

P-Coating: Improved Imaging in Binoculars through Phase-Corrected Roof Prisms

Adolf Weyrauch, Dr. Bernd Dörband

Special reprint from Deutsche Optikerzeitung, Heidelberg, No. 4/1988

1. Introduction

Roof prisms are often used today for image reversal in binoculars. Compared to the traditionally used Porro prisms, roof prisms have the advantage of allowing slim, compact designs. Binoculars of this type are therefore generally lighter and more handy than their predecessors equipped with Porro prisms.

But what about the imaging quality? Are there fundamental image differences between roof and Porro systems?

From the point of view of ray optics, the answer is clearly "no." And yet, light has a peculiarity to offer—to the annoyance of the optics designer: it possesses a wave character that comes into full effect in total internal reflection.

In the roof prism, the pupil halves separated by the roof edge act differently on the light wave. This degrades the imaging quality. If special coatings—called P-coating at Carl Zeiss—are vapor-deposited on the roof surfaces, the light wave is uniform across the pupil in the roof prism as well. Then there is no qualitative difference compared to a Porro system.

In the following, some causes that lead to image degradation are mentioned. The mode of action of roof prisms and their wave-optical effects are explained. The image improvement through the P-coating is demonstrated by means of examples.

2. Influences on Image Quality

In optical imaging, it is known to be important that the rays emanating from an object point are redirected by the optical instrument in such a way that they are reunited as well as possible to form an image point.

Unfortunately, reality confronts us with great difficulties in the form of refraction laws when it comes to imaging extended objects sharply with a single lens. The occurring imaging errors cause a more or less imperfect ray union. As a result, points of light are no longer imaged as points, but as small "light discs" (Fig. 1).

If the light discs of two closely adjacent object points overlap too much, they can no longer be perceived as separate. Fine object structures are lost as a result; one says the resolution becomes lower.

In order to eliminate imaging errors or reduce them to such an extent that the remaining image deterioration is no longer perceived by the eye, optical systems must be composed of several lenses.

Basic prerequisites for a binocular of high image quality are therefore multi-lens objectives and eyepieces. The number of lenses alone is not decisive, but their image error-correcting interaction.

Beyond the imaging errors calculable with purely geometrical ray optics, there are effects that can only be explained by the wave character of light.

If a star is imaged with an optical system free of imaging errors, one obtains a light disc surrounded by concentric rings of decreasing brightness (Fig. 2), the diameter of which is larger than it should be according to the geometric imaging laws. If one changes the free diameter (the pupil) of the imaging system, the diameter of the light spot and the rings also changes. This effect is explained by the diffraction of the light wave at the limiting aperture, the pupil. Just as waves on a water surface are deflected (diffracted) at the edges of an obstacle, light waves are also deflected from their original direction of propagation at edges. The larger the limiting aperture, the smaller the diffraction phenomena in the image.

Now, for understandable reasons, one cannot make the apertures of optical devices arbitrarily large. This is also not necessary, because the eye itself has a resolution limit, determined among other things by the retinal structure, the pupil diameter and the imaging errors of the optics of the eye. This resolution limit, apart from individual variations, is one angular minute. For this, the eye pupil must be open to at least 2 mm, otherwise the increasing diffraction phenomena reduce the resolution.

In twilight and night vision, the eye pupil is known to open to 6 to 8 mm, but no increased resolution is achieved, because firstly the eye switches from "cone" to "rod vision", and secondly the geometric imaging errors of the eye lens become larger with the open pupil.

For binoculars, it would therefore be required that their exit pupils have a minimum diameter of 2 mm, otherwise the theoretical binocular resolution would fall below that of the eye.

We had previously stated that the perfect imaging of a point includes the merging of the rays into a common image point. If we consider light propagation as a wave motion and assign individual wave trains to the rays, we can view the resulting brightness at the image point as a superposition of all the wave trains meeting there.

If two wave trains are superimposed in such a way that their wave crests coincide, the resulting amplitude increases—the light is amplified (Fig. 3a). If, however, the wave crests coincide with the wave troughs, the amplitudes cancel each other out—darkness is created (Fig. 3b). This mutual influence is called interference.

We see from this that in ray union it is important that the wave crests of the light waves arrive simultaneously at the image point. Only then does maximum brightness result. The expert speaks of "in-phase" arrival as opposed to "phase-shifted" arrival of the light waves.

To summarize: The image quality of optical instruments is reduced by

- an imperfect geometric ray union,
- the diffraction of the light waves at the limiting aperture,
- phase-shifted arrival of light waves at the image point.

In the next section we want to deal with the roof prisms and their influence on the image quality.

3. Imaging Properties of Roof Prisms

The variety of designs of roof prisms for image reversal is large. Straight-vision prisms have become practically established, in which an axially parallel ray experiences no angular deflection and is displaced only slightly or not at all laterally.

Fig. 4 shows as an example two types of straight-vision roof prism systems consisting of two individual prisms: The Abbe-König system and the Pechan system.

The former produces four reflections by total internal reflection. This is at the same time the smallest possible number of reflections, because at least two are needed for side reversal, two more for height reversal.

The Pechan system, with its six reflections, produces a larger ray wrap-up and thus allows particularly compact designs.

