

Die Unsicherheit der eindimensionalen Auswertung von Shearing- und Twyman-Green-Interferogrammen

Z. Yang und I. Weingärtner

Zusammenfassung: Die zweidimensionale Auswertung von Interferenzstreifensystemen erfordert einen erheblichen Meß- und Rechenaufwand. Eindimensionale Auswerteverfahren haben systematische Fehler, die im einzelnen untersucht werden. Diese Untersuchungen führen zu Kriterien, mit deren Hilfe eine eindimensionale Auswertung von Interferogrammen mit geringer Meßunsicherheit möglich ist.

Summary: The evaluation of two-dimensional systems of interference fringes is time consuming and difficult. The methods for the one-dimensional evaluation cause systematic errors which are discussed. A sufficiently accurate one-dimensional evaluation of interference fringes is possible with the help of criteria which are derived.

1 Einleitung

Interferogramme sind zweidimensionale Interferenzstreifensysteme, deren Auswertung im allgemeinen zweidimensional durchzuführen ist. Die zweidimensionale Auswertung hat jedoch einige schwerwiegende Nachteile wie z.B. den erheblichen Zeitaufwand für die Messung und die nachfolgende Auswertung. Für manche Zwecke stellt das in [1] beschriebene eindimensionale Auswerteverfahren eine gute Alternative dar.

Bei der Prüfung von optischen Elementen wie Photoobjektiven genügt es meistens, Wellenaberrationen nur längs einiger Schnitte durch die Pupille eines Objektivs zu bestimmen, im allgemeinen Schnitte längs zweier zueinander senkrechter Durchmesser, da solche Objektive fast immer eine gewisse Symmetrie aufweisen. Im allgemeinen sind Objektive für Abbildungszwecke bis auf Zentrierfehler rotationssymmetrisch. Hier sind dann eindimensionale Auswerteverfahren denkbar und sinnvoll. Im weiteren Verlauf dieser Veröffentlichung werden diese Verfahren beschrieben, und es wird ihre Genauigkeit untersucht.

Zur Messung der Wellenaberration längs eines Schnittes durch das Objektiv genügt die Bestimmung der relativen Phase der Wellenfront längs dieses Schnittes, also eine „eindimensionale“ Messung. In unseren Fällen, bei Interferometern mit zueinander verkippten Wellenfronten, wird die zu messende Phase in der Form eines Interferenzstreifens verschlüsselt angeboten. Die Auslenkung dieses Interferenzstreifens zu messen, bedeutet aber auch, sich von dem eindimensionalen Schnitt geometrisch zu entfernen. Durch Änderung des Kippwinkels der beiden miteinander interferierenden Wellenfronten kann die Auslenkung dieses Interferenzstreifens sehr klein gehalten werden, so daß die Auswertung praktisch eine eindimensionale Auswertung bleibt. Wird aber die Auslenkung des Interferenzstreifens zu klein, so wird die Unsicherheit bei der Messung der Streifenauslenkung und damit der Streifenform zu groß. Zwischen beiden möglichen Fehlereinflüssen gilt es, ein Optimum zu finden. Dann

kann mit geringem Meßaufwand eine kleine Meßunsicherheit erreicht werden.

2 Das Meß- und Auswerteverfahren

In dieser Arbeit werden insbesondere die bei der Messung der Wellenaberrationen von Abbildungsobjektiven auftretenden Probleme behandelt. Beim Messen der Wellenaberration eines Objektivs werden häufig zwei Arten von Interferometern benutzt, nämlich Shearing-Interferometer und Twyman-Green-Interferometer. Durch Einfügen eines Kippwinkels α zwischen den interferierenden Wellenfronten wird ein Interferogramm in der Ebene der Pupille erzeugt, das im Falle einer verschwindend kleinen Wellenaberration parallele äquidistante Interferenzstreifen aufweist. Die Maxima der Interferenzstreifen des Interferenzstreifenfeldes sind dabei durch die folgenden Beziehungen festgelegt:

$$2W(x, y) + \alpha y + \text{const} = m\lambda \quad (1)$$

für Twyman-Green-Interferogramme und

$$W(x + V/2, y) - W(x - V/2, y) + \alpha y + \text{const} = m\lambda \quad (2)$$

für Shearing-Interferogramme. Dabei bedeuten W : Wellenaberration des Prüflings gemessen in Wellenlängen, α : Kippwinkel der interferierenden Wellenfronten (nur in y -Richtung), V : Shear der Wellenfronten (nur in x -Richtung angenommen), const : konstanter optischer Gangunterschied, m : Ordnung des Interferenzstreifens und λ : Wellenlänge der Strahlung.

