

Artefacts in Photomicrographs

Report

on Investigations about
Artefacts in Photomicrographs

caused by Nikon Digital Cameras,
Models Coolpix 990, 995 and 4500

Klaus Henkel, Dachau, Germany

18 November 2003

Introduction

1. Some digital cameras with fixed built-in zoom-objective, without interchangeable objectives, if adapted to a microscope in order to make photomicrographs, cause artefacts (concentric rings or circles) in the image.

These artefacts cannot be observed well in bright-field photomicrographs, if the image of an object fills out the whole film plane. They are, however, more or less visible in the brightfield background if the objects are smaller. See Figure 1.



Fig. 1. Fot. Peter Bündgens 2003.
Objective 40:1; Ocular 6,3x

2. My findings and conclusions only refer to the camera models: Nikon CoolPix 990, 995, 4500. Many comments from my correspondence partners as well as statements in the Usenet (newsgroup *sci.techniques.microscopy* or discussion forums in the web, mainly www.mikroskopie-forum.de) lead to my conclusion that the model 990 is generally less concerned than the models 995 and 4500. Some of my correspondents confirmed that cameras of other manufacturers show similar effects if adapted to a microscope.

Artefakte in Mikrofotografien

Bericht

über die Untersuchung von
Artefakten in Mikrofotografien

verursacht von den Nikon-Digitalkameras,
der Modelle Coolpix 990, 995 und 4500

Klaus Henkel, Dachau

18. November 2003

Einführung

1. Einige Digitalkameras mit fest eingebautem Zoom-Objektiv, ohne auswechselbare Objektive, verursachen, wenn sie an ein Mikroskop zur Herstellung von Mikrofotografien angesetzt werden, Artefakte (konzentrische Ringe oder Kreislinien) im Bild.

Diese Artefakte sind im Hellfeld nicht gut erkennbar, wenn das Bild eines Objekts das Filmformat ganz ausfüllt. Sie sind jedoch bei kleineren Objekten mehr oder weniger im Hellfeld-Hintergrund sichtbar. Siehe Figur 1.

2. Meine Untersuchungsergebnisse und Folgerungen beziehen sich nur auf die Kameramodelle: Nikon Coolpix 990, 995, 4500. Viele Anmerkungen meiner Korrespondenzpartner wie auch Aussagen im Usenet (Newsgroup *sci.techniques.microscopy* oder in Diskussionsforen des [www](http://www.mikroskopie-forum.de), hauptsächlich www.mikroskopie-forum.de), führen mich zu der Folgerung, daß das Modell 990 im allgemeinen weniger betroffen ist als die Modelle 995 und 4500. Einige meiner Korrespondenten bestätigten, daß auch Kameras anderer Hersteller ähnliche Effekte zeigen, wenn sie auf einem Mikroskop montiert sind.

3. It seems to make no difference whether a common eyepiece (ocular), a photo-ocular, or a projective for photomicrography is used.

4. It seems to make no difference whether an adapter for mounting the camera on the microscope merely works mechanically, or is equipped with an optical element.

It seems to make no difference whether such an optical element is used in addition to an eyepiece or instead of it.

3. Es scheint gleichgültig zu sein, ob ein normales Okular, ein Fotookular oder ein Projektiv für die Mikrofotografie verwendet wird.

4. Es scheint gleichgültig zu sein, ob ein Adapter zum Anbringen der Kamera auf dem Mikroskop lediglich mechanisch wirkt oder ob er mit einem optischen Element ausgestattet ist.

Es scheint gleichgültig zu sein, ob ein solches optisches Element zusätzlich zum Okular oder an dessen Stelle verwendet wird.

My Findings

5. The rings or circles are not uniform, not even and regular. They show certain patterns which are typical for an individual camera respectively its objective; the distances between the circular-concentric lines are not equal; a circular line can end suddenly, or be continued by two lines; there are "bridges", connections, between lines; some lines leave their circular path in an individual angle and join a neighboring line. Nevertheless I will call them all "circles".

6. Additionally to the circles there are always a lot of smaller structures, little "points", similar to bubbles and vesicles. They can be located on every photo also showing the circles, and they never change their individual position relative to each other and to the circles. I will call them "bubbles".

7. Zooming has no effect on the characteristic patterns of the artefacts, neither on the circles, nor on the bubbles, nor on their position relative to each other.

8. Replacing an ocular by another one of higher or lower magnification, has no effect on the characteristic patterns, nor on their size.

9. The microscope objective has no influence on the patterns of the artefacts.

10. A shorter focal length f of the camera-objective makes the artefacts more faint. They nearly vanish. A longer focal length f of the objective, or closing its aperture diaphragm, intensifies the image of the artefacts.

11. No artefacts are visible if the camera is used for the kind of photography it is designed for, that is, general and close-up photography.