The roof prism systems mentioned here act in terms of ray optics like a thick plane-parallel plate standing perpendicular to the optical axis of the binoculars. The roof edge must be particularly sharp if it is to remain invisible, and the roof angle of 90° must be made accurate to a few seconds of arc so that no double images are produced.

An inaccurately manufactured prism leads in any case to an imperfect geometric ray union - the imaging quality is reduced.

Now to the behavior of the light waves at the roof prism, whereby we assume that the prism is geometrically perfectly manufactured and that flawless glass material is used.

The internal ray deflections of the roof prisms mentioned here are based on total internal reflection at the glass-air interfaces (exception: mirrored surface on the Pechan prism). In total internal reflection, something unexpected happens to the light: The light waves that oscillate parallel to the plane of incidence are phase-delayed compared to those oscillating perpendicular to the plane of incidence (Fig. 5). The expert speaks of "elliptically polarized" light that is created by total internal reflection.

In the roof prism, the incident beam bundle is divided into two halves. The two halves differ in the order in which they pass through the roof surfaces, but also in the type of phase shift they acquire. About 70% of the light waves of one half are phase-shifted by half a wavelength compared to those of the other half.

Since both partial bundles are recombined during observation through the eye, extensive extinction occurs at the geometric image point due to interference. However, the light does not simply disappear, but is found again to the side of the geometric image point. Fig. 6a shows the light distribution in the image of a luminous point when phase shifts of half a wavelength exist between the partial bundles.

Fig. 6b shows the case for phase equality of the partial bundles.

The light distribution normally produced is about a 7:3 mixture of the two special cases. It is given in Fig. 6c and corresponds to the image of a star through a roof prism binocular shown in Fig. 7.

How does this wave-optical roof prism effect manifest itself when viewing natural objects?

First of all, one can imagine each object composed of many tiny more or less luminous dots. Each dot experiences a "smearing" in the manner indicated above. For very bright points in dark surroundings, a kind of "ray" appears in the direction perpendicular to the roof edge. This glare leads to a reduction of contrast in the surroundings.

The resolution of the binoculars is different for horizontally and vertically running structures. This is particularly evident in the example of a so-called "Siemens star" (Fig. 8a). The spokes in the vertical direction are resolved at every point. The spokes in the horizontal direction [parallel to the roof edge] become increasingly blurred inward until the contrast disappears completely. Still further inward, dark stripes are suddenly reproduced light and light stripes dark. In this case, the expert speaks of pseudo-resolution; the image no longer corresponds to the object.

The zone of strong blurring can be shifted outward to a certain extent either by changing the diopter setting or by accommodation of the observer's eye, but this is at the expense of the areas further out. Fig. 8b gives an example of defocusing by 0.5 dpt.

An experienced observer will shift the zone of vanishing contrast by accommodation when viewing certain details. He is therefore constantly trying to find a compromise adapted to the respective object. Prolonged observation is tiring, and concentration on the object diminishes.

With binoculars having large exit pupils, it is occasionally possible to sneak past the image-degrading phase effect. In good illumination, the observer can place his now small eye pupil eccentrically to the binocular pupil, i.e. in one pupil half. Thus he notices nothing of the contrast-degrading influence of the other pupil half. However, a binocular is not designed, let alone optimized, for such use.

4. Effect of the P-coating

At Carl Zeiss, roof surfaces of inverting systems are provided with multilayer coatings to avoid the phase shifts of the two partial bundles. The coating process is very similar to that of antireflection coatings. Because of their phase-correcting effect, the coating is called "P-coating" for short. The P-coating eliminates all wave-optically caused disadvantages that a roof prism inherently brings with it. The resolutions perpendicular and parallel to the roof edge are equal. Areas of pseudo-resolution are avoided (Fig. 9).

The light distribution in the image of a luminous point corresponds to Fig. 6b. The "ray effects" no longer occur when viewing brightly luminous point-like objects. The image appears sharper and more contrasty to the experienced observer right away, especially when high-contrast objects are viewed. Longer observations can be performed with less fatigue, since accommodation does not have to be structure-dependent.

5. How can binoculars with P-coating be distinguished from others?

A comparative test chart observation with coated and uncoated reference binoculars would remove the doubt, but it is not a practicable solution for the optician who does not want to put reference binoculars in the drawer.

With the help of two polarizing filters and a little practice, the test can be performed as follows: Two polarizers, whose axes (transmission direction, blocking direction) are clearly marked, are arranged at a sufficiently large distance from each other so that a pair of binoculars still fits in between. Green-filtered lamp or daylight is suitable as test light. In the crossed position, the polarizers let no test light through; in the parallel position, they let most of the test light through.

If a pair of binoculars is brought into the beam path with the roof edge parallel to one of the polarization axes, one can distinguish:

- Binoculars without P-coating: The binocular pupil appears brighter between crossed polarizers than between parallel polarizers (Fig. 10a, 10b).
- Binoculars with P-coating: The binocular pupil appears darker between crossed polarizers than between parallel polarizers (Fig. 10c, 10d).

It is important—and this should be explicitly emphasized once again—that a polarization axis and the roof edge are aligned parallel, otherwise no clear statement can be made.

