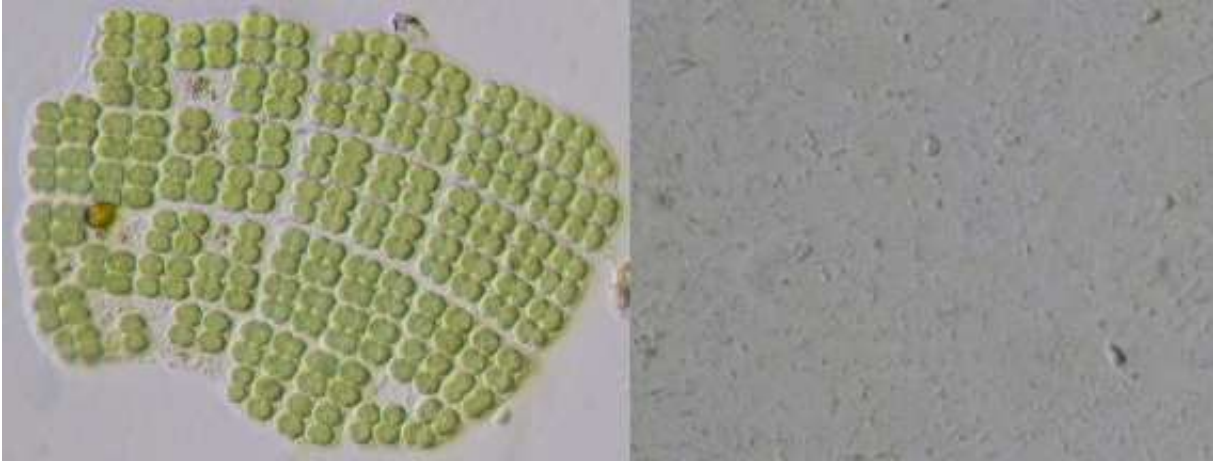
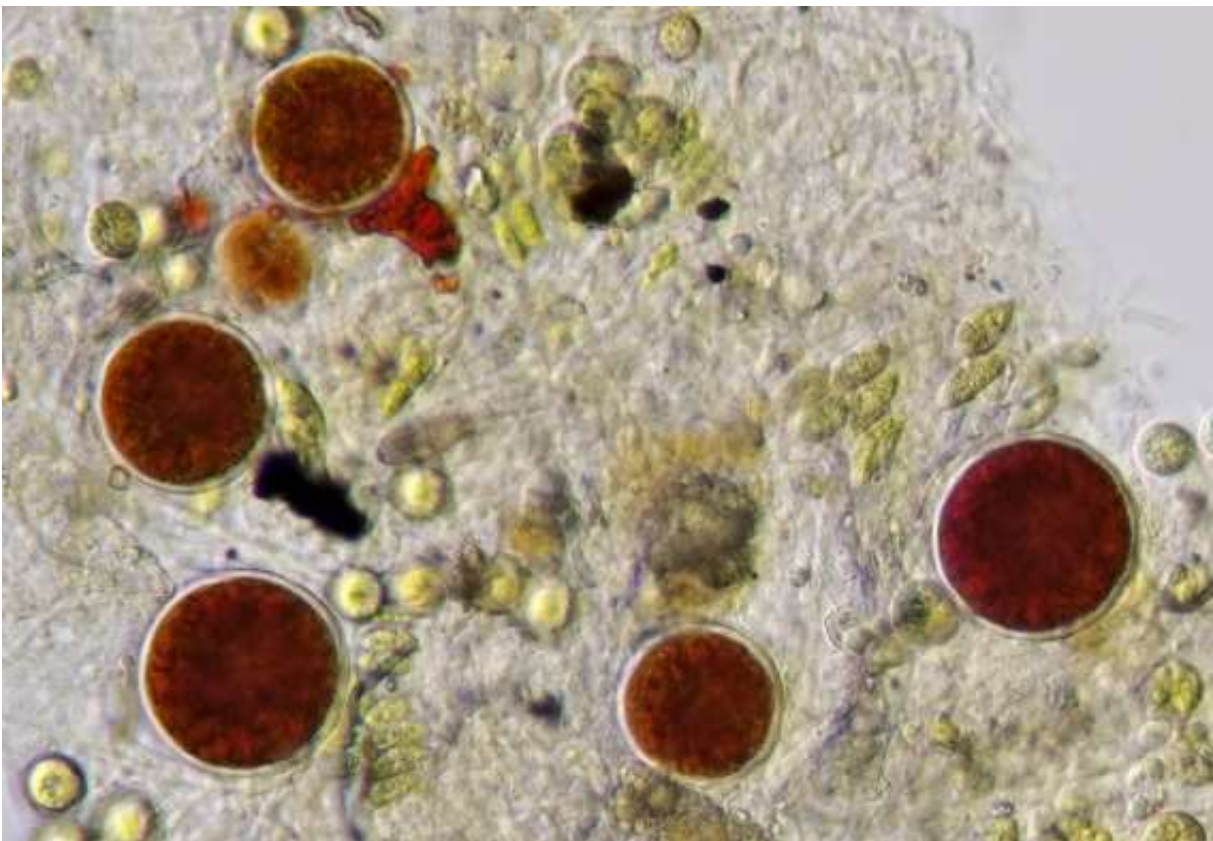