Meine Feststellungen

5. Die Ringe oder Kreise sind nicht gleichförmig und regelmäßig. Sie zeigen bestimmte Muster, die für ein individuelles Kamera-Exemplar oder dessen Objektiv typisch sind: Die Abstände zwischen den konzentrischen Kreislinien sind nicht gleich; eine Kreislinie kann plötzlich enden oder ihre Fortsetzung in zwei Linien finden; es gibt "Brücken", Verbindungen zwischen den Linien; einige Linien verlassen ihre Kreisbahn in einem individuellen Winkel und vereinigen sich mit einer benachbarten Kreislinie. Dessen ungeachtet nenne ich sie alle "Kreise".

6. Zusätzlich zu den Kreisen ist stets eine Anzahl kleinerer Strukturen sichtbar, kleine "Punkte", die Bläschen oder Vesikeln ähneln. Sie sind auf jedem Bild, das auch die Kreise zeigt, sichtbar und verändern die nie ihre individuelle Position im Verhältnis zu einander und zu den Kreisen. Ich nenne sie Bläschen.

7. Zoomen hat keine Auswirkung auf die charakteristischen Muster der Artefakte, weder auf die Kreise, noch auf die Blasen, noch auf ihre Position zueinander.

8. Der Austausch eines Okulars gegen eines höherer oder geringerer Vergrößerung hat keine Auswirkung auf das typische Muster oder dessen Größe.

9. Das Mikroskopobjektiv beeinflusst das Muster der Artefakte nicht.

10. Eine kürzere Brennweite f des Kameraobjektivs schwächt die Sichtbarkeit der Artefakte. Sie verschwinden beinahe. Längere Brennweiten f des Objektivs oder das Schließen der Blende verstärken die Abbildung der Artefakte.

11. Artefakte sind nicht sichtbar, wenn die Kamera in der für sie vorgesehenen Weise, nämlich für allgemeine und Nahfotografie verwendet wird.

12. If, instead of a compound microscope, only an ocular, or another camera-objective, is attached in front of the Coolpix-objective, and the light of a pocket-lamp is directed into this optical system, the same artificial circular and bubble patterns will result. See fig. 2-4.

13. The test-photos were made by Peter BUENDGENS with Pentax objectives $f = 18, 24$ and 50 mm. With $f = 18$ mm the artefacts are nearly invisible, with $f = 24$, they are clearly visible, and with $f = 50$ mm they are clearly visible, and the contrast is high.

12. Wenn statt des zusammengesetzten Mikroskops nur ein Okular oder ein anderes Kameraobjektiv vor dem Coolpix-Objektiv angebracht und mit einer Taschenlampe in dieses optische System geleuchtet wird, ergeben sich dieselben Kreis- und Blasenmuster. Siehe Fig. 2-4.

13. Die Versuchsfotos wurden von Peter BÜNDGENS mit Pentax-Objektiven von $f = 18, 24$ und 50 mm angefertigt. Bei $f = 18$ mm sind die Artefakte kaum zu sehen, bei $f = 24$ mm schon gut und bei $f = 50$ mm erscheinen die Ringe deutlich und kontrastreich.



Fig. 2 - 4. The circles and bubbles photographed through 3 different Pentax-objectives $f = 18, 24$, and 50 mm. The microscope-objective was removed from the revolver (nosepiece), and the Pentax-objective was placed on a microslide and then centered.

Abb. 2 - 4. Die Ringe und Bläschen wurden durch 3 verschiedene Pentax-Objektive von $f = 18, 24$ und 50 mm aufgenommen. Das Mikroskopobjektiv wurde vom Revolver abgeschraubt und das Pentax-Objektiv auf einen Objektträger gelegt und dann zentriert.

Fot. Peter Buendgens 2003

Conclusions

14. The artefacts, in order to be visible in the image, can exist materially only on, or in front of, and close to the image plane, resp. in a plane conjugated to it (*Luke* or field plane), or in a plane rather close to a conjugated plane.

15. The artefacts show up in the image only if an additional image-system – be it a single lens or a cemented element, an ocular, or a complete photo-objective – is placed in front of the camera objective. The Coolpix camera used normally, i. e. used in the way it was designed for, will not produce any of the described artefacts. That means a normal Coolpix, as sold, is a different optical system compared to a Coolpix combined with a microscope or telescope.

The Coolpix objective with another optical system attached in front of it, is the same kind of system as formed by the two components microscope-objective and ocular. Whenever two such systems are combined in some way, one or more field-diaphragms will result, one of them being conjugated to the specimen plane. Abbe called such a field-diaphragm a *luke* as opposed to *pupils*.

Whenever a lens with artefact-causing patterns on its surface, comes close to a *Luke*, which is a conjugated plane to the specimen-plane, any

Schlußfolgerungen

14. Die Artefakte können, damit sie im Bild sichtbar sind, körperlich nur in oder nahe der Bildebene existieren, bzw. in einer ihr konjugierten Ebene oder in einer Ebene in unmittelbarer Nähe einer konjugierten Ebene.

