

## Bewegungsmuster eines Laser-Speckle bei Astigmatismus

von

Wolfgang REHWALD und Walter AMBACH \*)

(Institut für Medizinische Physik, Innsbruck, Vorstand: Univ.-Prof. Dr. W. Ambach)

### Laser speckle pattern motion observed by an astigmatic eye

**S y n o p s i s :** The analysis of the laser speckle pattern motion is important for testing ametropia with a laser. Patients with spherical ametropia observe a relative simple motion of the speckle pattern which is in or against the direction of the displacement of the projection screen whereas the motion is more complicated for astigmatic eyes. Depending upon the degree of astigmatism and upon the angle of the main astigmatic meridian the laser speckle pattern motion occurs inclined to the direction of displacement of the projection screen. This motion is analyzed with respect to the determination of astigmatic parameters.

#### 1. Einleitung

Ein Laser-Speckle ist ein punktförmiges Interferenzmuster, das bei Projektion eines aufgefächerten Laserstrahls auf einen Schirm entsteht. Es wird als körnige Struktur wahrgenommen. Wird die Projektionsfläche bewegt, fällt beispielsweise der Laserstrahl auf eine rotierende Trommel, dann tritt bei Fehlsichtigkeit eine scheinbare Bewegung des Laser-Speckle auf. Den gleichen Bewegungseindruck erhält man, wenn die Projektionsfläche ruht, jedoch der Beobachter seinen Kopf langsam bewegt. Diese Erscheinung ist die Grundlage des Laser-Ametropie-Tests.

Bei Normalsichtigkeit wird bei Beobachtung des Interferenzmusters mit entspanntem Auge keine Bewegung festgestellt. Für den Fall einer sphärischen Ametropie wird jedoch eine Bewegung beobachtet, die bei Hyperopie gleichsinnig, bei Myopie gegensinnig zur Trommelbewegung erfolgt. Die Geschwindigkeit der Bewegung des Interferenzmusters steigt dabei mit dem Grad der Fehlsichtigkeit. Mit Hilfe von sphärischen Linsen kann die notwendige Korrektur bestimmt werden, so daß keine Bewegung beobachtet wird. Nach diesem Prinzip ist eine sphärische Ametropie mit einer Genauigkeit von  $1/8$  dpt feststellbar (BALDWIN und STOVER, 1968; DWYER et al., 1972 und 1973; AMBACH et al., 1981).

Für den Fall eines schrägen Astigmatismus ist die Bewegung des Interferenzmusters sowohl bestimmt durch den Winkel der Bewegungsrichtung zur Drehrichtung der Trommel als auch durch die Geschwindigkeit dieser Bewegung. Dadurch ist die Bestimmung

---

\*) Anschrift der Verfasser: Univ.-Prof. Dr. phil. W. Ambach, Dr. phil. W. Rehwald, Institut für Medizinische Physik, Müllerstr. 44, A-6020 Innsbruck, Österreich.

einer astigmatischen Korrektur wesentlich komplizierter als im Falle einer sphärischen Ametropie. Im folgenden wird die Abhängigkeit der Bewegung des Interferenzmusters von den astigmatischen Parametern diskutiert.

## 2. Specklebewegung bei Astigmatismus

Die Specklebewegung wird zur weiteren Untersuchung in eine Komponente in Richtung der Trommeldrehung (x-Richtung) und in eine Komponente senkrecht zur Trommeldrehung (y-Richtung) zerlegt (Abb. 1). Nach INGELSTAM und RAGNARSSON (1972) und LONG und HAINE (1975) gelten für die Komponenten der Winkelgeschwindigkeit  $\Omega$  der Specklebewegung die Beziehungen

$$\Omega_x = -R_O\omega(F_{\max}\cos^2\beta + F_{\min}\sin^2\beta) \quad (1)$$

$$\Omega_y = -R_O\omega(F_{\max} - F_{\min})\sin\beta\cos\beta \quad (2)$$

$R_O$  bezeichnet den Abstand des Beobachters zur Trommel,  $\omega$  die Winkelgeschwindigkeit der rotierenden Trommel,  $F_{\max}$  und  $F_{\min}$  die Absolutwerte der Brechkräfte der Fehlsichtigkeit in den beiden Hauptschnitten des Auges und  $\beta$  den Winkel der Brechkraft  $F_{\max}$  zur Horizontalen (Abb. 1).