6. Summary

The roof prisms of Carl Zeiss binoculars are provided with a multilayer coating - the so-called P-coating. The P-coating corrects the wave-optical effects of phase shift between the two light bundle halves separated by the roof edge. This increases the resolution and improves the contrast of fine structures. Longer observations can be performed with less fatigue.

Address of the authors: Adolf Weyrauch/, Dr. Bernd Dörband, P.O. Box 1865, 7080 Aalen.

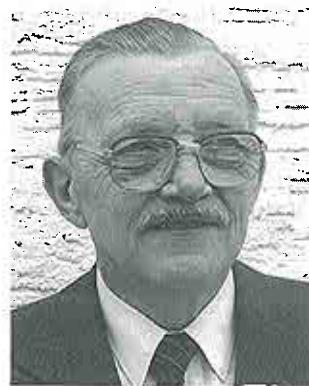
ZEISS

West Germany

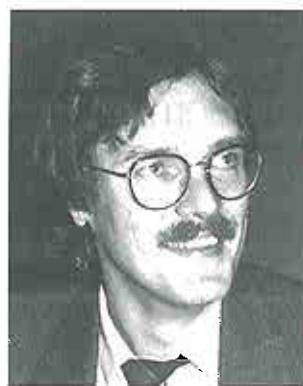
P-Belag: Verbesserte
Abbildung bei Ferngläsern durch
phasenkorrigierte Dachprismen

Adolf Weyrauch
Dr. Bernd Dörband

Sonderdruck aus Deutsche Optikerzeitung,
Heidelberg, Nr. 4/1988



Adolf Weyrauch,
Aalen



Dr. Bernd Dörband,
Aalen

P-Belag: Verbesserte Abbildung bei Ferngläsern durch phasenkorrigierte Dachprismen

1. Einleitung

Zur Bildumkehr in Ferngläsern werden heute vielfach Dachprismen verwendet. Dachprismen haben gegenüber den traditionell verwendeten Porroprismen den Vorteil, daß sie schlanke, kompakte Bauweisen erlauben. Ferngläser dieser Art sind deshalb im allgemeinen leichter und handlicher als ihre mit Porroprismen ausgestatteten Vorgänger.

Wie steht es jedoch mit der Abbildungsqualität? Gibt es grundsätzliche Bildunterschiede zwischen Dach- und Porosystemen?

Vom Standpunkt der Strahlenoptik aus gesehen lautet die Antwort eindeutig „nein“. Und doch hat das Licht – zum Ärger des Optikkonstrukteurs – eine Besonderheit zu bieten: es besitzt Wellencharakter, der bei der Totalreflexion voll zur Geltung kommt.

Beim Dachprisma wirken die durch die Dachkante getrennten Pupillenhälften unterschiedlich auf die Lichtwelle. Dadurch wird die Abbildungsqualität verschlechtert. Werden auf die Dachflächen spezielle Schichten – im Hause Carl Zeiss P-Belag genannt – aufgedampft, so ist auch beim Dachprisma die Lichtwelle über die Pupille hinweg gleichmäßig. Gegenüber einem Porrosystem besteht dann kein qualitativer Unterschied.

Im folgenden sind einige Ursachen, die zur Bildverschlechterung führen, genannt. Die Wirkungsweise von Dachprismen und deren wellenoptische Effekte werden erklärt. Die Bildverbesserung durch den P-Belag wird anhand von Beispielen demonstriert.

2. Einflüsse auf die Abbildungsqualität

Bei der optischen Abbildung kommt es bekanntlich darauf an, daß die von einem Objektpunkt ausgehenden Strahlen vom optischen Instrument so umgelenkt werden, daß sie möglichst gut wieder zu einem Bildpunkt vereinigt werden.

Leider bringt uns die Realität in Form der Brechungsgesetze in arge Schwierigkeiten, wenn es darum geht, ausgedehnte Objekte mit einer einzelnen Linse exakt scharf abzubilden. Die auftretenden Abbildungsfehler bewirken eine mehr oder weniger unvollkommene Strahlenvereinigung. Lichtpunkte werden dadurch nicht mehr als Punkte, sondern als kleine „Lichtscheibchen“ abgebildet (Abb. 1).

Wenn sich die Lichtscheibchen von zwei eng benachbarten Objektpunkten zu sehr überlappen, können sie nicht mehr als getrennt wahrgenommen werden. Feine Objektstrukturen gehen dadurch verloren; man sagt, die Auflösung wird geringer.

Um die Abbildungsfehler zu beseitigen bzw. soweit herabzusetzen, daß die verbleibende Bildverschlechterung vom Auge nicht mehr wahrgenommen wird, müssen optische Systeme aus mehreren Linsen zusammengesetzt werden.

Grundvoraussetzungen für ein Fernglas hoher Bildqualität sind deshalb mehrlinsige Objektive und Okulare. Dabei ist nicht die Anzahl der Linsen allein entscheidend, sondern ihr bildfehlerkorrigierendes Zusammenwirken.

Über die mit rein geometrischer Strahlenoptik berechenbaren Abbildungsfehler hinaus gibt es Effekte, die nur durch den Wellencharakter des Lichts zu erklären sind.