15. Die Artefakte treten nur dann im Bild auf, wenn ein zusätzliches Abbildungssystem – sei es eine einzelne Linse, ein verkittetes Linsenelement, ein Okular oder ein komplettes Fotoobjektiv – vor dem Kameraobjektiv angebracht wird. Eine normal benutzte Coolpix-Kamera, d. h. in der Weise wie es der Kamerakonstrukteur vorgesehen hat, wird keinerlei Artefakte hervorbringen. Das heißt, eine normale Coolpix, wie man sie im Laden kauft, ist ein anderes optisches System als eine, die mit einem Mikroskop oder Teleskop kombiniert ist.

Das Coolpix-Objektiv mit einem anderen optischen System davor, ist gleich einem System, das aus zwei Komponenten gebildet wird, wie dem System aus Mikroskopobjektiv und -okular. Wenn zwei solche Systeme auf irgendeine Weise kombiniert werden, entstehen eine oder mehrere Feldblenden, von denen eine der Objektebene konjugiert ist. Abbe nannte eine solche Feldblende *Luke*, im Gegensatz zu *Pupillen*.

Wenn eine Linse mit Artefakte verursachenden Oberflächenmustern nahe einer Luke liegt, die eine der Objektebene konjugierte Ebene ist, wird jeder

scratch or artefact-pattern on it will be visible in the image - more or less well-defined, depending on its distance to the Luke.

Thus, within the Coolpix-objective there *must* be a lens bearing the structures which cause the artefacts.

16. The *Nikonbio* department at Nikon Instruments Inc. gave a statement, which confirms our observations and conclusions.

[Original]

„Date: Sun Oct 6, 2002 4:16 pm
Re: concentric ring artifact with Coolpix 995 and oil immersion lenses.

Good microscopists will know the answer to this phenomena. High magnification, high NA objectives have a very large depth of focus. Please don't confuse this with depth of field.

[I will explain this below. KH]

This is why you can see a lot of dirt in your optical system, especially when you close the condenser aperture down too far.

What you are seeing has little to do with any artefact of the microscope, or of the relay lens of the adapter. ***It is a very small artefact of the lens of the CoolPix camera***, you can see this almost with all models, from the 900 to 995 series and also with the 4500, 5000 series.

It is produced by the ***spin cast method*** of mass producing some of the lens elements of the camera objective. Using lower magnification, lower NA objectives, will eliminate it from being captured by the detector. Opening up your condenser aperture will minimize it with high NA objectives. Digital stretching of the contrast or sharpening filters will bring some of it back.“

My correspondent added:

„This explains why there are variations in the artefact-patterns from camera-to-camera, but that probably none of them are truly artefact-free.“

17. What is the ***spin casting method***?

For a short but sufficient explanation, I refer to a text on the site <http://www.wilens.cz>:

Our company has been using spin-casting technology developed twenty-five years ago. It is based on dosing the liquid monomer into a plastic mold and its polymerization while spinning the mold. The polymerization fixes the shape of the spinning liquid and thus a lens is produced. The shape of the lens is defined by the mold shape and spinning speed. The greatest advantage of such a

Kratzer und jedes Artefakt-Muster auf ihrer Oberfläche im Bild sichtbar – mehr oder weniger scharf, je nach Entfernung von der Luke.

Im Coolpix-Objektiv *muß* es also eine Linse geben, die Strukturen aufweist, welche die Artefakte verursachen.

16. Die Abteilung *Nikonbio* bei Nikon Instruments Inc. gab eine Erklärung, die unsere Beobachtungen und Schlußfolgerungen bestätigt.

[Translation]

„Date: Sun Oct 6, 2002 4:16 pm
Re: concentric ring artifact with Coolpix 995 and oil immersion lenses

Erfahrene Mikroskopiker kennen die Ursache dieser Erscheinung. Starke Objektive hoher Apertur liefern eine große Fokustiefe [im Bildraum]. Bitte nicht mit der Schärfentiefe [im Objektraum] verwechseln.

[Ich werde das weiter unten erklären. KH]

Deshalb kann man jeden Schmutz im optischen System sehen, wenn die Aperturblende des Kondensors zu weit geschlossen ist.

Was man da sieht, hat wenig mit irgendwelchen Artefakten durch das Mikroskop zu tun, oder mit der Zwischenoptik eines Adapters. ***Es sind sehr kleine Artefakte einer Objektivlinse der Coolpix-Kamera***, die man bei fast allen Modellen wahrnehmen kann, bei den 900 bis 995 und auch bei den Serien der 4500er und 5000er.