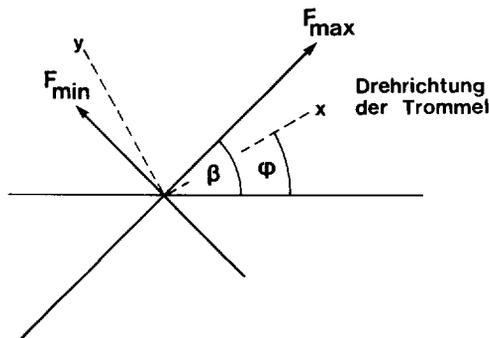


Abb. 1:  $\beta$  bezeichnet den Winkel des Hauptschnittes  $F_{\max}$  des Auges bezüglich der Horizontalen,  $\varphi$  ist der variable Winkel der Drehrichtung der Trommel und damit der verschiedenen Schnittebenen im Auge. Die Drehachse der Trommel steht senkrecht auf  $\varphi$

Aus Gl. (1) und (2) können Richtung ( $\tan \alpha$ ) und Winkelgeschwindigkeit ( $\Omega_O$ ) der Bewegung des Interferenzmusters berechnet werden. Mit den Bezeichnungen  $\tan \alpha = \frac{\Omega_y}{\Omega_x}$ ,  $\Omega_O^2 = \Omega_x^2 + \Omega_y^2$  und  $\Delta F = F_{\max} - F_{\min}$  erhält man

$$\tan \alpha = \frac{\Delta F \sin \beta \cos \beta}{F_{\min} + \Delta F \cos^2 \beta} \quad (3)$$

und

$$\Omega_O^2 = R_O^2 \omega^2 [(F_{\min} + \Delta F \cos^2 \beta)^2 + \Delta F^2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta] \quad (4)$$

Unter der Voraussetzung  $\Delta F \neq 0$  ergibt sich damit im Falle eines Astigmatismus eine Bewegung des Interferenzmusters unter dem Winkel  $\alpha$  (Gl. 3) zur Trommeldrehung mit

einer bestimmten Winkelgeschwindigkeit  $\Omega_0$  (Gl. 4). Bei sphärischer Fehlsichtigkeit gilt  $\Delta F = 0$  bzw.  $F_{\max} = F_{\min} = F_{\text{sph}}$ . Die Bewegung des Interferenzmusters erfolgt in diesem Fall unter dem Winkel  $\alpha = 0$  und mit der Winkelgeschwindigkeit  $\Omega_0$  gleichsinnig oder gegensinnig zur Trommeldrehung, in Abhängigkeit von  $R_0$ ,  $\omega$  und  $F_{\text{sph}}$ .

Zur weiteren Analyse der Bewegung des Specklemusters werden Gl. (3) und (4) unter Verwendung von  $\Delta F = k \cdot F_{\max}$  oder

$$k = 1 - \frac{F_{\min}}{F_{\max}} \quad (5)$$

umgeformt, wobei  $k$  ein Maß für den Astigmatismus darstellt.  $k = 0$  bedeutet reine sphärische Fehlsichtigkeit,  $k = 1$  bedeutet reinen Astigmatismus ohne sphärischen Anteil. Unter der Voraussetzung  $F_{\max} \neq 0$  ergibt sich für die Bewegungsrichtung

$$\tan \alpha = \frac{k \sin \beta \cos \beta}{1 - k \sin^2 \beta} \quad (6)$$

und für das Quadrat der Winkelgeschwindigkeit

$$\Omega_0^2 = -R_0^2 \omega^2 F_{\max}^2 [1 - (2k - k^2) \sin^2 \beta] \quad (7)$$

In Abb. 2 ist Gl. (6) als Funktion von  $\beta$  dargestellt, unter Verwendung der Größe  $k$  als Parameter. Abb. 3 enthält die entsprechende Darstellung für Gl. (7). Aus den Abbildungen ist folgendes ersichtlich:

- Schnitte der Kurvenscharen in Abb. 2 und 3 mit Parallelen zur  $x$ -Achse zeigen, daß die Orientierung der Bewegungsrichtung  $\tan \alpha$  und das Quadrat der Winkelgeschwindigkeit nicht eindeutig sind. Das bedeutet, daß aus dem Winkel der Bewegungsrichtung und aus der Winkelgeschwindigkeit nicht eindeutig auf die Lage der astigmatischen Hauptschnitte geschlossen werden kann.
- Der Winkel  $\alpha$  der Bewegungsrichtung des Specklemusters nimmt im allgemeinen mit zunehmendem Astigmatismus, d.h. steigendem Wert von  $k$ , zu.
- Der größte Winkel  $\alpha$  ergibt sich nicht bei einer Winkellage der Hauptschnitte von  $45^\circ$ , sondern im Bereich  $45^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$ . Für die Lage des Maximums von  $\tan \alpha$  erhält man die Bestimmungsgleichung

$$k = \frac{\sin^2 \beta - \cos^2 \beta}{\sin^4 \beta + \cos^2 \beta} \quad (8)$$

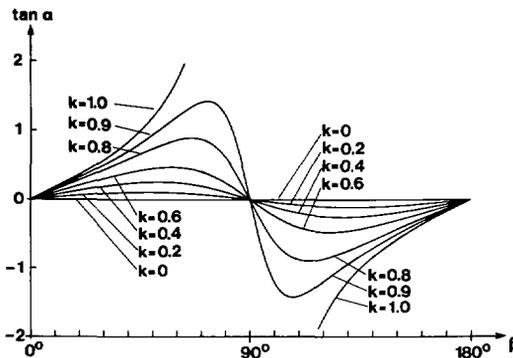


Abb. 2:  $\tan \alpha$  bezeichnet die Richtung der scheinbaren Bewegung des Interferenzmusters bezüglich der Horizontalen als Funktion des Winkels  $\beta$  des Hauptschnittes  $F_{\max}$ . Der Parameter  $k$  ist ein Maß für den Grad des Astigmatismus:  $k = 0$  bedeutet reine sphärische Ametropie,  $k = 1$  bedeutet reine astigmatische Ametropie

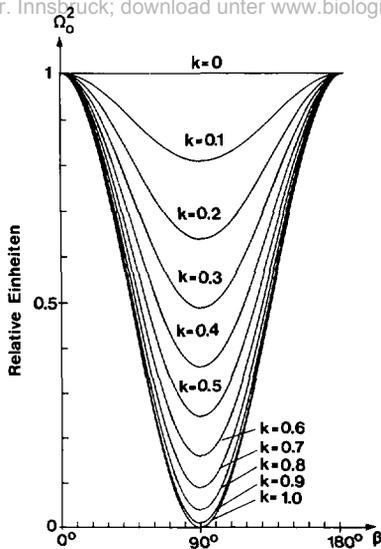


Abb. 3: Quadrat der Winkelgeschwindigkeit ( $\Omega_0^2$ ) der Bewegung des Interferenzmusters als Funktion des Winkels  $\beta$  des Hauptschnittes  $F_{\max}$ , wobei der Maximalwert von  $\Omega_0^2$  auf 1 normiert ist. Der Parameter  $k$  ist ein Maß für den Grad des Astigmatismus:  $k = 0$  bedeutet reine sphärische Ametropie,  $k = 1$  bedeutet reine astigmatische Ametropie

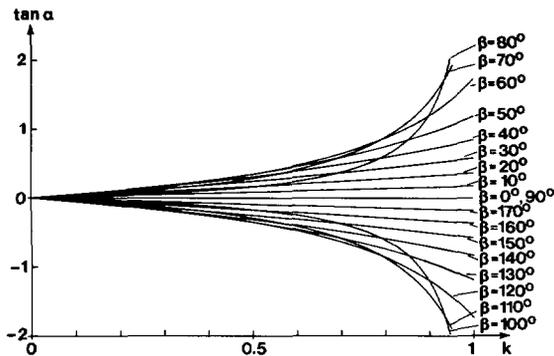


Abb. 4:  $\tan \alpha$  bezeichnet die Richtung der scheinbaren Bewegung des Interferenzmusters bezüglich der Horizontalen als Funktion des astigmatischen Parameters  $k$  für verschiedene Werte des Winkels  $\beta$  des Hauptschnittes  $F_{\max}$

Analog zu Abb. 2 und Abb. 3 sind in den Abb. 4 und 5 Gl. (6) und (7) dargestellt, wobei in diesen Fällen der Winkel des Hauptschnittes  $\beta$  als Parameter gewählt wurde. Folgendes ist daraus ersichtlich:

- Der Winkel der Bewegungsrichtung des Specklemusters  $\tan \alpha$  nimmt mit zunehmendem astigmatischen Parameter  $k$  zu, wobei sich Kurven verschiedener  $\beta$ -Werte überschneiden. Das bedeutet, daß dieselbe Bewegungsrichtung des Specklemusters bei gleichem astigmatischen Parameter  $k$  aber verschiedenen Werten von  $\beta$  resultiert.
- Die größten Werte des Geschwindigkeitsquadrates  $\Omega_0^2$  ergeben sich für  $\beta = 0^\circ$ , für alle  $k$  identisch mit jenen Werten einer entsprechenden sphärischen Fehlsichtigkeit.  $\Omega_0^2$  nimmt im allgemeinen mit zunehmenden Werten von  $k$  ab, wobei die Abnahme für  $\beta = 90^\circ$  am stärksten ist. Im Bereich  $90^\circ < \beta < 180^\circ$  nimmt  $\Omega_0^2$  wieder zu.

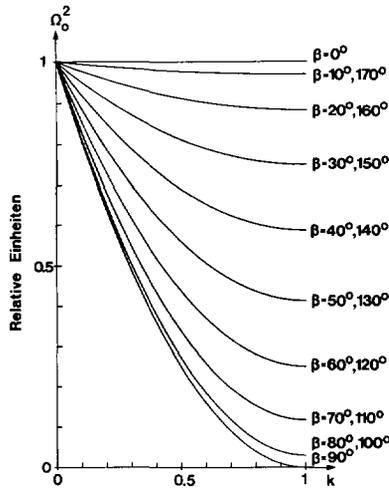


Abb. 5: Quadrat der Winkelgeschwindigkeit ( $\Omega_0^2$ ) der Bewegung des Interferenzmusters als Funktion des astigmatischen Parameters  $k$  für verschiedene Winkel  $\beta$  des Hauptschnittes  $F_{\max}$ . Der Maximalwert von  $\Omega_0^2$  ist auf 1 normiert

Die beschriebenen Merkmale der Specklebewegung in Abhängigkeit von der Lage des Hauptschnittes  $\beta$  und vom astigmatischen Parameter  $k$  sind in Abb. 6 zusammenfassend dargestellt.

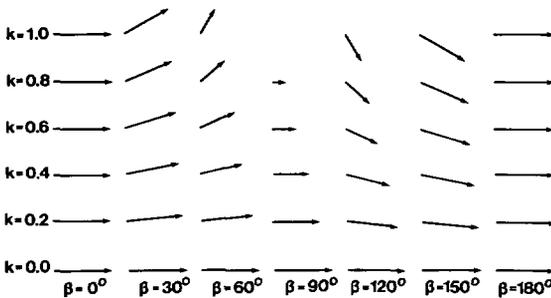


Abb. 6: Änderung von Richtung und Winkelgeschwindigkeit der scheinbaren Bewegung des Interferenzmusters dargestellt in Stufen des Winkels  $\beta$  des Hauptschnittes  $F_{\max}$  und in Stufen des astigmatischen Parameters  $k$ .  $k = 0$  bedeutet reine sphärische Ametropie,  $k = 1$  bedeutet reine astigmatische Ametropie. Der Maximalwert von  $\Omega_0^2$  ist auf die Länge 1 normiert

### 3. Schlußfolgerungen

Zur Korrektur einer astigmatischen Fehlsichtigkeit müssen die Brechkräfte  $F_{\min}$ ,  $F_{\max}$  und die Winkellage  $\beta$  bestimmt werden. Dazu werden im folgenden die Gl. (1) und (2) herangezogen:  $\Omega_x$  und  $\Omega_y$  sind vom Probanden nicht numerisch feststellbar. Es wird daher versucht, einen Abgleich auf die Bewegung Null durchzuführen. Da dieser Abgleich für die Komponenten  $\Omega_y$  wesentlich ungenauer ist als für  $\Omega_x$ , hat der Proband zu beurteilen, mit welcher sphärischen Korrektur  $F_N$  die Bedingung  $\Omega_x = 0$  erfüllt ist. Bei einer

beliebigen Winkelstellung  $\varphi$  der Drehrichtung der Trommel zur Horizontalen (Abb. 1) gilt dann

$$\Omega_x = -R_0\omega[F_{\min} + \Delta F\cos^2(\beta - \varphi) - F_n] = 0 \quad (9)$$

bzw.

$$F_n = F_{\min} + \Delta F\cos^2(\beta - \varphi) \quad (10)$$

Der Abgleich wird bei verschiedenen Winkeln  $\varphi$  durchgeführt, so daß  $F_n$  als Funktion von  $\varphi$  gemessen wird. Aus der Abhängigkeit  $F_n = F_n(\varphi)$  sind die astigmatischen Größen  $F_{\min}$ ,  $F_{\max}$  und  $\beta$  eindeutig zu bestimmen.