Der weiteren Überlegung liegt folgende Vorgehensweise zugrunde: für eine vorgegebene Wellenaberration wird ein Interferenzstreifen bestimmt für das Twyman-Green- und das Keil-Shearing-Interferometer. Dieser Interferenzstreifenverlauf wird ohne weitere Näherung errechnet, ist also streng richtig. Ein solcher Interferenzstreifen, der in kleiner aber endlicher Auslenkung gemessen von der x -Achse verläuft, wird dem bekannten eindimensionalen Auswerteverfahren unterworfen, aus dem sich dann eine so bestimmte Wellenaberration ergibt. Diese Wellenaberration weicht wegen der systematischen Fehler des Verfahrens von der vorgegebenen Wellenaberration ab. Diese Abweichung in der Wellenaberration und eine daraus zu errechnende Abweichung in der zugehörigen optischen Übertragungsfunktion stellt ein Maß für die Fehler des eindimensionalen Verfahrens dar.

Die Maxima eines Interferenzstreifens liegen auf einer Kurve, die durch $y = y(x)$ festgelegt sein soll. Die Funktion $y(x)$ muß nunmehr bestimmt werden. Es ist bekannt, daß die Wellenaberration $W(x, y)$ je nach Typ der Bildfehler von Objektiven Terme in einer Potenzreihenentwicklung enthält, die bis zur 6. Ordnung Berücksichtigung finden müssen, um die Abbildungseigenschaften von Abbildungsobjektiven mit genügender Genauigkeit zu beschrei-

ben. Aus den Gln. 4 und 5 ist ersichtlich, daß die sich ergebenden Gleichungen zur Ermittlung von $y(x)$ beim Shearing-Interferometer von mindestens 4. Ordnung und beim Twyman-Green-Interferometer von mindestens 6. Ordnung in y sind. Solche Gleichungen höherer Ordnung können mehrere reelle Lösungen haben, die ermittelt werden müssen, um zu prüfen, welche Lösung die gesuchte ist. Nur wenn die Gleichung linear in y ist, ergibt sich eine einzige Lösung. Dieser Fall liegt dann vor, wenn die Auslenkung des Interferenzstreifens längs des Schnittes durch das zu prüfende optische Abbildungssystem verschwindend klein ist.

Für jeden Streifen ist y eine Funktion von x , die sich in eine Potenzreihe entwickeln läßt in der Form $y(x) = \sum P_i x^i$ ($i = 0 \dots 6$). P_i sind die Koeffizienten der Potenzreihenentwicklung, x ist die laufende Koordinate. Die gesuchte Lösung $y(x)$ ist im Falle der Twyman-Green-Interferogramme unmittelbar identisch mit der gesuchten Wellenaberration des Prüflings. Andererseits können die Koeffizienten der Potenzreihenentwicklung der Wellenaberration auch im Falle des Keil-Shearing-Interferometers durch einen Formelsatz aus den Koeffizienten der Potenzreihenentwicklung von $y(x)$ berechnet werden [1].

3 Theoretische Betrachtung

Als Wellenaberration $W(x, y)$ wird für die weiteren Betrachtungen

$$W(x, y) = D(x^2 + y^2) + K_1 x(x^2 + y^2) + S_1(x^2 + y^2)^2 + K_2 x(x^2 + y^2)^2 + S_2(x^2 + y^2)^3$$