Sie werden hervorgerufen durch das ***Schleudergußverfahren*** für die Massenproduktion einiger Linsen des Kameraobjektivs. Geringere Vergrößerung, Objektive geringerer n. A., verhindern, daß sie vom Detektor-Chip empfangen werden. Öffnen der Kondensorapertur mildert die Erscheinungen bei Objektiven hoher Apertur. Digitale Beanspruchung durch Kontrast- und Schärfefilter machen sie wiederum deutlicher.“

Mein Korrespondenzpartner fügte hinzu:

Das erklärt, warum die Artefakt-Muster von Kamera zu Kamera verschieden sind, jedoch wahrscheinlich kein Exemplar völlig frei von ihnen ist.

17. Was ist das ***Schleudergußverfahren***?

Für eine kurze aber ausreichende Erklärung beziehe ich mich auf die Site <http://www.wilens.cz>:

Für die Schleudergußproduktion (spin-casting) verwenden wir das vor 25 Jahren entwickelte Verfahren. Sein Prinzip ist die Dosierung des flüssigen Monomers in die Plastikform und die Polymerisierung während der Rotation der Form. Durch die Polymerisierung wird die Form der rotierenden Flüssigkeit fixiert und so eine Linse gebildet. Die Linsengestalt wird durch die Form und die Rotationsgeschwindigkeit

production method is that only a small number of molds is needed. One mould type may be used for casting lenses with the range of up to 10 Dioptries.

Spin-casting advantages become the most obvious when comparing this method to the method of cast-molding, when two molds for each power are needed. However, in order to achieve perfect spin-casting for top-quality lens production, it is absolutely essential to master the theory of rotating liquid. It is primarily the highly sophisticated know-how that often makes the producers go for the technologically simpler but significantly less cost-effective cast-molding.

Since its very beginning, the spin-casting technology has been gradually improved through integration with the latest automation and controlling components in order to achieve today's excellent productivity. The current production line finishes one lens in 6 seconds with the loss reaching 10% in comparison to the original 15-second cycle with 70% loss.

At the time of its invention, the spin-casting technology was patented and protected almost all over the world. After the protection rights having expired, the company WILENS, in addition to their lenses, also offers production lines and machinery, and the know-how for lens design and production.

18. The **spin casting method** offers some explanations for the existence of structures on or in a lens.

Accelerating or slowing down the rotating mold may cause friction-marks on the „bottom“ surface of a lens, which cannot be smoothed during the process of polymerization of the monomer and the hardening.

On the other hand, the structures causing the artefacts may not exist on the lens-surface, but may be circular places of different density, a result of the polymerization and hardening process itself.

We do not have to decide this, since the above explanation of *NikonBio* seems plausible and sufficient.

19. A further explanation of the artefacts given by Nikon can be found under the following link in the customer help database in the internet at this address:

http://nikon-ikdde.custhelp.com/cgi-bin/nikon_ikdde.cfg/php/enduser/std_adp.php?p_sid=WEIVUZXg&p_lva=1627&p_faqid=1627&p_created=1053701832&p_sp=cF9zcmNoPTEmcF9ncmlkc29ydD0mcF9yb3dfY250PTEmcF9zZWfYy2hfdGV4dD1taWtyb3Nrb3AmcF9zZWfYy2hfdHlwZT0zJnBfcHJvZf9sdmwxPX5hbnl_JnBfcHJvZf9sdmwyPX5hbnl_JnBfY2F0X2x2bDE9fmFueX4mcF9zb3J0X2J5PWRmbHQmcF9wYWdlPTE* &p_li=

keit bestimmt. Ein großer Vorteil dieses Produktionsverfahrens ist die geringe Anzahl der benötigten Formen. Es ist möglich, in einem einzigen Formentyp Linsen mit einer Spannweite von bis zu 10 Dioptrien abzugießen.

Die Vorteile des Rotationsgusses werden deutlich beim Vergleich mit der Gußmethode zwischen 2 Formen (Formguß, cast-molding), wo man für jede Dioptrie zwei verschiedene Formen braucht. Die Voraussetzung für die effektive Ausnutzung der Schleudergußmethode ist die perfekte Beherrschung der Theorie der umlaufenden Flüssigkeit, die für den Entwurf von Qualitätskontaktlinsen notwendig ist. Der hohe Anspruch an das Know-how ist ein Grund, warum viele Firmen für die Linsenproduktion das zwar finanziell anspruchsvollere, aber technologisch einfachere cast-molding wählen.

Die Schleudergußtechnologie wurde seit Anbeginn ständig durch die Integration der modernsten Automatisierungs- und Steuerungskomponenten vervollkommnet, so daß wir heute eine hervorragende Produktivität erreichen. Die heutige Fertigungsstraße produziert eine Linse in 6 Sekunden; der Ausschuß beträgt weniger als 10%. Die ursprüngliche Fertigungsstraße hatte einen Zyklus von 15 Sekunden, und der Abfall betrug 70%.

