

DIN EN ISO 14880-2



ICS 31.260

Entwurf

Einsprüche bis 2023-06-07
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO 14880-2:2007-03

**Optik und Photonik –
Mikrolinsenarrays –
Teil 2: Prüfverfahren für Wellenfrontaberrationen
(ISO/DIS 14880-2:2023);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 14880-2:2023**

Optics and photonics –
Microlens arrays –
Part 2: Test methods for wavefront aberrations (ISO/DIS 14880-2:2023);
German and English version prEN ISO 14880-2:2023

Optique et photonique –
Réseaux de microlentilles –
Partie 2: Méthodes d'essai pour les aberrations du front d'onde (ISO/DIS 14880-2:2023);
Version allemande et anglaise prEN ISO 14880-2:2023

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-04-07 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nafuo@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO), Alexander-Wellendorff-Str. 2, 75172 Pforzheim.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 70 Seiten

DIN-Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 14880-2:2023) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 172 „Optics and photonics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 123 „Laser und Photonik“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 027-01-18 AA „Laser und elektro-optische Systeme“ im DIN-Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 10110-14	siehe	DIN ISO 10110-14
ISO 14880-1	siehe	DIN EN ISO 14880-1
ISO 15367-2	siehe	DIN EN ISO 15367-2
ISO 15529	siehe	DIN ISO 15529

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 14880-2:2007-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Text für Anhang E überarbeitet;
- b) Bild E.1 ersetzt;
- c) Referenzen und Nummerierung bestätigt.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 14880-1, *Optik und Photonik — Mikrolinsenarrays — Teil 1: Begriffe*

DIN ISO 10110-14, *Optik und Photonik — Erstellung von Zeichnungen für optische Elemente und Systeme — Teil 14: Toleranzen für Wellenfrontdeformationen*

DIN EN ISO 15367-2, *Laser und Laseranlagen — Prüfverfahren für die Bestimmung der Wellenfrontform von Laserstrahlen — Teil 2: Shack-Hartmann-Sensoren*

DIN ISO 15529, *Optik und Photonik — Optische Übertragungsfunktion — Messung der Modulationsübertragungsfunktion (MTF) von abtastenden Abbildungssystemen*

– *Entwurf* –

E DIN EN ISO 14880-2:2023-05

– Leerseite –

**Optik und Photonik – Mikrolinsenarrays – Teil 2: Prüfverfahren für
Wellenfrontaberrationen (ISO/DIS 14880-2:2023)**

Optics and photonics – Microlens arrays – Part 2: Test methods for wavefront aberrations
(ISO/DIS 14880-2:2023)

Optique et photonique – Réseaux de microlentilles – Partie 2: Méthodes d'essai pour les aberrations du front
d'onde (ISO/DIS 14880-2:2023)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Symbole und Abkürzungen	7
5 Geräte	7
5.1 Allgemeines	7
5.2 Normquelle für die optische Strahlung	8
5.3 Referenzobjektiv	8
5.4 Kollimator	8
5.5 Strahlreduzierendes optisches System	8
5.6 Aperturblende	9
6 Kurzbeschreibung des Verfahrens	9
7 Messanordnung	9
7.1 Messanordnung für Einzelmikrolinsen	9
7.2 Messanordnung für Mikrolinsenarrays	10
7.3 Geometrische Ausrichtung der Probe	10
7.4 Vorbereitung	10
8 Durchführung	10
9 Auswertung	10
10 Genauigkeit	11
11 Prüfbericht	11
Anhang A (normativ) Prüfverfahren für Mikrolinsen — Messanforderungen	13
Anhang B (normativ) Prüfverfahren 1 und 2 für Mikrolinsen	
Mach-Zehnder-Interferometersystem	15
B.1 Messanordnung und Prüfgeräte	15
B.2 Messung	15
B.2.1 Verfahren 1	15
B.2.2 Verfahren 2	16
Anhang C (normativ) Prüfverfahren 3 und 4 für Mikrolinsen	
Lateral-Shearing-Interferometersystem	21
C.1 Messanordnung und Prüfgeräte	21
C.2 Messung	21
C.2.1 Verfahren 3	21
C.2.2 Verfahren 4	22
Anhang D (normativ) Prüfverfahren 5 für Mikrolinsen — Shack-Hartmann-Sensorsystem	26
D.1 Messanordnung und Prüfgeräte	26
D.2 Messung	26
Anhang E (normativ) Prüfverfahren 1 für Mikrolinsenarrays	
Twyman-Green-Interferometersystem	28
E.1 Messanordnung und Prüfgeräte	28
E.2 Messung	28
Anhang F (normativ) Prüfverfahren 2 für Mikrolinsenarrays — Messung der Gleichmäßigkeit	30
F.1 Messanordnung und Prüfgerät	30
F.2 Messung und Gleichmäßigkeit	30
F.3 Simultanmessung der Wellenfrontaberrationen eines Mikrolinsenarrays	31
Literaturhinweise	33