Die einzelnen in der Literatur publizierten Methoden zur Ermittlung dieser Größen unterscheiden sich im wesentlichen in der Art der Auswertung der Funktion  $F_n = F_n(\varphi)$ . Bei Messung von nur drei Winkellagen  $\varphi$  (PHILLIPS et al., 1975) können geringe Meßungenauigkeiten das Ergebnis allerdings empfindlich beeinflussen. Eine mathematische Auswertemethode, die mehr als drei Winkellagen berücksichtigt, wurde von LONG (1974) vorgeschlagen. Neuerdings wurde eine graphische Methode entwickelt, die eine genaue Auswertung der astigmatischen Parameter  $F_{\min}$ ,  $F_{\max}$  und  $\beta$  gestattet (DAXECKER et al., 1984; REHWALD et al., 1984).

**Z u s a m m e n f a s s u n g :** Eine Analyse des Bewegungsmusters eines Laser-Speckle ist für die Anwendung des Lasers als Ametropie-Tester von Bedeutung. Während bei sphärischer Ametropie eine relativ einfache Bewegung auftritt, nämlich eine gleichsinnige oder gegensinnige Bewegung von Laser-Speckle und Projektionsfläche, ist diese Bewegung beim Astigmatismus komplizierter. In Abhängigkeit von der Stärke des Astigmatismus und vom Winkel des astigmatischen Hauptschnittes bewegt sich das Laser-Speckle schräg zur Bewegungsrichtung der Projektionsfläche. Diese Bewegung des Laser-Speckle wird im Hinblick auf eine Anwendung zur Bestimmung astigmatischer Parameter analysiert.

## Literatur

- AMBACH, W., DAXECKER, F. und REHWALD, W. (1981): Untersuchungen des Refraktionszustandes des Auges an Gruppen von Personen mit Hilfe des Lasers. — Wiener med. Wochenschr., **131**: 375 - 381.
- BALDWIN, W.R. and STOVER, W.B. (1968): Observation of laser standing wave patterns to determine refractive status. — Am. J. Optom. and Arch. Am. Acad. Optom., **45**: 143 - 151.
- DAXECKER, F., REHWALD, W. und AMBACH, W. (1984): Untersuchung des Astigmatismus mit dem Laser. — Fortschr. Ophthalmol., **81**: 193 - 195.
- DWYER, W.O., KENT, P., POWELL, J., McELVAIN, R. and REDMOND, J. (1972): Reliability of laser refraction technique. — Am. J. Optom. and Arch. Am. Acad. Optom., **49**: 929 - 931.
- DWYER, W.O., GRANATA, D., BOSSIN, R. and ANDREAS, S.R. (1973): Validity of the laser refraction technique for determining spherical error in different refractive groups. — Am. J. Optom. and Arch. Am. Acad. Optom., **50**: 222 - 225.
- INGELSTAM, E. and RAGNARSSON, S.I. (1972): Eye refraction examined by aid of speckle pattern produced by coherent light. — Vision Res., **12**: 411 - 420.
- LONG, W.F. and HAINE, C.L. (1975): The endpoint of laser speckle pattern meridional refraction. — Am. J. Optom. and Physiol. Optics, **52**: 582 - 586.
- PHILLIPS, D., STERLING, W. and DWYER, W.O. (1975): Validity of the laser refraction technique for determining spherical error. — Am. J. Optom. and Physiol. Optics, **52**: 328 - 331.
- REHWALD, W., AMBACH, W. and DAXECKER, F. (1984): Eine neue Auswertemethode zur Bestimmung des Astigmatismus mit dem Laser. — In: J. SCHÜTZ (Hrsg.) Medizinische Physik, Heidelberg, p. 191 - 195.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte des naturwissenschaftlichen-medizinischen Verein Innsbruck](#)

Jahr/Year: 1985

Band/Volume: [72](#)

Autor(en)/Author(s): Ambach Walter, Rehwald Wolfgang

Artikel/Article: [Bewegungsmuster eines Laser-Speckle bei Astigmatismus. 257-262](#)