angenommen. Dieser Ansatz für beliebige x und relativ kleine aber endliche y liefert eine sehr gute Beschreibung der Wellenaberrationen bis zu höchstens 6. Ordnung. Relativ kleine y bedeuten dabei einen „quasi-eindimensionalen Ansatz“ für die Wellenaberration, von der im weiteren ausgegangen wird, um die Fehler der tatsächlichen zweidimensionalen Auswertung zu bestimmen. Dabei bezeichnen D die Defokussierung, S_1 und S_2 die primäre und sekundäre sphärische Aberration und K_1 und K_2 Unsymmetrieterme, in denen z.B. die Dezentrierung eines Systems enthalten sein kann aber auch unsymmetrische Bildfehler wie Koma. Der Ansatz dieser Wellenaberration ist für die Nähe der x -Achse, also nur für kleine y -Werte. Durch die Auswertung zweier zueinander senkrechter Schnitte durch die Pupille läßt sich über die sich ergebenden verschiedenen Fokussierungen in den beiden Schnitten der Astigmatismus messen. Auf der x -Achse selbst, also für $y = 0$, beschreibt dieser Ansatz bis auf einen linearen Term, der eine Verzeichnung darstellt und der mit diesen Interferometern ohnehin nicht gemessen werden kann, die vollständige eindimensionale Entwicklung einer beliebigen Funktion bis zur 6. Ordnung. In der Nähe der x -Achse ist dieser Ansatz in sehr guter Näherung zulässig.

Nach Einsetzen der Gl. 3 in die Gln. 1 und 2 erhält man

$$[a(x)y^6 + b(x)y^4 + c(x)y^2 + d(x)] + \alpha y + \text{const} = m\lambda \quad (4)$$

für Twyman-Green-Interferogramme, wobei gilt:

$$a(x) = S_2 \quad (4a)$$

$$b(x) = S_1 + K_2 x + 3S_2 x^2 \quad (4b)$$

$$c(x) = D + K_1 x + 2S_1 x^2 + 2K_2 x^3 + 3S_2 x^4 \quad (4c)$$

$$d(x) = Dx^2 + K_1 x^3 + S_1 x^4 + K_2 x^5 + S_2 x^6, \quad (4d)$$

und

$$a(x)y^4 + b(x)y^2 + c(x) + \alpha y + \text{const} = m\lambda \quad (5)$$

für Keil-Shearing-Interferogramme, wobei gilt:

$$a(x) = 6S_2 Vx + K_2 V \quad (5a)$$

$$b(x) = 12S_2 Vx^3 + 3S_2 V^3 x + 6K_2 Vx^2 + K_2 V^3/2 + K_1 V + 4S_1 Vx \quad (5b)$$

$$c(x) = 6S_2 Vx^5 + 5S_2 V^3 x^3 + 3S_2 V^5 x/8 + 5K_2 Vx^4 + 5K_2 V^3 x^2/2 + K_2 V^5/16 + 3K_1 Vx^2 + K_1 V^3/4 + 4S_1 Vx^3 + S_1 V^3 x + 2D Vx. \quad (5c)$$

Aus den Gln. 4 und 5 ist zu ersehen, daß die bei der eindimensionalen Auswertung gewonnenen y -Werte nur dann in einfacher Weise die Wellenaberration ergeben (vergl. [1]), wenn man die Terme mit dem Quadrat und höheren Potenzen von y möglichst klein macht. Dafür gibt es zwei Möglichkeiten:

1. Verkleinerung der Koeffizienten, die in den Gln. 4 oder 5 vor den Gliedern mit quadratischen oder höheren Potenzen in y stehen, beispielsweise mit Hilfe einer geeigneten Defokussierung D , die bei interferometrischen Messungen ein freier Parameter ist und für die Messung günstig gewählt werden kann. Beim Keil-Shearing-Interferometer ist zusätzlich noch die Verkleinerung vom Shear V möglich.
2. Verringerung der Auslenkung der Streifen in y -Richtung längs des jeweiligen Schnittes. Dies läßt sich immer erreichen durch eine Vergrößerung des Kippwinkels α und damit einer größeren Anzahl von Interferenzstreifen im Beobachtungsfeld.

Eine Vergrößerung der Zahl der Interferenzstreifen im Beobachtungsfeld führt zu einer Verkleinerung ihres Abstandes. Unterhalb eines bestimmten Abstandes der Streifen ist keine ausreichend genaue Bestimmung der Auslenkung der Streifen mehr möglich. Dies ist auch abhängig von der Meßmethode zur Bestimmung der Streifenauslenkung. Bei Vorliegen von Bildfehlern ist es im allgemeinen sinnvoll, ein Interferometer nicht im Gaußschen Fokus einzustellen