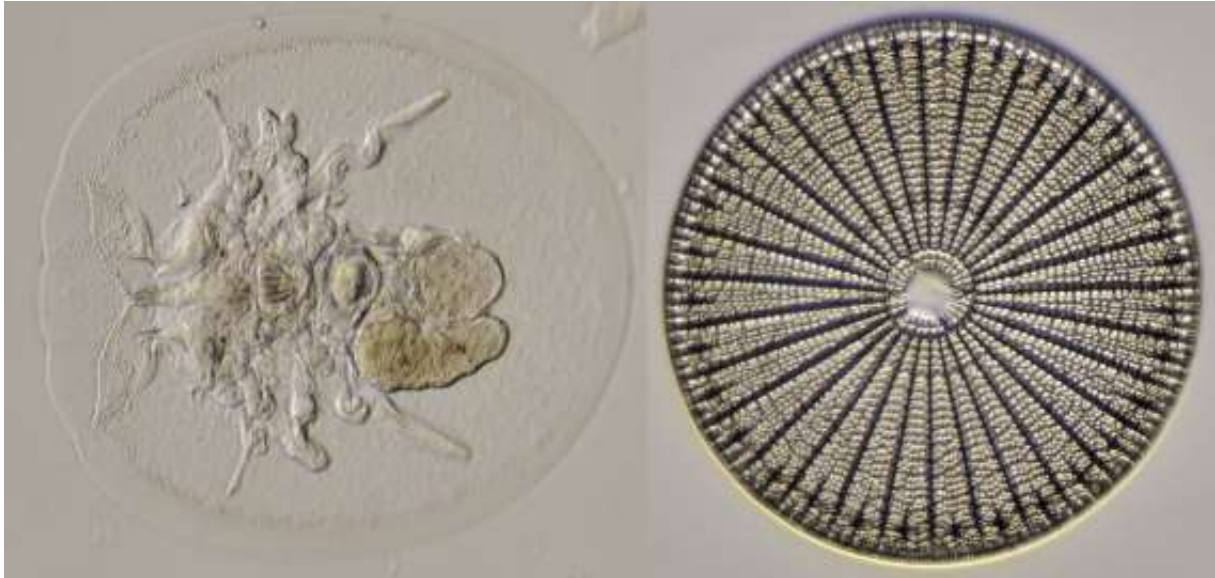
Abb.15
Nativblut mit einem Leukozyten in der Bildmitte. Ungefärbt. Schiefe Beleuchtung mit Objektiv 40/0.65.

**Abb.16**

Kleine Organismen. Links: *Merismopedia*. Rechts: ein Screenshot aus einem Video von beweglichen Bakterien in faulem Spinat. Objektiv 40/0.65.

**Abb.17**

Haematococcus aus dem Wasser einer Vogeltränke. Objektiv 40/0.65.

**Abb.18**

Ein Rädertierchen (links) und *Arachnoidiscus* (rechts). Schiefe Beleuchtung mit Objektiv 20/0.40.