Bilder

Bild B.1 — Phasenverschiebungsinterferometer (Phase Shifting Interferometer) auf Grundlage eines Mach-Zehnder-Interferometers	16
Bild B.2 — Mach-Zehnder-Interferometer, beruhend auf einer Polarisationsstrahlenteiler-Einheit in Kombination mit polarisationserhaltenden Einmodenfasern zur flexiblen Strahlführung und einem in den Prüfzweig des Interferometers eingebauten abbildenden Mikroskop	17
Bild B.3 — Bestrahlung mit weißem Licht zum Positionieren der Maske	18
Bild B.4 — Bestrahlung der Linsenarrayebene mit ebenen Wellen	19
Bild B.5 — Bildfeld bei Bestrahlung mit einer Kugelwelle	19
Bild B.6 — Wellenfrontaberrationen als Zernike-Fit	20
Bild C.1 — Lateral-Shearing-Interferometer, beruhend auf dem Michelson-Aufbau, bei dem die laterale Scherung durch Neigen eines der Spiegel erzeugt wird	22
Bild C.2 — Shearing-Interferometer auf Grundlage von zwei hintereinander angeordneten Ronchi-Phasengittern	23
Bild C.3 — Aufbau eines Shearing-Interferometers zum Prüfen von Mikrolinsen auf Wellenfrontaberrationen auf Grundlage einer diffraktiven Scherungsvorrichtung, die symmetrisch und frei von zur Aberration beitragenden Elementen ist	24
Bild C.4 — Shearing-Interferogramme, erzeugt mit Hilfe eines Interferometers mit diffraktiver Scherung bei einer Wellenlänge von 1,32 µm in x- und y-Richtung	25
Bild D.1 — Anordnung für die Bezugsmessung	27
Bild D.2 — Anordnung für die Messung einer niedrig geöffneten Mikrolinse	27
Bild D.3 — Anordnung für die Messung einer hoch geöffneten Mikrolinse	27
Bild E.1 — Twyman-Green-Interferometer für Wellenfrontmessungen an Mikrolinsenarrays . .	29
Bild F.1 — Prüfanordnung mit einem Lateral-Shearing-Interferometer	30
Bild F.2 — Beispiele der Gleichmäßigkeitsprüfung durch Scherung um ein Linsenrastermaß . .	31
Bild F.3 — Lateral-Shearing-Interferometer auf Grundlage von zwei nacheinander angeordneten Phasengittern vom Ronchi-Typ, das aufgrund des hochsymmetrischen optischen Strahlengangs ein hohes Maß an Gerätefehlerfreiheit bietet	31
Bild F.4 — Wellenfrontaberrationsmessung an einem Linsenarray mit einem Array von CGH-Kompensatoren für den sphärischen Teil der Wellenfront	32

Tabellen

Tabelle 1 — Symbole und Maßeinheiten	7
--	---

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 14880-2:2023) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 172 „Optik und Photonik“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 123 „Laser und Photonik“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN ISO 14880-2:2006 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 14880-2:2023 wurde vom CEN als prEN ISO 14880-2:2023 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 172, *Optics and Photonics*, Unterkomitee SC 09, *Laser and electro-optical systems* erarbeitet.

Diese zweite Ausgabe ersetzt die erste Ausgabe (ISO 14880-2:2006), die technisch überarbeitet wurde.

Die wesentlichen Änderungen sind folgende:

- Text für Anhang E überarbeitet
- Bild E.1 ersetzt
- Referenzen und Nummerierung bestätigt

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 144880 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Dieses Dokument legt Verfahren zum Prüfen von Wellenfrontaberrationen für Mikrolinsenarrays fest. Beispiele für Anwendungen von Mikrolinsenarrays schließen dreidimensionale Displays, Koppeloptiken für Lichtquellen- und Photoempfänger-Arrays, Optiken zur Steigerung der Lichtausbeute von Flüssigkristalldisplays und Elemente für die optische Parallelverarbeitung ein.

Der Markt für Mikrolinsenarrays hat einen dringenden Bedarf für die Vereinbarung der grundlegenden Terminologie und Prüfverfahren zur Definition von Mikrolinsenarrays erzeugt. Eine genormte Terminologie und eine eindeutige Begriffsdefinition werden nicht nur für die Förderung von Anwendungen benötigt, sondern auch um Wissenschaftler und Ingenieure zum Ideenaustausch und neuen Konzepten auf Grundlage eines gemeinsamen Verständnisses anzuregen.

Mikrolinsen werden als Einzellinsen und auch in Anordnungen (Arrays) von zwei oder mehr Linsen verwendet. Die Eigenschaften der Linsen werden im Wesentlichen mit denen einer Einzellinse bewertet. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass die Grundeigenschaften einer Einzellinse beurteilt werden können. Wenn sich eine große Anzahl an Linsen auf einem einzigen Substrat befindet, wird die Messung der gesamten Anordnung jedoch sehr zeit- und kostenaufwändig sein. Des Weiteren sind Verfahren zum Messen der Linsenform wesentliche Hilfsmittel in der Produktion von Mikrolinsenarrays.

Charakteristische Parameter und Beispiele von Anwendungen sind in ISO 14880-1, *Begriffe*, festgelegt. Sie wird durch drei weitere Teile vervollständigt: *Teil 2: Prüfverfahren für Wellenfrontaberrationen*, *Teil 3: Prüfverfahren für optische Eigenschaften außer Wellenfrontaberrationen* und *Teil 4: Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften*.

Dieses Dokument legt die Verfahren zum Messen der Güte der Wellenfront fest. Die Güte der Wellenfront ist die grundlegende Kenngröße zur Bewertung einer Mikrolinse. Andere Kenngrößen als die Wellenfrontaberrationen sind in ISO 14880-3, ISO 14880-4 und ISO/TR 14880-5 festgelegt.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die Verfahren zum Prüfen der Wellenfrontaberrationen für Mikrolinsen innerhalb von Mikrolinsenarrays fest. Er gilt für Mikrolinsenarrays mit sehr kleinen Linsen in oder auf einer bzw. mehreren Oberflächen eines gemeinsamen Substrats.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 14880-1, *Optics and photonics — Microlens array — Part 1: Vocabulary*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gelten die in ISO 14880-1 angegebenen Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>

— IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

4 Symbole und Abkürzungen

Tabelle 1 — Symbole und Maßeinheiten

Symbol	Einheit	Begriff
ϕ	μm	Wellenfrontaberration
$\phi_{\text{p-v}}$	μm	Differenz zwischen Maximum und Minimum (peak-to-valley-Wert) der Wellenfrontaberration
ϕ_{rms}	μm	Wurzel aus dem quadratischen Mittelwert der Wellenfrontaberration
λ	μm	Wellenlänge
θ	Grad	Akzeptanzwinkel
NA	ohne	Numerische Apertur

ANMERKUNG Die Wellenfrontaberration, die peak-to-valley-Werte der Wellenfrontaberration und die Effektivwerte der Wellenfrontaberration werden häufig in Einheiten von „ λ “ auf der Grundlage der Ergebnisse von Interferometermessungen angegeben. Die Wellenfrontaberration wird in Vielfachen von „ λ “ (Wellenlänge [μm]) der im Interferometer verwendeten Laserlichtquelle angegeben.

5 Geräte

5.1 Allgemeines

Das Prüfsystem besteht aus einer optischen Strahlungsquelle, einer Kollimatorlinse, einem Verfahren zur Begrenzung der Messapertur, einem Probenhalter, einer Abbildungsoptik, einem Bildsensor und einem System zur Analyse der Interferenzfiguren [1] [2] [4] [5] [8] [11] [21].

5.2 Normquelle für die optische Strahlung

Es muss eine optische Strahlungsquelle verwendet werden, die zum Prüfen der Wellenfrontaberrationen von Mikrolinsen geeignet ist. Die Aberrationen der zur Messung verwendeten einfallenden Wellenfront müssen bei der Betriebswellenlänge eine Standardabweichung von $\lambda/20$ über eine Fläche, die der effektiven Apertur entspricht, der zu prüfenden Mikrolinse aufweisen.

Zu den festzulegenden Eigenschaften der Strahlungsquelle gehören Schwerpunktwellenlänge, Halbwertsbreite des Spektrums, Art der optischen Strahlungsquelle, Polarisationszustände (optische Strahlung mit zufällig verteilter Polarisationsrichtung, linear polarisierte optische Strahlung, zirkular polarisierte optische Strahlung usw.), Bestrahlungswinkel (in mrad), Größe des Lichtpunktes oder Strahltaillenparameter. Andernfalls muss die Spezifikation der Strahlungsquelle im Prüfbericht beschrieben werden.

ANMERKUNG 1 He-Ne-Gaslaser werden manchmal verwendet. Andere Gaslaser, Festkörperlaser, Halbleiterlaser (LD, Laserdioden) und lichtemittierende Dioden (LED) werden ebenfalls angewendet.

ANMERKUNG 2 LD und LED werden wenn notwendig zusammen mit Strahlformenden Optiken verwendet.

5.3 Referenzobjektiv

Wenn ein Referenzobjektiv als Bezugslinse oder zum Erzeugen einer idealen Kugelwelle (Elementarwelle) verwendet wird, müssen die Wellenfrontaberrationen des Referenzobjektivs im Vergleich zur zu prüfenden Linse um mindestens eine Größenordnung kleiner sein oder dürfen höchstens einer Standardabweichung von $< \lambda/20$ entsprechen.

Das als Referenzobjektiv verwendete Mikroskopobjektiv muss durch seine effektive numerische Apertur spezifiziert werden. Folgendes muss angegeben werden:

- effektive Apertur;
- effektive Brennweite bei der Betriebswellenlänge.

Die Prüfgeometrie für die Messung der Wellenfrontaberrationen ist auf den Fall ∞/f für die konjugierten Punkte (Ebenen) der Linse beschränkt.

5.4 Kollimator

Die Kollimatoroptik muss eine hinreichend größere numerische Apertur aufweisen als die maximale numerische Apertur der Probe, um Effekte aufgrund von Beugung zu vermeiden. Die Wellenfrontaberrationen sollten unter dem Wert des Maréchal-Kriteriums und/oder dem Wert der Strehl-Definition liegen (beide $\lambda/14$: $0,07\lambda$ rms). Es wird jedoch empfohlen, dass sie bei der Betriebswellenlänge kleiner als $\lambda/20$ sind.

Andernfalls sollte die verwendete Spezifikation im Prüfbericht beschrieben werden.

5.5 Strahlreduzierendes optisches System

Für die Anpassung des Strahlquerschnitts auf den Arrayempfänger wird ein teleskopisches System verwendet, das aus zwei Sammellinsen in einer afokalen Anordnung besteht. Das Verhältnis der Brennweiten ergibt den Reduktionsfaktor. Es wird empfohlen, dass die Wellenfrontaberrationen bei der Betriebswellenlänge weniger als $\lambda/20$ betragen.

ANMERKUNG Der Durchmesser der zu bewerteten Linsenfläche kann mittels Software auf die effektive Apertur eingestellt werden, um zusätzliche Beugung an einer physischen Apertur zu vermeiden.

5.6 Aperturblende

Eine physische Blende wird in den Strahlengang des Messgerätes eingebracht, um den Durchmesser des auf die zu prüfende Linse einfallenden Strahlenbündels zu beschränken. Alternativ darf die Blende während der Auswertung durch eine (Beschneidungs-)Software definiert werden.

6 Kurzbeschreibung des Verfahrens

Die Wellenfrontaberrationen der Prüfmikrolinse müssen mit einem Interferometer oder einem anderen Wellenfrontprüfgerät, wie in den Anhängen beschrieben, bestimmt werden. Wenn Gauß'sche Strahlen mit kleinem Durchmesser verwendet werden, sollte vorsichtig vorgegangen werden, da die geometrische Optik für die Ausbreitung derartiger Strahlenbündel nicht gilt. Die Empfänger Oberfläche muss zur Eintritts- oder Austrittspupille der zu prüfenden Mikrolinse konjugiert sein. Zum Analysieren der Daten für die Wellenaberrationen wird eine Apertur verwendet [9] [10] [12] [13] [14].