sondern vielmehr im sog. Optimalfokus. Der Optimalfokus ist von der normalen Photographie her als derjenige Fokus bekannt, bei dem eine „optimale Bildqualität“ erreicht wird. Im Optimalfokus wird z.B. eine sphärische Aberration in gewissem Maße durch eine gegenläufige Defokussierung kompensiert, so daß sich hier eine kleinere Gesamt-Wellenaberration ergibt als im Gaußschen Fokus. Übertragen auf Interferometer bedeutet dies, daß im Optimalfokus eine kleinere Streifenauslenkung vorhanden sein wird als im Gaußschen Fokus. Beim Keil-Shearing-Interferometer kommt hinzu, daß die Defokussierung das gesamte Interferenzstreifenfeld dreht und damit durch eine geeignete Defokussierung das Interferenzstreifenfeld möglichst günstig für eine Auswertung gelegt werden kann. Die Defokussierung in den hier vorliegenden Fällen wurde durch den minimalen Fehler der optischen Übertragungsfunktion bei 60 Linien pro Millimeter festgelegt.

4 Ergebnisse

Für eine vorgegebene Wellenaberration und jeweils festgehaltene Parameter V (shear) und α (tilt) und verschiedene x -Werte in der Interferenzzone wurde eine reelle y -Lösung aus den Gln. 4 und 5 für Twyman-Green- und Keil-Shearing-Interferometer gesucht und damit ein Punkt (x, y) des Interferenzstreifens bestimmt. Es wurde jeweils ein zentraler Streifen ausgewertet, der durch die optische Achse verläuft. Für die Lösung der Gl. 5 für das Keil-Shearing-Interferogramm, die von 4. Ordnung in y ist, läßt sich eine formelmäßige Lösung angeben, die allerdings sehr kompliziert ist und auf deren Angabe hier verzichtet wird. Für die Lösung der Gl. 4 für das Twyman-Green-Interferogramm ist keine formelmäßige Lösung bekannt, hier wurde auf die mathematische Methode der Intervallschachtelung zurückgegriffen.

Der so erzeugte Interferenzstreifen der Ordnung m für die vorgegebene Wellenaberration und mit den festgehaltenen Parametern wurde dann als ein fiktives Meßergebnis angenommen und mit dem eindimensionalen Verfahren ausgewertet, vergl. [1]. Man erhält wegen der zu analysierenden systematischen Fehler des Verfahrens eine etwas andere Wellenfront als Ergebnis. Die Fehler der Wellenfrontbestimmung können damit ermittelt werden. Weiterhin wurde mittels des Duffieux-Integrals aus der originalen Wellenaberration und der aus der eindimensionalen Auswertung stammenden Wellenaberration die optische Übertragungsfunktion (OTF) berechnet. Bei der OTF-Berechnung können dann zusätzlich noch über eine optimale Fokussierung Zufälligkeiten bei der Wellenaberrationsberechnung ausgeschaltet werden. Der Unterschied zwischen beiden Wellenfronten und den zugehörigen OTF's ist dann ein Maß für den Fehler des eindimensionalen Auswerteverfahrens.

Um die Abhängigkeit der systematischen Fehler des eindimensionalen Auswerteverfahrens von den Parametern

D , V und α quantitativ zu erfassen, werden im folgenden Abschnitt Rechenergebnisse vorgestellt.

In allen folgenden Beispielen wurde der Einfachheit halber $K_1 = K_2 = 0$ gesetzt. Dies entspricht einem gut zentrierten Objektiv auf der optischen Achse. Ähnliche Ergebnisse lassen sich aber auch für Messungen unter endlichen Bildwinkeln gewinnen. Die Wellenaberrationen und deren Koeffizienten sind in Wellenlängeneinheiten für normierte Pupillenradien dargestellt. Die primäre und sekundäre sphärische Aberration S_1 und S_2 wurde in einem repräsentativen Beispiel von den Daten eines Kleinbildobjektivs mit Blende 2 und einer Brennweite von 50 mm übernommen. Mit diesem Objektiv wurde auch eine größere Anzahl von Experimenten mit Twyman-Green- und Keil-Shearing-Interferometern durchgeführt. Der Pupillendurchmesser betrug 25 mm, die zur Messung und Rechnung benutzte Wellenlänge war 633 nm.