Die Schleudergußtechnologie wurde zur Zeit ihrer Entstehung patentiert und war fast in der ganzen Welt geschützt. Nachdem die Schutzrechte nun abgelaufen sind, bietet die Firma WILENS neben ihren Linsen auch Produktionsanlagen (Fertigungsstraßen) und das Know-how für Entwurf und Herstellung an.

18. Das **Schleudergußverfahren** bietet einige Erklärungen für die Existenz von Strukturen auf oder in einer Linse.

Beschleunigung oder Abbremsung der rotierenden Gußform könnten auf der unteren Linsenoberfläche Reibungsspuren verursachen, die durch den Prozeß der Polymerisation des Monomers und der Aushärtung nicht geglättet werden können.

Andererseits müssen sich die Artefakte verursachenden Strukturen keineswegs auf der Linsenoberfläche befinden, sondern könnten ringförmige Stellen unterschiedlicher Dichte sein als Ergebnis des Polymerisations- und Härtingsprozesses selbst. Wir müssen das nicht entscheiden, da die obige Erklärung von *NikonBio* plausibel und hinreichend erscheint.

19. Eine weitere Erklärung der Artefakte findet sich unter dem folgenden Link in der Kunden-Hilfedatenbank im Internet unter dieser Adresse:

The content of the statement is the following:

Der Inhalt der Nachricht lautet wie folgt:

[Translation]

[Original]

Under certain circumstances, when using a Coolpix 4500, the occurrence of concentric circles can be observed in the images.

„Unter bestimmten Umständen kann bei Gebrauch einer COOLPIX 4500 am Mikroskop das Auftreten von konzentrischen Ringen in den Aufnahmen beobachtet werden.“



Fig. 5

The surface of the aspherical lens of the Coolpix 4500 is structured in order to have an ideal adjustment of the light rays for the exact centering on the point of focus. These minimal lines are invisible when using the camera for normal photography without adaptation to a microscope. If adapted to a microscope, the increased depth of focus through combination of the diaphragm setting of the camera with that of the microscope may cause those structures becoming visible in the image (see above photograph [Fig. 5]).

Die Oberfläche der asphärischen Linse der COOLPIX 4500 ist strukturiert, um die ideale Anpassung der Lichtstrahlen zur exakten Zentrierung auf den Schärfe punkt zu erhalten. Diese minimalen Linien sind nicht sichtbar, wenn man normale Aufnahmen ohne Ansatz an ein Mikroskop macht. Sollte jedoch die Kamera am Mikroskop betrieben werden, so kann die Erhöhung des Tiefenschärfefeldes durch die Kombination der Blendenwerte der Kamera und des Mikroskops dazu führen, dass diese Strukturen mit abgebildet werden (siehe Abbildung oben) [Fig. 5].“

[End of citation]

[Ende des Zitats]

Again, we do not have to decide, whether this or Nikon's statement under No. 16 (above) is true or more plausible, or whether both are supplementary to each other. Since both of them postulate the existence of „structures“ on the surface or within the body of a lens, each of them, or both, can sufficiently explain the concentric circles and bubbles in the image.

Auch hier brauchen wir nicht zu entscheiden, ob diese oder Nikons Aussage unter Nr. 16 (oben) wahr oder plausibler ist, oder ob sich beide ergänzen. Da beide die Existenz von Strukturen auf einer Linsenoberfläche oder im Innern der Linse voraussetzen, kann jede von ihnen oder beide zusammen die konzentrischen Kreise und Bläschen auf den Aufnahmen hinreichend erklären.

20. Many users have observed that with the Coolpix-objective set to $f = 8,2$ mm, focused to infinity, and the f-stop set at $f:2,6$, the artefacts can almost be eliminated.

The shorter the focus length f , the shorter the extension of the objective-tube. Therefore its entrance pupil (EP) can reach the position of the exit pupil (AP) of the microscope. This is the ideal position for mounting a camera with a non-interchangeable, but fixed, lens system.

With a long f , however, the lens-system is extended and the EP of the objective cannot reach the ideal position. Additionally, an inner lens group is moved for changing f . This movement brings one of its lenses, bearing the artefact-pattern (!), close to a field diaphragm (*luke*) inside the camera objective. This field diaphragm is conjugated to the image plane, and therefore the artefact is formed in it as an image.

21. **Why** does the microchip-sensor in the image-plane, „see“ the ring-shaped structures of a certain lens, and inserts them into the image? What means „depth of focus“?

Remember the *imaging equation*? I will not go further into this, just take Fig. 6 as a reminder:

The longer the distance a between object-plane y and objective H , the shorter is the distance a' between objective H' and image plane y' . And, of course, vice versa.

20. Viele Anwender haben beobachtet, daß bei Einstellung des Coolpix-Objektivs auf $f = 8,2$ mm, Entfernung Unendlich und Blende $f:2,6$ die Artefakte nahezu verschwinden.