Bildet man mit einem bildfehlerfreien optischen System einen Stern ab, so erhält man ein von konzentrischen Ringen

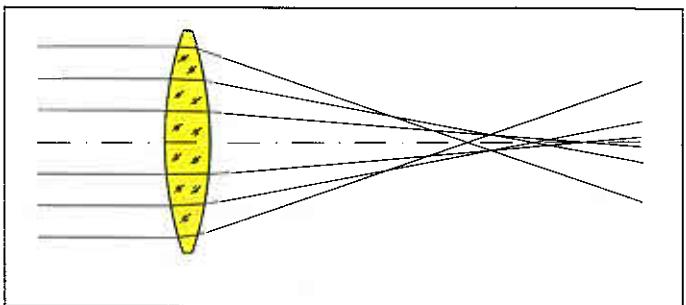


Abb. 1 Beispiel für Abbildungsfehler: Öffnungsfehler an der Einzellinse

abnehmender Helligkeit umgebenes Lichtscheibchen (Abb. 2), dessen Durchmesser größer ist, als er nach den geometrischen Abbildungsgesetzen sein müßte. Ändert man den freien Durchmesser (die Pupille) des Abbildungssystems, so ändert sich auch der Durchmesser des Lichtflecks und der Ringe. Dieser Effekt ist durch die Beugung der Lichtwelle an der begrenzenden Öffnung, der Pupille, zu erklären. Ähnlich wie die Wellen auf einer Wasseroberfläche an den Kanten eines Hindernisses umgelenkt (abgebeugt) werden, so werden auch Lichtwellen an Berandungen von ihrer ursprünglichen Ausbreitungsrichtung abgelenkt. Je größer dabei die begrenzende Öffnung ist, desto kleiner sind die Beugungerscheinungen im Bild.

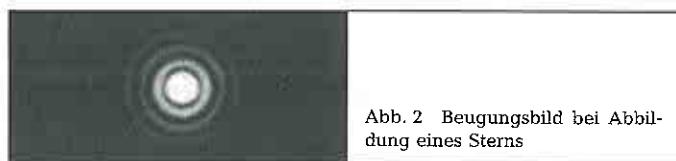


Abb. 2 Beugungsbild bei Abbildung eines Sterns

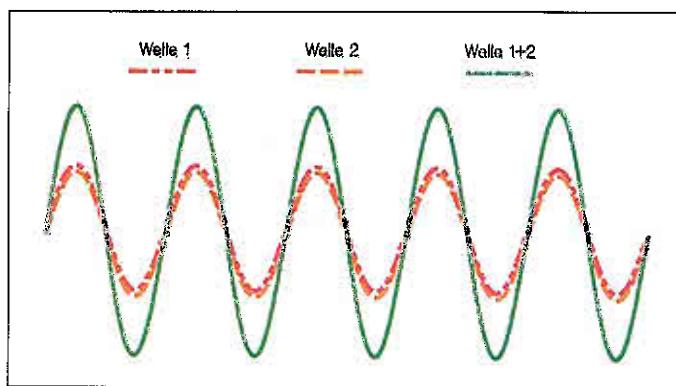


Abb. 3a Lichtverstärkung durch Interferenz

Nun kann man, aus verständlichen Gründen, die Öffnungen von optischen Geräten nicht beliebig groß machen. Dies ist auch nicht nötig, denn das Auge selbst hat ja eine Auflösungsgrenze, bedingt unter anderem durch die Netzhautstruktur, den Pupillendurchmesser und die Abbildungsfehler der Optik des Auges. Diese Auflösungsgrenze beträgt, von individuellen Schwankungen abgesehen, eine Winkelminute. Dazu muß die Augenpupille mindestens 2 mm weit geöffnet sein, da sonst die größer werdenden Beugungerscheinungen die Auflösung herabsetzen.

Beim Dämmerungs- und Nachtsehen öffnet sich die Augenpupille bekanntlich auf 6 bis 8 mm, dennoch erreicht man keine gesteigerte Auflösung, denn erstens schaltet das Auge von „Zapfen-“ auf „Stäbchensehen“ um, und zweitens werden die geometrischen Abbildungsfehler der Augenlinse bei geöffneter Pupille größer.

Für Ferngläser wäre demnach zu fordern, daß ihre Austrittspupillen einen Mindestdurchmesser von 2 mm aufweisen, anderenfalls würde die theoretische Fernglasauflösung die des Auges unterschreiten.

Wir hatten zuvor festgestellt, daß zu der perfekten Abbildung eines Punktes die Zusammenführung der Strahlen in einen gemeinsamen Bildpunkt gehört. Betrachten wir die Lichtausbreitung als Wellenbewegung und ordnen den Strahlen einzelne Wellenzüge zu, so können wir die entstehende Helligkeit im Bildpunkt als Überlagerung aller aufeinander treffenden Wellenzüge ansehen.

Überlagern sich zwei Wellenzüge derart, daß ihre Wellenberge aufeinanderfallen, so erhöht sich die resultierende Amplitude – das Licht wird verstärkt (Abb. 3 a). Treffen jedoch die Wellenberge mit den Wellentälern zusammen, so heben sich die Amplituden auf – es entsteht Dunkelheit (Abb. 3 b). Diese gegenseitige Beeinflussung wird Interferenz genannt.