Das Prüfverfahren muss passend zur Anwendung gewählt werden. Anwendungen mit einfachem Lichtdurchgang erfordern eine Prüfung mit Interferometern mit einfachem Lichtdurchgang [9].

ANMERKUNG Interferometer nutzen Laserquellen für den Aufbau der interferometrischen Prüfung. Dielektrische Grenzflächen zwischen Linsen tragen zu unerwünschten Reflexionen und unerwünschten Streifenmustern bei. Dies kann schwerwiegende Probleme hinsichtlich reflektierter optischer Strahlung hervorrufen, wenn eine Anordnung mit doppeltem Lichtdurchgang gewählt wird. Dies ist bei Verwendung von Fizeau- oder Twyman-Green-Interferometern der Fall.

Anordnungen mit einfachem optischen Strahldurchgang werden durch Geister-Interferenzstreifen weniger beeinflusst als Reflexionsinterferometer. Aus diesem Grund sind Interferometer vom Mach-Zehnder-Typ oder Lateral-Shearing-Typ bzw. Shack-Hartmann-Anordnungen im Durchlicht zu bevorzugen. Für die Messung von Wellenfrontaberrationen wird daher eine Geometrie mit einfachem Lichtdurchgang im Durchlicht die erste Wahl zur Reduktion von Falschlichtreflektionen sein.

7 Messanordnung

7.1 Messanordnung für Einzelmikrolinsen

Zum Messen der von den zu prüfenden Mikrolinsen transmittierten Wellenfront müssen Interferometer oder Wellenfrontdetektoren verwendet werden. Interferometer mit einfachem Lichtdurchgang, wie Mach-Zehnder- und Lateral-Shearing-Interferometer, oder Interferometer mit zweifachem Lichtdurchgang, wie Fizeau und Twyman-Green, sowie Shack-Hartmann-Wellenfrontdetektoren können zum Prüfen verwendet werden, wie in Anhang B bis Anhang D gezeigt wird.

Die Messanforderungen müssen festgelegt sein. Typische Kriterien für die Wahl eines bestimmten Verfahrens sind:

- geforderte Präzision;
- geforderte zu messende Eigenschaften;
- Flexibilität der Messung;
- Kosten;
- Punktmessung auf einer Linse oder vollständige Messung.

Hinsichtlich weiterer Einzelheiten siehe ISO/TR 14999-2.

7.2 Messanordnung für Mikrolinsenarrays

Zum gleichzeitigen Messen gesamter Arrays oder von Teilen dieser Arrays müssen Interferometer oder Wellenfrontdetektoren im Durchlicht verwendet werden. Übliche Messanordnungen sind in Anhang E und Anhang F beschrieben.

ANMERKUNG Während die Prüfung von aus einem Array ausgewählten Einzellinsen durch Bestrahlung der Testlinse mit sphärischen Wellen erfolgt, ist dies im Allgemeinen für Array-Prüfungen nicht möglich. In diesem Fall ist eine Bestrahlung mit ebenen Wellen besser geeignet oder es müssen spezielle Vorkehrungen mit wellenfrontformenden diffraktiven Arrays getroffen werden [9].

7.3 Geometrische Ausrichtung der Probe

Die zu prüfende Mikrolinse und deren Koppeloptik müssen üblicherweise coaxial zum Wellenfront-Messgerät ausgerichtet oder dementsprechend justiert werden. Für diesen Zweck sind kommerzielle optische Justiergeräte und/oder -einrichtungen verfügbar.

ANMERKUNG Die Probe wird auf einem Aufnahmetisch angebracht, z. B. durch Luft angesaugt, der zum Ausrichten zwei oder drei Freiheitsgrade besitzt.

7.4 Vorbereitung

Das Prüfgerät muss in einer temperaturgeregelten Umgebung verbleiben und darf keinen Vibrationen ausgesetzt werden.

Die zu prüfenden optischen Oberflächen müssen sauber sein. Unbeschichtete Glasoberflächen können mit Alkohol und Watte zuverlässig gereinigt werden. Die Watte sollte vor Berührung der Oberfläche mit einer sehr kleinen Menge des Lösemittels getränkt und lediglich einmal über die Oberfläche geführt werden, bevor sie verworfen wird. Dies verringert die Gefahr des Zerkratzens der Oberfläche auf ein Mindestmaß. Staub kann mit einer sauberen Kamelhaarbürste oder gefilterter Druckluft entfernt werden.

Beschichtete optische Oberflächen, beispielsweise Oberflächen mit Antireflexbelag, sollten mit großer Sorgfalt behandelt werden und, sofern nicht unbedingt notwendig, nicht gereinigt werden. Staub darf mit gefilterter Druckluft beseitigt werden.

Für die richtige Verwendung von Lösemitteln, Baumwolle oder anderer Wischmaterialien sollte eine Anleitung herangezogen werden.

8 Durchführung

Die Messanforderungen und üblichen Verfahren zum Messen der Wellenfrontaberration von Einzellinsen sind in Anhang A bis Anhang D beschrieben.

Beispiele für Messungen von Wellenfrontaberrationen an Mikrolinsenarrays sind in Anhang E und Anhang F beschrieben.

9 Auswertung

Die Wellenfrontaberration kann aus dem Interferogramm (siehe Literaturhinweise [8] und [12]) oder aus Messungen mit anderen, in Anhang A bis Anhang F beschriebenen Wellenfrontmesssystemen berechnet werden. Aus den Wellenfrontaberrationen von sphärischen Linsen mit kreisförmigen Aperturen können mit einer durch Software definierten Apertur die primären Zernike-Koeffizienten abgeleitet werden.