4.1 Der Fall des Twyman-Green-Interferometers

Wenn die Abhängigkeit des systematischen Fehlers von der Defokussierung D bei konstantem Kippwinkel α ermittelt wird, zeigen sich ausgeprägte Minima sowohl im Wellenfrontfehler als auch im Fehler der optischen Übertragungsfunktion. Wie erwartet wurde und wie auch bereits weiter oben plausibel gemacht wurde, entsprechen die Stellen der Minima ungefähr der optimalen Fokussierung im praktischen Einsatz. Dies ist deshalb leicht verständlich, weil im Optimalfokus auch nahezu die kleinste Auslenkung der Interferenzstreifen vorliegt.

Im weiteren wird insbesondere gezeigt, wie der Kippwinkel α den Wellenfrontfehler und den Fehler der optischen Übertragungsfunktion beeinflusst, die Bilder 1a und 1b stellen diesen Einfluß im einzelnen dar. Dabei wurde etwa die optimale Fokussierung gewählt, um Ergebnisse zu erhalten, die dem praktischen Einsatz des Objektivs entsprechen. Auffällig dabei ist insbesondere der steile Anstieg des Fehlers bei zu kleinem Kippwinkel α . Dieser Effekt wird umso größer, je größer die Aberration des Objektivs ist.

Im Bild 1c wird weiterhin die maximale Auslenkung y_{\max} des Interferenzstreifens in y -Richtung in Abhängigkeit vom Kippwinkel α aufgetragen. Diese Kurven geben eine Aussage über die Meßempfindlichkeit des Verfahrens, als dessen Maß y_{\max} seine Berechtigung hat. Vergrößert man den Kippwinkel, um die systematischen Fehler zu verkleinern, so muß man gleichzeitig einen Verlust an Meßempfindlichkeit in Kauf nehmen.

4.2 Der Fall des Keil-Shearing-Interferometers

Wie in den Bildern 2a-c zu sehen ist, verhält sich der systematische Fehler beim Keil-Shearing-Interferometer ähnlich wie beim Twyman-Green-Interferometer abgesehen davon, daß beim Fehler der Modulationsübertragungsfunktion manchmal ein kleines zusätzliches Extremum vorliegt. Dieses Extremum in der vorliegenden Form resultiert aus der Betragbildung der optischen Übertragungsfunktion. Die Bilder 2a und 2b zeigen den Einfluß des Kippwinkels α auf den Wellenfrontfehler und den MTF-Fehler. Beachtlich ist hierbei insbesondere der große Einfluß der Shear-Größe auf den systematischen Fehler. Für eine gleiche Auswertegenauigkeit ergibt sich eine etwas höhere Meßempfindlichkeit mit kleinerer Shear-Größe. Dies läßt sich auch weiter durch Vergleich mit der maximalen Auslenkung der Interferenzstreifen im Keil-Shearing-

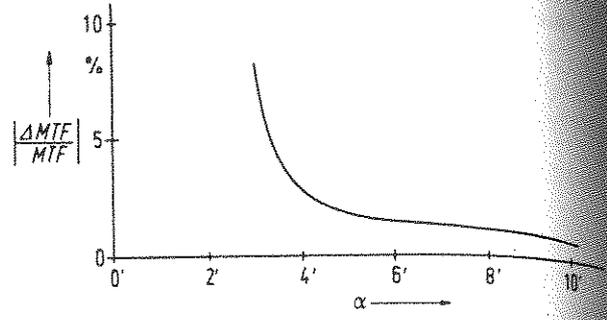


Bild 1a Der Fehler des eindimensionalen Auswerteverfahrens des Twyman-Green-Interferometers in Bezug auf die Modulationsübertragungsfunktion in Abhängigkeit vom Kippwinkel α der beiden interferierenden Wellenfronten. Lichtwellenlänge 633 nm. $\alpha = 1'$ entspricht etwa 0,5 Streifen/mm. Durchmesser der Pupille 25 mm

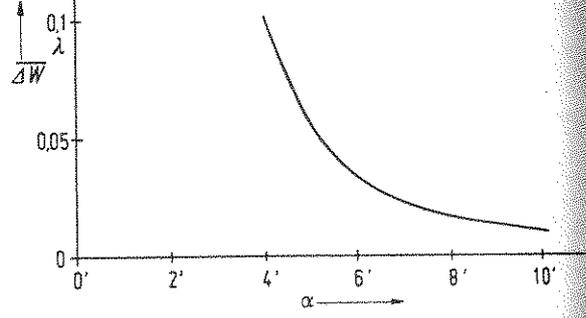


Bild 1b Wie 1a, jedoch für den mittleren Fehler in der Bestimmung der Wellenaberration