Wir ersehen daraus, daß es bei der Strahlenvereinigung darauf ankommt, daß die Wellenberge der Lichtwellen im Bildpunkt gleichzeitig eintreffen. Nur dann ergibt sich maximale Helligkeit. Der Fachmann spricht vom „phasengleichen“ im Gegensatz zum „phasenverschobenen“ Eintreffen der Lichtwellen.

Fassen wir zusammen: Die Bildqualität von optischen Instrumenten wird herabgesetzt durch

- eine unvollkommene geometrische Strahlenvereinigung,
- die Beugung der Lichtwellen an der begrenzenden Öffnung,
- phasenverschobenes Eintreffen von Lichtwellen im Bildpunkt.

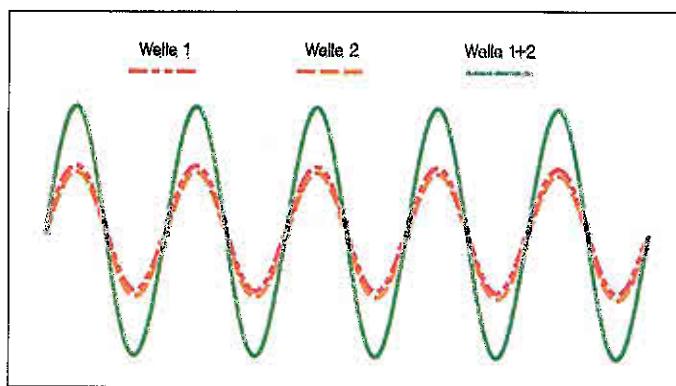


Abb. 3b Lichtauslöschung durch Interferenz

Im nächsten Abschnitt wollen wir uns mit den Dachprismen und ihrem Einfluß auf die Bildqualität beschäftigen.

3. Abbildungseigenschaften von Dachprismen

Die Mannigfaltigkeit der Bauformen von Dachprismen zur Bildumkehr ist groß. Praktisch durchgesetzt haben sich die Geradsichtprismen, bei denen ein achsparalleler Strahl keine winkelmäßige Ablenkung erfährt und nur wenig oder gar nicht seitlich versetzt wird.

Abb. 4 zeigt beispielhaft zwei Typen von geradsichtigen Dachprismensystemen, die aus zwei Einzelprismen bestehen: Das System nach Abbe-König und jenes nach Pechan.

Ersteres bewirkt vier Reflexionen durch Totalreflexion. Dies ist gleichzeitig die geringstmögliche Anzahl von Reflexionen, denn mindestens zwei werden zur Seitenvertauschung, zwei weitere zur Höhenvertauschung benötigt.

Das Pechan-System bewirkt mit seinen sechs Reflexionen eine größere Strahlenaufwicklung und erlaubt dadurch besonders kompakte Bauformen.

Die hier genannten Dachprismensysteme wirken strahlenoptisch wie eine dicke Planplatte, die senkrecht zur optischen Achse des Fernglases steht. Die Dachkante muß besonders scharf ausgebildet sein, wenn sie unsichtbar bleiben soll, und der Dachwinkel von 90° muß auf wenige Bogensekunden genau gefertigt sein, damit keine Doppelbilder entstehen.

Ein ungenau gefertigtes Prisma führt in jedem Fall zu einer unvollkommenen geometrischen Strahlenvereinigung – die Abbildungsqualität wird herabgesetzt.

Nun zum Verhalten der Lichtwellen am Dachprisma, wobei wir davon ausgehen, daß das Prisma geometrisch perfekt gefertigt und einwandfreies Glasmaterial verwendet wurde.

Die internen Strahlenumlenkungen der hier genannten Dachprismen basieren auf Totalreflexion an den Glas-Luft-Grenzflächen (Ausnahme: verspiegelte Fläche am Pechan-Prisma). Bei der Totalreflexion geschieht mit dem Licht etwas Unerwartetes: Die Lichtwellen, die parallel zur Einfallssebene schwingen, sind gegenüber den senkrecht zur Einfallssebene