ANMERKUNG 1 Typische Wellenfrontabweichungen beschrieben durch Zernike-Koeffizienten sind:

— sphärische Aberration;

- Astigmatismus;
- Asymmetriefehler (Koma).

ANMERKUNG 2 Hinsichtlich anderer Formen der Linsenapertur (z. B. rechteckig) siehe ISO/TR 14999-2.

Die gemessenen Wellenfrontaberrationen der Proben müssen bewertet und eingestuft werden, z. B. als Spitzenwerte (peak-to-valley) oder quadratische Mittelwerte.

Die Spitzenwerte der Wellenfrontaberration (peak-to-valley) sollten mit Vorsicht interpretiert werden, da sie durch zufällige Spitzenwerte beeinflusst werden. Es wird empfohlen, stattdessen das mehrfache (mindestens das dreifache) des quadratischen Mittelwertes zu verwenden.

10 Genauigkeit

Die Wellenfrontaberrationen einer Probe werden von einem Wellenfrontprüfsystem gemessen, das selbst eine gewisse Aberration beitragen kann. Die Genauigkeit der Messung kann durch Subtraktion der Systemaberrationen verbessert werden [6] [7].

11 Prüfbericht

Die Prüfergebnisse müssen aufgezeichnet werden und der Prüfbericht muss, falls zutreffend, die folgenden Angaben enthalten:

- a) allgemeine Angaben:
 - 1) Prüfung wurde nach ISO 14880-2:2005 durchgeführt;
 - 2) Prüfdatum;
 - 3) Name und Anschrift der Prüforganisation;
 - 4) Name der Person, die die Prüfung durchführt;
- b) Angaben zur geprüften Linse:
 - 1) Linsentyp;
 - 2) Hersteller;
 - 3) Herstellermodell;
 - 4) Seriennummer;
- c) Prüfbedingungen (Umgebungsbedingungen):
 - 1) Temperatur;
 - 2) relative Luftfeuchte;
- d) Angaben zur vorgenommenen Prüfung und Auswertung:
 - 1) angewendetes Prüfverfahren;
 - 2) verwendetes optisches System;
 - 3) Strahlungsquelle;

- i) Art der Strahlungsquelle;
- ii) Wellenlänge;
- iii) Halbwertsbreite des Spektrums der optischen Strahlung;
- iv) Polarisationszustand;
- v) Bestrahlungswinkel;
- vi) Lichtpunktgröße;
- 4) Empfänger (Detektor);
- 5) Apertur;
- e) Prüfergebnisse:
 - 1) Differenz zwischen Maximum und Minimum (peak-to-valley-Wert) der Wellenfrontaberration Φ_{p-v} ;
 - 2) quadratischer Mittelwert der Wellenfrontaberration Φ_{rms} ;
 - 3) Zernike-Polynome oder andere Polynomkoeffizienten.

Anhang A (normativ)

Prüfverfahren für Mikrolinsen — Messanforderungen

Die Prüfung für Wellenfrontaberrationen von Mikrolinsen muss im Durchlicht und in einer Anordnung mit einfachem Lichtdurchgang vorgenommen werden, sei es ein Interferometer vom Mach-Zehnder-Typ, ein Lateral-Shearing-Interferometer oder ein Shack-Hartmann-Wellenfrontdetektor. Eine Prüfeinrichtung mit einfachem Lichtdurchgang ist erforderlich, um eine scharfe Abbildung der Linsenapertur auf den Empfänger oder die Sensoranordnung zu erzielen und um starke Beeinträchtigungen durch störende Reflexionen bei einer Anordnung mit zweifachem Lichtdurchgang zu vermeiden, wie in einem Fizeau- oder einem Twyman-Green-Interferometer. In einer Geometrie mit zweifachem Lichtdurchgang liefert die untersuchte Linse zwei Bilder der Linsenapertur, von denen eines unscharf ist und Beugungseffekte wie Ringbildung im Randbereich der untersuchten Linse verursacht. Derartige Effekte können durch Anwenden einer Anordnung mit einfachem Lichtdurchgang vermieden werden, da alle Reflexionen von Linsenoberflächen im optischen Hilfssystem in Vorwärtsrichtung aufgrund der zweifachen Reflexion an entspiegelten Oberflächen vernachlässigbar sind. Außerdem bestehen aufgrund der scharfen Abbildung der Linsenapertur keine Mehrdeutigkeiten hinsichtlich der Definition der Wellenfrontaberrationen.

Die Prüfeinrichtung selbst darf keine Aberrationen einbringen. In einer Mach-Zehnder-Geometrie, bei der der Prüfling in einen Interferometerzweig gesetzt wird und der Bezugszweig eine ebene Wellenfront liefert, werden die strahlteilenden oder strahlenvereinigenden optischen Elemente nur von ebenen Wellen durchlaufen. Kugelwellen würden bei unsymmetrischen Strahlteilern eine sphärische Aberration oder andere Aberrationen erzeugen. Ähnliche Anforderungen gelten auch für einen Shack-Hartmann-Sensor, obwohl in diesem Fall keine Strahlteiler verwendet werden.

Im Fall von Lateral-Shearing-Interferometern ist es notwendig, die Gestaltung der Shearvorrichtung symmetrisch und so einfach wie möglich zu halten (siehe zum Beispiel das auf zwei in Reihe angeordneten Phasengittern beruhende Shearing-Interferometer [z. B. für Array-Prüfungen]), um zusätzliche Messfehler zu vermeiden.