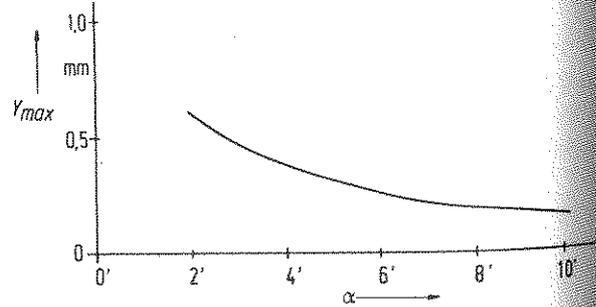


Bild 1c Die maximale Auslenkung des Interferenzstreifens für ein Twyman-Green-Interferometer in Abhängigkeit vom Kippwinkel α der beiden interferierenden Wellenfronten. Lichtwellenlänge 633 nm. $\alpha = 1'$ entspricht etwa 0,5 Streifen/mm. Durchmesser der Pupille 25 mm

funktion. Die Bilder 2a und 2b zeigen den Einfluß des Kippwinkels α auf den Wellenfrontfehler und den MTF-Fehler. Beachtlich ist hierbei insbesondere der große Einfluß der Shear-Größe auf den systematischen Fehler. Für eine gleiche Auswertegenauigkeit ergibt sich eine etwas höhere Meßempfindlichkeit mit kleinerer Shear-Größe. Dies läßt sich auch weiter durch Vergleich mit der maximalen Auslenkung der Interferenzstreifen im Keil-Shearing-

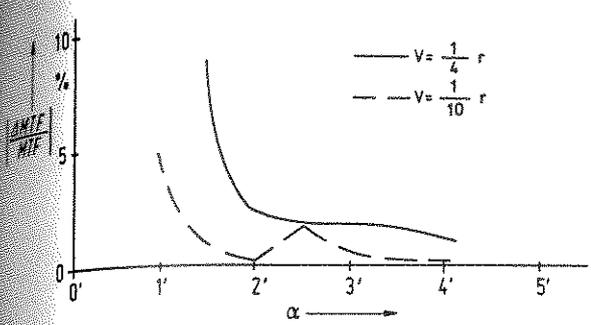


Bild 2a Der Fehler des eindimensionalen Auswerteverfahrens für das Keil-Shearing-Interferometer in Bezug auf die Modulationsübertragungsfunktion in Abhängigkeit vom Kippwinkel α der beiden interferierenden Wellenfronten. Lichtwellenlänge $\lambda = 633 \text{ nm}$. $\alpha = 1'$ entspricht etwa 0,5 Streifen/mm. Durchmesser der Pupille 25 mm. Der Parameter ist der Shear V

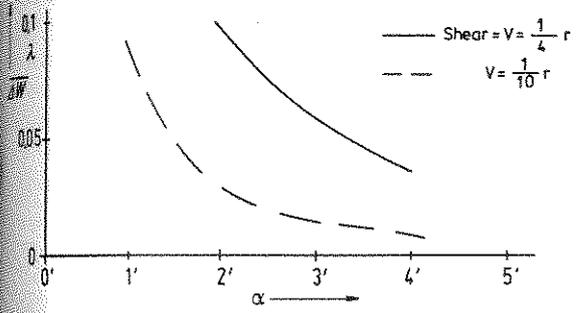


Bild 2b Wie 1a, jedoch für den mittleren Fehler in der Bestimmung der Wellenaberration

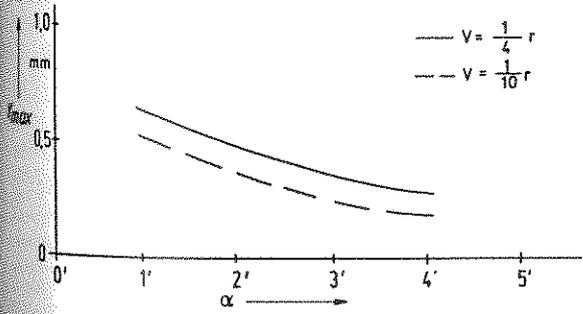


Bild 2c Die maximale Auslenkung des Interferenzstreifens für das Keil-Shearing-Interferometer in Abhängigkeit vom Kippwinkel α der beiden interferierenden Wellenfronten. Lichtwellenlänge $\lambda = 633 \text{ nm}$. $\alpha = 1'$ entspricht 0,5 Streifen/mm. Durchmesser der Pupille 25 mm. Der Parameter ist der Shear V