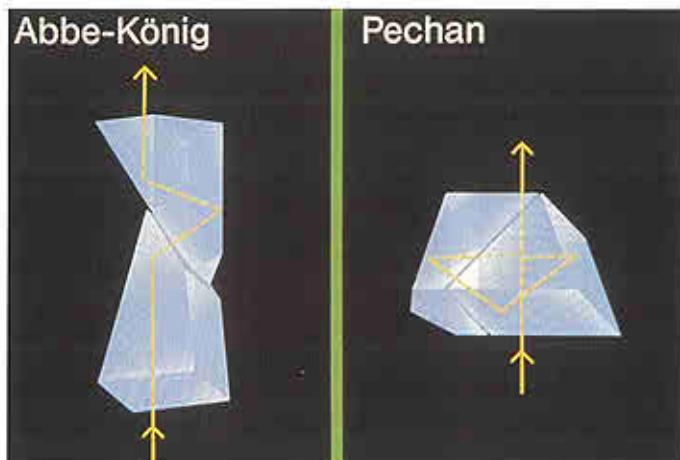


Abb. 4a Dachprisma nach Abbe-König

Abb. 4b Dachprisma nach Pechan

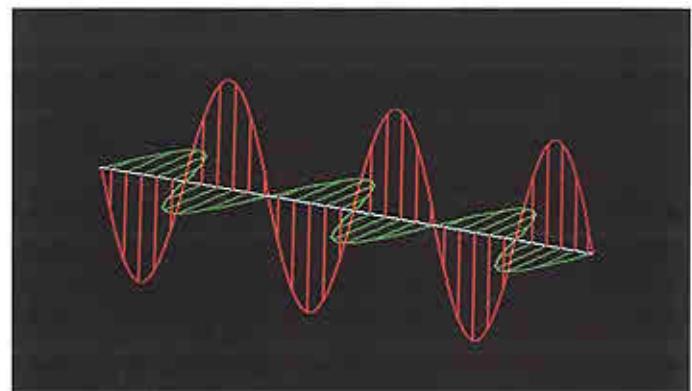


Abb. 5a Parallel und senkrecht schwingende Lichtwelle vor der Totalreflexion

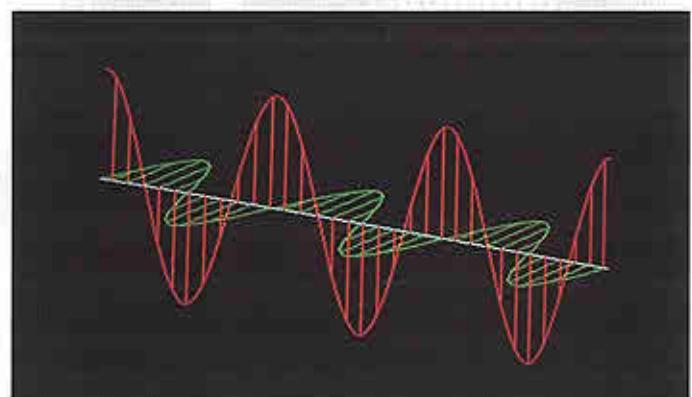


Abb. 5b Parallel und senkrecht schwingende Lichtwelle nach der Totalreflexion

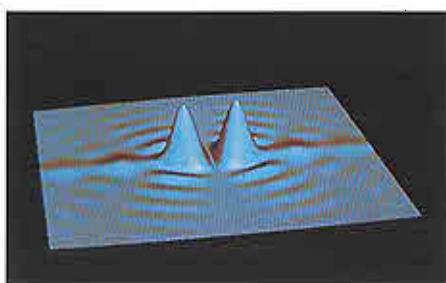


Abb. 6a Lichtverteilung im Bild eines leuchtenden Punktes bei Phasenverschiebung um eine halbe Wellenlänge zwischen den Pupillenhälften

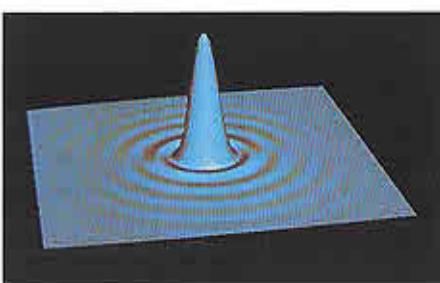


Abb. 6b Lichtverteilung im Bild eines leuchtenden Punktes ohne Phasenverschiebung zwischen den Pupillenhälften

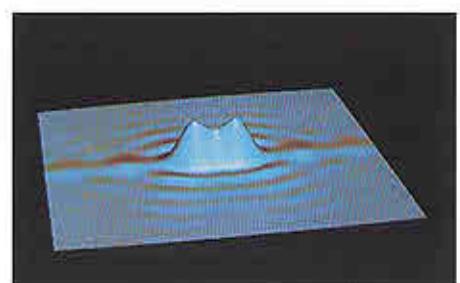


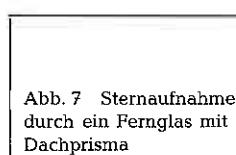
Abb. 6c Aus 6a und 6b gemischte Lichtverteilung, wie sie beim Dachprisma auftritt

schwingenden phasenverzögert (Abb. 5). Der Fachmann spricht von „elliptisch polarisiertem“ Licht, das durch die Totalreflexion entsteht.

Beim Dachprisma wird das einfallende Strahlenbündel in zwei Hälften geteilt. Beide Hälften unterscheiden sich durch die Reihenfolge, in der sie die Dachflächen passieren, aber auch in der Art ihrer erworbenen Phasenverschiebung. Etwa 70% der Lichtwellen einer Hälfte sind gegenüber denen der anderen Hälfte um eine halbe Wellenlänge phasenverschoben.

Da bei der Beobachtung durch das Auge beide Teilbündel wieder zusammengesetzt werden, tritt durch Interferenz eine weitgehende Auslöschung im geometrischen Bildpunkt auf. Das Licht verschwindet jedoch nicht einfach, sondern findet sich seitlich vom geometrischen Bildpunkt wieder. Abb. 6 a zeigt die Lichtverteilung im Bild eines leuchtenden Punktes, wenn Phasenverschiebungen von einer halben Wellenlänge zwischen den Teilbündeln vorliegen.