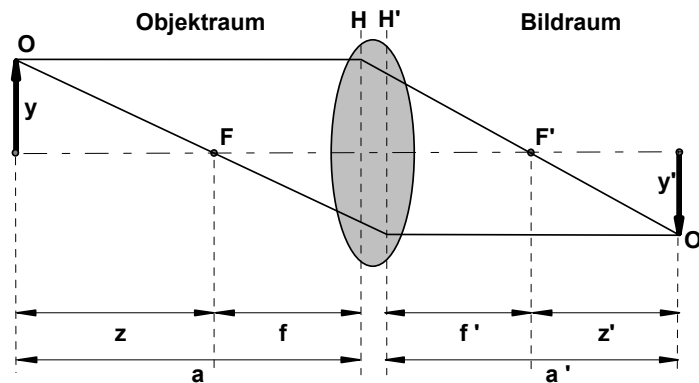
Je kürzer die Brennweite f , desto geringer der Auszug des Objektivs in der Fassung, weshalb seine Eintrittspupille (EP) die Position der Austrittspupille (AP) des Mikroskops erreicht. Dies ist die ideale Position bei der Anbringung einer Kamera ohne herausnehmbares Objektiv.

Mit langer Brennweite f wird jedoch das Objektivlinsensystem verlängert, und die EP kann nicht ihre Idealposition erreichen. Zusätzlich wird eine innere Linsengruppe zur Veränderung der Brennweite verschoben. Diese Bewegung bringt eine Linse mit den Artefaktmustern in die Nähe einer Feldblende (*Luke*) im Objektiv. Diese Luke ist der Bildebene konjugiert, deshalb wird der Artefakt in ihr abgebildet.

21. **Warum** sieht der Mikrochip-Sensor in der Bildebene die kreisförmigen Strukturen einer bestimmten Linse und fügt sie in das Bild ein? Was bedeutet „Fokustiefe“?

Erinnern Sie sich an die *Abbildungsgleichung*? Ich will das nicht vertiefen, nur die Erinnerung mit Fig. 6 auffrischen:

Je größer die Entfernung zwischen Objektebene y und dem Objektiv H , desto kürzer die Entfernung a' zwischen Objektiv H' und Bildebene y' . Das gilt selbstverständlich auch umgekehrt.



$$M = y' : y = a' : a = f : z = z' : f'$$

Fig. 6

22. And macro-photographers know: the shorter z , the larger the image in y' , but the smaller the depth of field too. But what they mostly do not know, because it seems not important: the smaller the depth of field at the object-side, the larger the depth of field at the image-side, where it is called **depth of focus**. Why the *depth of focus* is larger than the d.o.field, we can see here:

22. Und Makrofotografen wissen: je kürzer z , desto größer das Bild in y' , aber auch desto geringer die Schärfentiefe. Doch was sie meist nicht wissen, weil es nicht wichtig erscheint: je kleiner die Schärfentiefe auf der Objektseite, desto größer die Schärfentiefe im Bildraum, wo man sie auch **Fokustiefe** nennt. Warum die *Fokustiefe* größer ist als die Schärfentiefe im Objektraum, können wir hier sehen:

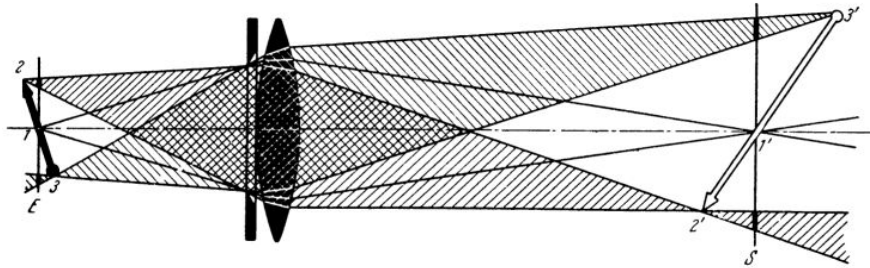


Fig. 7. From: Michel, Kurt: *Die Mikrophotographie*. 3. Aufl. Springer-Verlag, Wien, New York, 1967.

Comparing the object (arrow 2-3) with its image (2'-3') we can see that the depth of field (left side: angle between 2-3 and E) is smaller than the depth of focus (right side, angle between 2'-3' and S).

Beim Vergleich des Objekts (Pfeil 2-3) mit seinem Bild (2'-3') erkennen wir, daß die Schärfentiefe (links, Winkel zwischen 2-3 und E) geringer ist als die Fokustiefe (rechts, Winkel zwischen 2'-3' und S).

In the next step (the last one) we see a camera with bellows attached to a microscope-ocular.

Im nächsten Schritt (dem letzten) betrachten wir eine über einem Mikroskopokular angebrachte Balgenkamera.

(The following text and figure from:
Lawson, Douglas: *Photomicrography*. Academ. Press, London and New York 1972.)