Einfluß des Kippwinkels α auf den mittleren Fehler ΔW bei einer bestimmten Shear-Größe V . Die Kurven zeigen, daß der Fehler mit zunehmendem Kippwinkel abnimmt. Ein Kippwinkel von $1'$ entspricht einer Shear-Größe von $0,5 \text{ Streifen/mm}$.

Interferometer nach Bild 2c feststellen. Dies ist insofern von besonderem Interesse, als sich aus anderen Überlegungen in [1] etwas größere Werte des Shear V als günstig erwiesen hatten. Um die sich bei einigen Experimenten ergebenden Schwierigkeiten bei quantitativer Auswertung aufzuklären, waren die hier vorgelegten Untersuchungen auch unternommen worden.

4.3 Vergleich des Twyman-Green-Interferometer-Verfahrens mit dem Keil-Shearing-Verfahren

Vergleicht man die Bilder 2 mit den Bildern 1, so stellt man fest, daß die Fehlerkurven beim Shearingverfahren bei $V = r/4$ (r : Pupillenradius) denen beim Twyman-Verfahren gleichen, aber gleichzeitig beim Shearing-Verfahren eine größere Maximalauslenkung y_{max} auftritt. Auch bei $V = r/10$ bietet das Shearing-Verfahren mit gleichem y_{max} niedrigere Auswertefehler. Hier wird der Vorteil des Shearing-Verfahrens deutlich: Beim Beachten obiger Kriterien und einer daraus folgenden günstigen Einstellung des Interferometers bei der Messung treten hier kleinere Auswertefehler mit höherer Meßgenauigkeit auf.

In der Praxis gilt oft 5% als Fehlergrenze bei OTF-Messungen. Für ein Photoobjektiv der Brennweite 50 mm bei Blende 2, das am Pupillenrand eine Wellenaberration von $S_1 = 10,6 \text{ Lambda}$ und $S_2 = -7,0 \text{ Lambda}$ aufweist, ist diese Meßgenauigkeit unter Nutzung der beschriebenen Methode zu erreichen. Man benutzt entweder ein Twyman-Green-Interferometer, indem man bei einer Defokussierung von $D = -3,6 \text{ Lambda}$ den Kippwinkel α größer als $4'$ macht, d.h., etwa 50 Streifen über die Pupille einstellt, oder ein Keil-Shearing-Interferometer, indem man bei $D = -3,6 \text{ Lambda}$ und $V = r/10$ die Kippung größer als $1'$ macht, d.h., nur 13 Streifen über die Pupille einstellt. Die zugehörigen Werte von y_{max} sind jeweils 0,39 mm und 0,53 mm. Das letzte Verfahren ist damit vorzuziehen.

5 Schlußbemerkung

Es wurde gezeigt, daß mit günstig eingestellten Parametern des Interferometers das eindimensionale Auswerteverfahren für Interferogramme hinreichend genau und empfindlich ist. Die Kriterien sind die optimale Einstellung der Defokussierung im üblichen Sinne, die relativ große Kippung und beim Shearing-Interferometer die relativ kleine Shear-Größe.

Die Zahl der Interferenzstreifen, die zu einer solchen genügend genauen eindimensionalen Auswertung eingestellt werden müssen, liegt je nach Typ der Aberrationen eines Objektivs und je nach Typ des benutzten Interferometers zwischen ungefähr 10 und 50. Solche Interferogramme haben Streifenauslenkungen, die eine genaue Streifenlokalisierung und -vermessung gestatten.

Die Autoren danken Professor Dr. K.-J. Rosenbruch und Prof. Dr. K. Dorenwendt für anregende Diskussionen und Professor Rosenbruch insbesondere auch für die Unterstützung dieser Arbeit.

Literatur

[1] I. Weingärtner und H. Stenger, PTB-Mitteilungen, 95 (1985) S. 161