Abb. 6 b zeigt den Fall für Phasengleichheit der Teilbündel.



Die im Normalfall entstehende Lichtverteilung ist etwa ein 7:3-Gemisch aus beiden Spezialfällen. Sie ist in Abb. 6 c angegeben und entspricht der in Abb. 7 gezeigten Aufnahme eines Sterns durch ein Fernglas mit Dachprisma.

Wie wirkt sich dieser wellenoptische Dachprismeneffekt bei der Betrachtung von natürlichen Objekten aus?

Zunächst einmal kann man sich jedes Objekt aus vielen winzigen mehr oder weniger leuchtenden Pünktchen zusammengesetzt vorstellen. Jedes Pünktchen erfährt eine „Verschmierung“ in der oben angegebenen Weise. Bei sehr hellen Punkten in dunkler Nachbarschaft zeigt sich eine Art „Strahl“ in der Richtung senkrecht zur Dachkante. Diese Überstrahlung führt zur Kontrastminderung in der Umgebung.

Die Auflösung des Fernglases ist für horizontal und vertikal laufende Strukturen unterschiedlich. Am Beispiel eines sogenannten „Siemenssterns“ ist dies besonders ersichtlich (Abb. 8 a). Dabei sind die Speichen in vertikaler Richtung an jeder Stelle aufgelöst. Die Speichen in horizontaler Richtung (parallel zur Dachkante) werden nach innen zu immer unschärfer, bis der Kontrast ganz verschwunden ist. Noch weiter einwärts werden plötzlich dunkle Streifen hell und helle Streifen dunkel wiedergegeben. In diesem Fall spricht der Fachmann man von einer Pseudoauflösung, das Bild entspricht nicht mehr dem Objekt.

Die Zone der starken Verunschräfung kann entweder durch

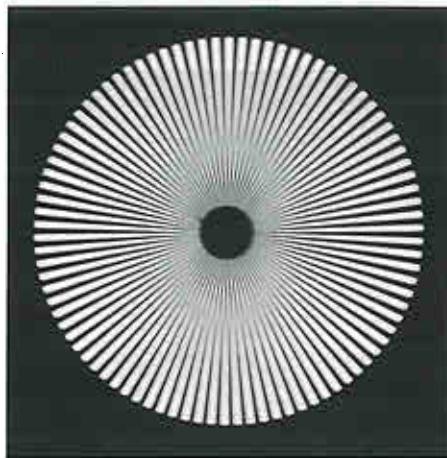


Abb. 8a Aufnahme eines Siemenssterns durch ein Fernglas mit Dachprisma bei Phasenverschiebung um eine halbe Wellenlänge zwischen den Pupillenhälften

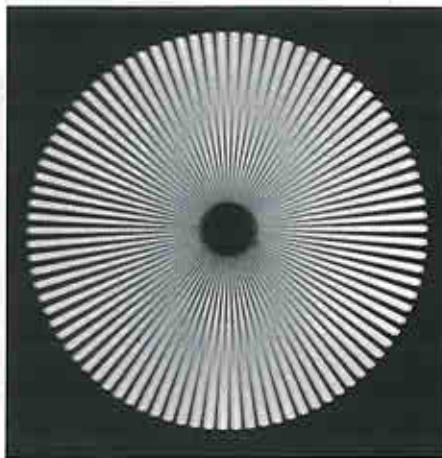


Abb. 8b Aufnahme eines Siemenssterns durch ein um 0,5 dpt defokussiertes Fernglas mit Dachprisma bei Phasenverschiebung um eine halbe Wellenlänge zwischen den Pupillenhälften

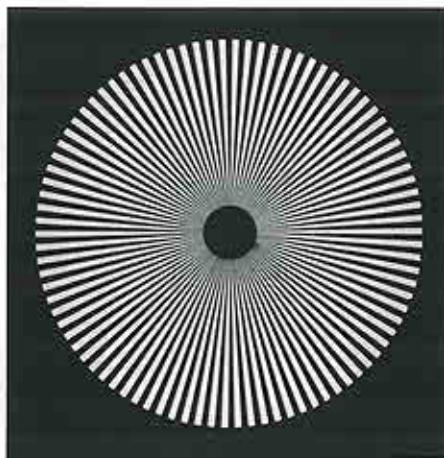


Abb. 9 Aufnahme eines Siemenssterns durch ein Fernglas mit phasenkorrigiertem Dachprisma

Änderung der Dioptrieneinstellung oder durch Akkommodation des Beobachterauges in gewissen Grenzen nach außen verlegt werden, jedoch geht das auf Kosten der weiter außen gelegenen Bereiche. Abb. 8 b gibt ein Beispiel für eine Defokussierung um 0,5 dpt.

Ein geübter Beobachter wird bei der Betrachtung bestimmter Feinheiten die Zone des verschwindenden Kontrastes durch Akkommodation verlagern. Er ist demnach ständig bemüht, einen dem jeweiligen Objekt angepaßten Komromiß zu finden. Eine längere Beobachtungsdauer wirkt ermüdend, und die Konzentration auf das Objekt läßt nach.