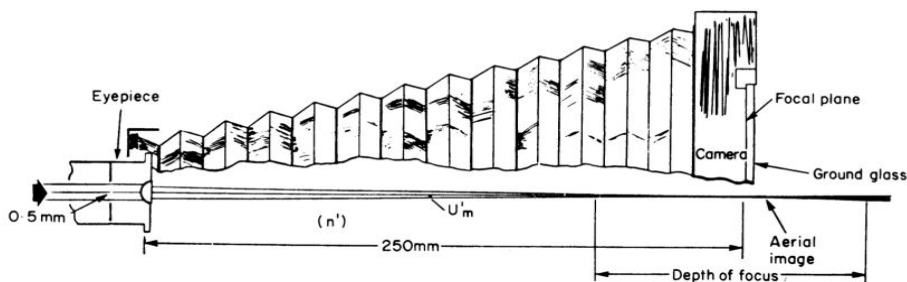


Fig. 8

[Original]

23. „Depth of focus is the focal range over which an image is visible as a line or a point and not a disc. It is not generally realized that the location of the focal plane along the optical axis is quite considerable. After carefully focusing on a fine specimen, it will be found that the focal plane (area of the ground glass screen, the film, or the chip) can be moved in two directions away from the focused point without causing any noticeable change in the focus of the image. Having moved the focused plane (ground glass screen), it is impossible to return the position held when originally focusing the specimen. The reason for this is that the „depth of focus“ in the image is considerable.

[Translation]

23. Die Fokustiefe ist der Schärfebereich in welchem ein Bild als eine Linie oder ein Punkt gesehen wird, nicht aber als eine Scheibe. Es ist nicht allgemein bekannt, daß die Position der Fokusebene auf der optischen Achse recht bedeutsam ist. Nach der genauen Einstellung eines feingegliederten Objekts kann man feststellen, daß die Fokusebene (Mattscheiben-, Film- oder Chip ebene) in beiden Richtungen aus der Einstellebene verschoben werden kann, ohne daß eine merkliche Veränderung in der Schärfe des Bildes sichtbar wird. Es ist jedoch danach unmöglich, diejenige Filmebene wieder zu finden, in der man das Objekt scharf eingestellt hatte. Der Grund ist die erhebliche Schärfentiefe in der Bildebene („Fokustiefe“).

The depth of focus in the space of a lens system is given by A. E. Conrady, as

Die Fokustiefe bezeichnet A. E. Conrady mit

$$\frac{\lambda}{n' \sin^2 U'_m}$$

$$\frac{\lambda}{n' \sin^2 U'_m},$$

where *Lambda* = wavelength of the light, and *n'* = the refractive index of the medium in the image-

in der *Lambda* die Lichtwellenlänge ist, *n'* = Brechungsindex des Mediums im Bildraum und *U'_m* = Winkel der Begrenzungsstrahlen mit der Bildachse;

space, and U'_m = the angle that the marginal rays make with the axis as set out in fig. 8. If this is applied to the image in the area of the focal plane of the camera it will be seen that U'_m is a very small angle - see fig. 8. This in turn means that the angle of rays leaving the eye lens of the eyepiece is also very narrow. In case the focal plane is 250 mm from the eye lens, ... the focal range for the focal plane is 12.5 cm.

From the foregoing it can be seen that movement to either side of the focused point in the focal plane is given by just over 6 cm, demonstrating considerable latitude without serious loss of sharpness. Depth of focus also changes with a change in the N. A.; the greater the angle of the rays of light transmitted from the objective the more critical is the depth of focus. The introduction of a small aperture will of course extend the depth of focus.

24. The considerable depth of focus is the cause why structures, on the surface or in the body of certain lenses can be seen fairly sharp by the camera-chip. It also explains why the image of the ring-structures and bubbles is not really sharp: the position of their image does not lie exactly in the focal image plane or a „luke“ conjugated to the image plane.

siehe Figur 8. Auf das Bild in der Filmebene angewandt, erkennen wir, daß U'_m ein sehr enger Winkel ist – siehe Fig. 8. Dies wiederum bedeutet, daß der Bildwinkel, der aus der Augenlinse des Okulars austritt, ebenfalls sehr eng ist. Bei einer angenommenen Kameralänge von 250 mm (Entfernung Filmebene von der Austrittspupille des Okulars) ... beträgt die Schärfentiefe in der Filmebene 12,5 cm.

Daraus folgt die Beobachtung, daß die Filmebene ohne nennenswerten Schärfeverlust jeweils gut 6 cm nach vorne oder nach hinten verlegt werden kann, was den erheblichen Schärfentiefebereich zeigt. Diese Fokustiefe ändert sich mit der n. A.; je größer die Objektivapertur, um so kritischer ist die Fokustiefe. Geringere Apertur vergrößert dementsprechend die Fokustiefe.