Da sich die Durchmesser der Mikrolinsen über einen Bereich zwischen einigen Mikrometern und einigen Millimetern erstrecken, ist es notwendig, für Mittel zum Ändern der Vergrößerung um mindestens zwei Größenordnungen zu sorgen, um die Apertur des Array-Photoempfängers, üblicherweise eine CCD- oder CMOS-Matrix, auszufüllen, damit eine ausreichende laterale Auflösung erhalten wird, so dass auch stark deformierte Wellenfronten ohne Verletzung des Abtast-Theorems geprüft werden können. Aufgrund des großen Vergrößerungsbereichs in Kombination mit den im Interferometer geforderten ebenen Wellen muss ein Mikroskopobjektiv in den Prüfzweig eingebaut werden, da hohe Vergrößerungsverhältnisse üblicherweise nur mit kurzen Arbeits- bzw. Objektabständen eines Mikroskopobjektivs erhalten werden können. Wenn das Abbildungsobjektiv außerhalb der Interferometerstruktur angewendet werden muss, sind spezielle Objektivausführungen notwendig, um hohe Vergrößerungsverhältnisse in Kombination mit großen Arbeitsabständen zu ermöglichen. Zwei alternative Lösungen werden genauer behandelt, um Mach-Zehnder-Interferometer für die Prüfung von Wellenfrontaberrationen vorzustellen. Das abbildende Mikroskop wird vorzugsweise ein Teleskop sein, um im Testarm ebene Wellen am Strahlvereiniger sicherzustellen.

Die Änderung der Vergrößerung erfordert spezielle Maßnahmen zum Anpassen des Strahlteilungsverhältnisses zwischen den beiden Zweigen des Interferometers, um einen ausreichenden Kontrast der Interferenzringe zu erhalten. Eine gute Wahl, um dieses Ziel zu erreichen, ist eine polarisierende Teilungseinheit, die aus einem Polarisationsstrahlteiler in Kombination mit zwei $\lambda/4$ -Platten (QWP, en: quarter wave plate) besteht, von denen sich in jedem Arm des Interferometers eine befindet, und einer $\lambda/2$ -Platte (HWP, en: half wave plate) vor der Teilungseinheit zum Drehen des Polarisationsvektors.

Es ist auch erforderlich, Hilfsmittel zum Variieren der mittleren Intensität unabhängig vom Teilungsverhältnis vorzusehen, damit vermieden werden kann, dass der Photoempfänger in den Sättigungszustand gebracht wird und dann falsche Messergebnisse aufgrund nichtlinearer Signalverzerrung erzeugen würde.

Die Messung der Wellenfrontaberrationen erfordert die Bestrahlung der Prüflinse von der Rückseite mit einer sphärischen Wellenfront, die durch ein hochqualitatives Mikroskopobjektiv mit einer größeren numerischen Apertur als die untersuchte Linse erzeugt wird. Dieses Objektiv muss eine Strehl-Definitionshelligkeit von über 90 % ($\lambda/20$) aufweisen, um die Prüfphilosophie zu vereinfachen und die Notwendigkeit von Kalibrierungen in den meisten Prüfsituationen zu verringern.

Für die Charakterisierung von Linsen mit kleiner numerischer Apertur wird es jedoch ratsam sein, auch eine Bestrahlung der Probe mit ebenen Wellen zu ermöglichen. Die Bestrahlung mit ebenen Wellen erlaubt die Messung der Brennweite der Linse. Die Bestrahlung mit ebenen Wellen kann für die Bestimmung der Brennweite von Linsen mit großer numerischer Apertur im zentralen aufgelösten Interferenzstreifenbildfeld angewendet werden. Für diesen Zweck muss die Software eine Maske zur Auswahl der Daten zentraler Bereiche bekannter Dimension bereitstellen. Es ist möglich, die effektive Schnittweite über die Abberation ϕ innerhalb des ausgewählten, interessierenden Bereichs zu bestimmen:

$$\frac{1}{f} = \frac{\phi \lambda}{\pi \rho_{\text{mask}}^2}$$

Eine einfache Kalibrierung des Skalierungsfaktors mit Hilfe eines handelsüblichen Mikrometers liefert den Bezugsdurchmesser $2 \rho_{\text{mask}}$ in μm .

In Anhang B und Anhang C sind zwei alternative Verfahren für interferometrische Messtechniken angegeben, die die **wesentlichen Teile oder sämtliche** oben stehend angeführten Messanforderungen erfüllen.

Anhang B (normativ)

Prüfverfahren 1 und 2 für Mikrolinsen Mach-Zehnder-Interferometersystem

B.1 Messanordnung und Prüfgeräte

Die Verfahren 1 und 2 beschreiben Mach-Zehnder-Interferometersysteme, die im Wesentlichen ebene Wellen nutzen und nur zum Messen und zum Abbilden der Wellenfrontaberrationen der Mikrolinse auf das Empfänger-Array mittels eines speziell entworfenen sich außerhalb der Interferometerstruktur befindlichen Mikroobjektivs mit sehr großem Arbeitsabstand von ebenen Wellen abweichen.

B.2 Messung

B.2.1 Verfahren 1

Die einzelnen Komponenten werden koaxial ausgerichtet. Hierzu gehören die Strahlungsquelle, der Strahlaufläufer, die Aperturblende, das Beleuchtungsmikroskopobjektiv, eine Referenzlinse oder eine zu prüfende Mikrolinse, die Spiegel 1 bis 4, eine Abbildungslinse und ein Bildempfänger. Die Referenzlinse und die Mikrolinse müssen so justiert sein, dass ein Minimum an Aberrationen generiert wird [15] [16] [17].