Bei Ferngläsern mit großen Austrittspupillen gelingt es gelegentlich, sich an dem bildverschlechternden Phaseneffekt vorbeizumogeln. Bei guter Beleuchtung kann der Beobachter seine nunmehr kleine Augenpupille exzentrisch zur Fernglaspupille, also in eine Pupillenhälfte legen. Somit bemerkt er nichts von dem kontrastverschlechternden Einfluß der anderen Pupillenhälfte. Allerdings ist ein Fernglas für eine derartige Benutzung nicht ausgelegt, geschweige denn optimiert.

4. Wirkung des P-Belags

Bei Carl Zeiss werden Dachflächen von Umkehrsystemen mit Mehrfachbeschichtungen versehen, um die Phasenverschiebungen der beiden Teilbündel zu vermeiden. Das Beschichtungsverfahren ist dem der Entspiegelungsschichten sehr ähnlich. Wegen ihrer phasenkorrigierenden Wirkung wird die Beschichtung kurz „P-Belag“ genannt. Der P-Belag

beseitigt alle wellenoptisch bedingten Nachteile, die ein Dachprisma von Haus aus mit sich bringt. Die Auflösungen senkrecht und parallel zur Dachkante sind gleich. Bereiche der Pseudoauflösung werden vermieden (Abb. 9).

Die Lichtverteilung im Bild eines leuchtenden Punktes entspricht der Abb. 6 b. Die „Strahleffekte“ bei der Betrachtung von hell leuchtenden punktförmigen Objekten treten nicht mehr auf. Das Bild erscheint dem geübten Beobachter auf Anhieb schärfer und kontrastreicher, insbesondere wenn kontrastreiche Objekte betrachtet werden. Längere Beobachtungen können ermüdungsfreier durchgeführt werden, da nicht strukturabhängig akkommodiert werden muß.

5. Wie sind Ferngläser mit P-Belag von anderen zu unterscheiden?

Eine vergleichende Testtafelbeobachtung mit beschichteten und unbeschichteten Referenz-Ferngläsern würde zwar die Zweifel beseitigen, ist aber für den Augenoptiker, der sich keine Referenzgläser in die Schublade legen will, keine praktikable Lösung.

Mit Hilfe von zwei Polarisationsfiltern und ein wenig Übung läßt sich der Test auf folgende Weise durchführen:

Zwei Polarisatoren, deren Achsen (Durchlaßrichtung, Sperrichtung) deutlich gekennzeichnet sind, ordne man in einem genügend großen Abstand zueinander an, damit noch ein Fernglas dazwischenpaßt. Als Testlicht eignet sich grün gefiltertes Lampen- oder Tageslicht. In gekreuzter Stellung lassen die Polarisatoren kein Testlicht, in paralleler Stellung den größten Teil des Testlichts durch.

Bringt man ein Fernglas mit der Dachkante parallel zu einer der Polarisationsachsen in den Strahlengang, so kann man unterscheiden:

- **Fernglas ohne P-Belag:** Die Fernglaspupille erscheint zwischen gekreuzten Polarisatoren heller als zwischen parallelen Polarisatoren (Abb. 10 a, 10 b).

- **Fernglas mit P-Belag:** Die Fernglaspupille erscheint zwischen gekreuzten Polarisatoren dunkler als zwischen parallelen Polarisatoren (Abb. 10 c, 10 d).

Wichtig ist – dies sei noch einmal ausdrücklich betont –, daß eine Polarisationsachse und die Dachkante parallel ausgerichtet sind, da sonst keine eindeutige Aussage gemacht werden kann.

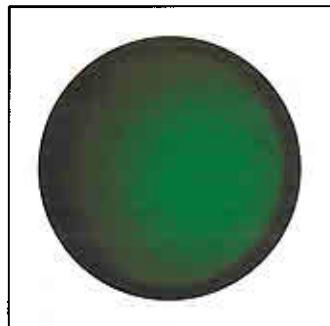


Abb. 10a Fernglas ohne P-Belag zwischen zwei gekreuzten Polarisatoren mit der Dachkante parallel zur Polarisatorachse



Abb. 10b Fernglas ohne P-Belag zwischen zwei parallelen Polarisatoren mit der Dachkante parallel zur Polarisatorachse



Abb. 10c Fernglas mit P-Belag zwischen zwei gekreuzten Polarisatoren mit der Dachkante parallel zur Polarisatorachse



Abb. 10d Fernglas mit P-Belag zwischen zwei parallelen Polarisatoren mit der Dachkante parallel zur Polarisatorachse

6. Zusammenfassung

Die Dachprismen der Ferngläser von Carl Zeiss sind mit einer Mehrfachbeschichtung – dem sogenannten P-Belag – versehen. Der P-Belag korrigiert die wellenoptischen Effekte der Phasenverschiebung zwischen den beiden durch die Dachkante getrennten Lichtbündelhälften. Dadurch wird die Auflösung gesteigert und der Kontrast bei feinen Strukturen

verbessert. Längere Beobachtungen können ermüdungsfreier durchgeführt werden.

Anschrift der Autoren:

**Adolf Weyrauch, Dr. Bernd Dörband,
Postfach 1865, 7080 Aalen.**