24. Die erhebliche Schärfentiefe ist der Grund, warum Strukturen auf der Oberfläche oder im Körper bestimmter Linsen vom Kamerachip einigermaßen scharf wahrgenommen werden. Sie erklärt auch, warum das Bild der Ring- und Bläschenstrukturen nicht wirklich scharf ist: ihr Bild liegt nicht genau in der Filmebene oder in einer Luke, die ihr konjugiert ist.



25. In my judgement the statements and explanations given above about this artefacts-matter are sufficient for the moment, and I will close my "project" now.

I received quite a number of e-mails with photomicrographs from my many correspondents. I like to thank them all for their contributions, especially Peter BUENDGENS, who made a lot of photos and experiments on behalf of my requests, and Peter EVENNETT of the *Royal Microscopical Society* for his photos, and for his early supporting my suspicion of the circles being caused by a structured lens surface.

25. Nach meiner Einschätzung sind die obigen Ausführungen und Erklärungen zur Artefakt-Angelegenheit augenblicklich ausreichend, deshalb schließe ich diese Arbeit hiermit ab.

Ich habe eine große Anzahl eMails mit Mikrofotos von meinen vielen Korrespondenten erhalten. Ich danke ihnen für alle ihre Beiträge. Mein besonderer Dank gilt Peter BÜNDGENS, der auf meine Bitten hin viele Fotos und Experimente gemacht hat, und Peter EVENNETT von der *Royal Microscopical Society* für seine Fotos und seine frühe Bestärkung meines Verdachts, daß die Ringe durch Strukturen auf einer Linsenoberfläche verursacht werden.

Addendum

14. Jan. 2004

After Dave Walker had published my report in MICSCAPE in January 2004, I received an interesting and confirming statement from Ted Clarke. I thank him for his permission to publish his comments as an addendum to my report.

[Original]

„I enjoyed reading your article and have some comments.

Nikon did not note that the molds for the aspherical lenses must be single point CNC turned with a diamond cutting point. Unless this process is very well controlled, a tool mark pattern of a tight spiral or concentric rings will appear on the surface of the mold and be replicated on the surface of the plastic lens made in the mold by spin casting.

I have proven to Gordon Couger that this artifact can be totally avoided with my Coolpix 995 by setting the Koehler illumination to fill at least 80% of the objective rear focal plane and not zooming beyond just eliminating the image of the field diaphragm adjusted to match the 18 mm field number of the high eyepoint eyepiece (field stop diameter for the intermediate image formed at the field stop of the eyepiece.)

The Coolpix focus is set at infinity and the camera aperture is set fully open, about f/2.6. I have no vignetting using either my Zeiss 10X Kpl very high eyepoint eyepiece or the noncompensating eyepiece obtained from Mark Simmons.

Regards,
Ted Clarke

Nachdem Dave Walker meinen Bericht im Januar 2004 MICSCAPE in veröffentlicht hatte, erhielt ich eine interessante und bestätigende Anmerkung von Ted Clarke. Ich danke ihm für die Erlaubnis, seinen Kommentar als Nachtrag zu meinem Bericht zu veröffentlichen.

[Übersetzung]

Ich habe Ihren Artikel erfreut gelesen und habe einige Anmerkungen.

Nikon hat nicht vermerkt, daß die Gußformen für die asphärischen Linsen auf einer CNC-Spitzendrehbank mit Diamantspitze gedreht werden müssen. Wenn dieser Prozeß nicht sehr präzise gesteuert wird, entstehen auf dem Boden der Gußform Werkzeugspuren in Form einer engen Spirale oder konzentrischer Ringe, die beim Schleudergußverfahren auf die Oberfläche der Kunststofflinse übertragen werden.

Ich habe Gordon Couger bewiesen, daß dieses Artefakt [im Bild] bei meiner Coolpix 995 vollständig vermieden werden kann, wenn man die Köhlersche Beleuchtung so einstellt, daß sie mindestens 80% der hinteren Objektivbrennebene ausfüllt [Aperturblende!], und wenn man nicht größer „zoomt“ als nötig ist, um das Bild der Leuchtfeldblende gerade verschwinden zu lassen, das auf den Sehfelddurchmesser eines 18-mm-Okularsehfeldes eines Brillenträgerokulars mit großem Augenabstand eingestellt ist. (Feldblendendurchmesser zur Begrenzung des Zwischenbildes in der Ebene der Okularblende).

Die Entfernungseinstellung der Coolpix wird auf Unendlich gestellt und die Kamerablende voll geöffnet, auf ungefähr f:2,6. Ich habe keine Vignettierungen, weder bei Verwendung meines Zeiss Kpl-Okulars 10x mit sehr hochliegender Austrittspupille, noch mit dem nicht-kompensierenden Okular von Mark Simmons.

--- Ω ---

Klaus Henkel
Auf der Scheierlwiese 13
85221 Dachau
Germany