Bild B.1 zeigt ein auf einer Mach-Zehnder-Geometrie beruhendes Phasenverschiebungsinterferometer (*Phase Shifting Interferometer*) mit den Spiegeln 1 und 2 und einem Strahlteiler und Strahlvereiniger. Ein von einer Laserquelle ausgehendes paralleles Bündel wird durch einen Strahlaufläufer ausgeweitet und mittels einer vor dem Interferometer befindlichen Aperturblende begrenzt. Das Bündel wird mit Hilfe eines Strahlteilers in zwei (Teil-)Bündel aufgeteilt. Das Bündel des Prüfzweigs des Interferometers trifft auf ein strahlformendes Objektiv, das eine sphärische Wellenfront für die Bestrahlung der zu prüfenden Mikrolinse oder einer von Aberrationen freien, jedoch gleich großen Vergleichslinse liefert. Die Mikrolinse oder Vergleichslinse wird konfokal angeordnet und erzeugt eine nahezu ebene Wellenfront in der Austrittspupille der untersuchten Linse. Diese Wellenfront wird mit der ebenen Bezugswelle überlagert, wodurch eine Interferenzfigur erhalten wird. Ein Abbildungsobjektiv am Ausgang des Interferometers bildet die Linsenapertur scharf auf den Photoempfänger ab. Ein geeigneter Abbildungsmaßstab gestattet die Ausleuchtung eines großen Teils der photoempfindlichen Fläche des Empfänger-Arrays, wodurch eine ausreichende Datenmenge für die Charakterisierung der Linsenaberrationen zur Verfügung steht. Die physische Aperturblende vor dem Interferometer muss auf der optische Achse positioniert werden. Ihr Abstand zum Beleuchtungsobjektiv des Prüfzweigs muss so eingestellt werden, dass ihr scharfes Bild mit der untersuchten Linsenapertur zusammenfällt.

Die Bewertung der Wellenfrontaberrationen erfolgt durch Einlesen mehrerer phasenverschobener Interferenzfiguren in den Arbeitsspeicher des Rechners und eine spätere numerische Auswertung.

In einem ersten Schritt werden die Wellenfrontaberrationen eines Referenzobjektivs zusammen mit den vom Interferometer hervorgerufenen Aberrationen gemessen und als Φ_0 bezeichnet.

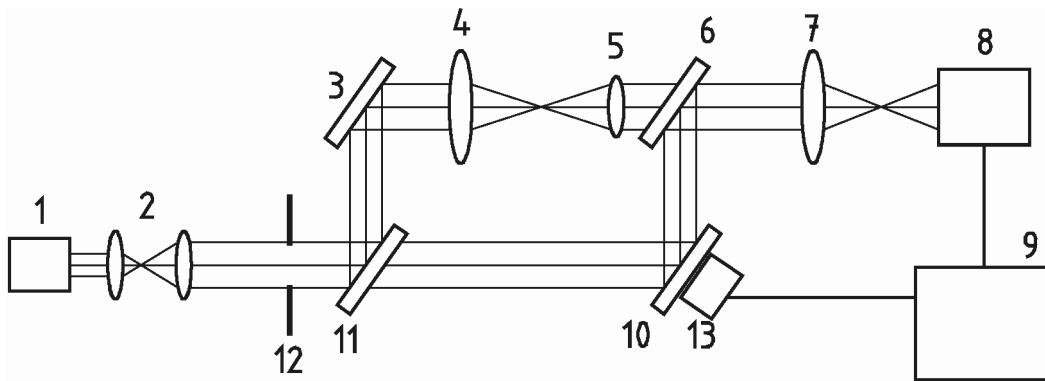
Als Zweites wird die zu prüfende Mikrolinse in das Interferometer gesetzt. Die Wellenfrontaberrationen der untersuchten Mikrolinse werden mit Φ bezeichnet. Diese Aberrationen ergeben sich aus der Differenz der Daten Φ_1 minus den Wellenfrontaberrationen Φ_0 , die im Fall der Messung mit dem Referenzobjektiv gemessen wurden.

$$\Phi = \Phi_1 - \Phi_0$$

Es ist wichtig, ein Beleuchtungsmikroskopobjektiv mit einer größeren effektiven NA als die der untersuchten Mikrolinse zu verwenden.

ANMERKUNG 1 In den Konfigurationen in Bild B.1 ist es möglich, eine Apertur in oder in der Nähe der Lage der Pupille des zweiten Referenzobjektivs bzw. der untersuchten Mikrolinse vorzusehen.

ANMERKUNG 2 Die Apertur legt den Durchmesser der Prüffläche des zweiten Referenzobjektivs oder der untersuchten Mikrolinse fest. Eine Festlegung der Prüffläche des zweiten Referenzobjektivs und der untersuchten Mikrolinse durch Anbringen der Apertur in der Position des Bildempfängers oder durch Erzeugen der Apertur mittels Software ist ebenfalls möglich.



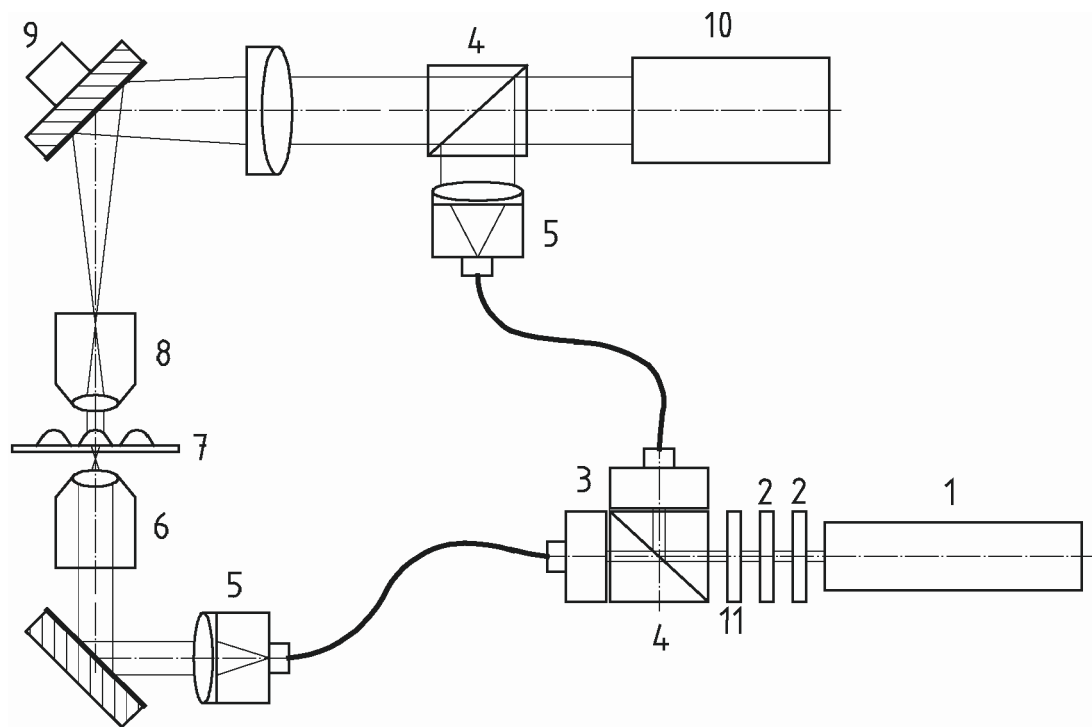
Legende

- | | |
|--|---|
| 1 (Laser-) Lichtquelle | 8 Bildempfängerarray (CCD, CMOS) |
| 2 Strahlaufweiter | 9 Bildverarbeitungseinrichtung |
| 3 Spiegel 1 | 10 Spiegel 2 |
| 4 1. Referenzlinse | 11 Strahlteiler |
| 5 2. Referenzlinse oder zu prüfende Mikrolinse | 12 Aperturblende |
| 6 Strahlvereiner | 13 Piezoelektrische Verstelleinheit (PZT) |
| 7 Abbildungslinse | |

Bild B.1 — Phasenverschiebungsinterferometer (Phase Shifting Interferometer) auf Grundlage eines Mach-Zehnder-Interferometers

B.2.2 Verfahren 2

Verfahren 2 beschreibt eine alternative und flexiblere Lösung für ein Interferometer, die auf einer stark modifizierten Mach-Zehnder-Geometrie beruht und bei der in beiden Zweigen des Interferometers flexible Einmodenfasern verwendet werden [18].



Legende

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1 (Laser-)Lichtquelle | 7 Zu untersuchende Mikrolinse |
| 2 Polarisator | 8 Abbildungslinse 5×, 10×, 20×, 50× |
| 3 Faserkoppler | 9 Spiegel, montiert auf einer Piezo-Verstelleinheit |
| 4 Strahlteiler | 10 Bildempfängerarray (CCD, CMOS) |
| 5 Strahlaufweiter | 11 $\lambda/2$ -Platte (HWP) |
| 6 Beleuchtungsmikroskopobjektiv 20× | |

Bild B.2 — Mach-Zehnder-Interferometer, beruhend auf einer Polarisationsstrahlteiler-Einheit in Kombination mit polarisationserhaltenden Einmodenfasern zur flexiblen Strahlführung und einem in den Prüfzweig des Interferometers eingebauten abbildenden Mikroskop

Für die Bestrahlung des Interferometers wird üblicherweise ein He-Ne-Laser oder LD verwendet (siehe Bild B.2). Die auf Polarisation beruhende Strahlteilereinheit erlaubt die unabhängige Einstellung der mittleren Intensität durch Drehen eines Polarisationsfilters und des Teilungsverhältnisses zwischen dem Objekt- und dem Bezugsstrahl durch Drehen einer HWP vor einem polarisationsabhängigen Strahlteilerwürfel. Die polarisierten Bündel werden in Einmodenfasern eingekoppelt und jeder Ausgang zu einer ebenen Welle aufgeweitet. Die Bezugswelle wird mit Hilfe eines polarisationsunabhängigen Strahlteilers mit der Objektwelle vereinigt. Die Polarisation des Bezugsbündels wird mit der des Objektbündels durch entsprechendes Verdrehen des Faserendes abgeglichen. Für die Bestrahlung der zu prüfenden Linse bestehen zwei Alternativen:

- f) Bestrahlung mit sphärischen Wellen für die Bestimmung der Wellenaberrationen;
- g) Bestrahlung mit ebenen Wellen, durch Entfernen des Mikroskopobjektivs vor der zu prüfenden Linse.

Im ersten Fall wird ein hochqualitatives Mikroskopobjektiv mit einem ausreichenden Arbeitsabstand zum Umformen der eintreffenden ebenen Welle in eine ideale Kugelwelle verwendet, wodurch die Messung der Wellenfrontaberrationen für ∞/f konjugierte Punkte ermöglicht wird. Die zweite Art der Bestrahlung wird für Messungen von schwachen Linsen und im Allgemeinen für Phasenobjekte verwendet, die die gesamte durch die untersuchte Probe erzeugte Phasenverzögerung liefern. Auch in der Bestrahlungskonfiguration mit ebener Welle besteht die Möglichkeit zur Bestimmung der effektiven Brennweite aus der gemessenen Phasenverteilung in einem reduzierten Feld um den Scheitel der untersuchten Linse.