



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 28 145 A1** 2005.01.13

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 28 145.2**

(22) Anmeldetag: **21.06.2003**

(43) Offenlegungstag: **13.01.2005**

(51) Int Cl.7: **G01M 11/02**

(71) Anmelder:
**Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu
Braunschweig, 38106 Braunschweig, DE**

(74) Vertreter:
Einsel und Kollegen, 38102 Braunschweig

(72) Erfinder:
**Petz, Markus, 38102 Braunschweig, DE; Tutsch,
Rainer, 38114 Braunschweig, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 100 14 334 C2

DE 199 44 354 A1

DE 198 00 844 A1

DE 101 54 125 A1

DD 2 34 490 A1

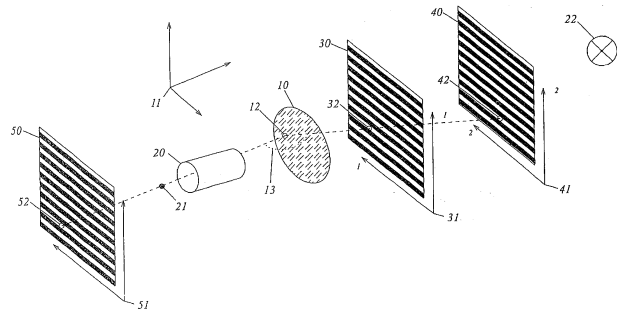
JP 60-0 04 841 A

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Vermessung der Abbildungseigenschaften von transparenten Objekten**

(57) Zusammenfassung: Bei einem Verfahren und einer Vorrichtung zur Bestimmung der Abbildungseigenschaften eines transparenten Objekts (10) wird das durch das Objekt (10) transmittierte Licht eines bekannten Rasters (30) mittels eines abbildenden optischen Systems (20) auf einen Empfänger (50) abgebildet und das entstehende Bild ausgewertet. Erfindungsgemäß werden flächenhafte Raster (30, 40) in mindestens zwei unterschiedlichen Positionen bezüglich des zu vermessenden Objekts (10) eingesetzt. Dabei sind die relative Lage der Raster (30, 40) und des Empfängers (50) im Raum zueinander und die Abbildungseigenschaften des optischen Systems (20) bekannt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung der Abbildungseigenschaften eines transparenten Objektes, bei dem ein bekanntes Raster durch das transparente Objekt hindurch mittels eines abbildenden optischen Systems auf einen Empfänger abgebildet und das entstehende Bild ausgewertet wird.

[0002] Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Verfahren zur Bestimmung der Abbildungseigenschaften von transparenten optischen Komponenten bekannt. Diese lassen sich grob unterteilen in interferometrische Verfahren, geometrisch optische Verfahren sowie taktile Verfahren.

[0003] Die auf dem wellenoptischen Modell basierenden interferometrischen Prüfverfahren ermöglichen den Vergleich der Oberflächengeometrie oder der Abbildungseigenschaften eines transparenten Objekts mit einem Referenzobjekt, dessen Eigenschaften als bekannt vorausgesetzt werden. Hierbei lassen sich sehr hohe Messauflösungen von wenigen Nanometern erzielen. Ein entscheidender Nachteil dieser der interferometrischen Verfahren liegt jedoch darin, dass für jede zu prüfende Geometrie ein Referenzobjekt mit entsprechender Sollgeometrie erforderlich ist. Daher werden interferometrische Prüfverfahren im allgemeinen nur zur Vermessung elementarer Geometrien (Ebenen, Kugelflächen, Zylinder) eingesetzt. Ferner lassen sich nur vergleichsweise geringe Abweichungen von der Sollgeometrie in der Größenordnung von maximal einigen hundert Mikrometern noch quantitativ auswerten.

[0004] Für den an Bedeutung gewinnenden Bereich asphärischer Optiken lassen sich konventionelle interferometrische Messanordnungen im allgemeinen nicht einsetzen. Entsprechende Erweiterungen interferometrischer Messverfahren für den Bereich asphärischer Optiken, wie in Rainer Tutsch: „Formprüfung allgemeiner asphärischer Oberflächen durch Interferometrie mit synthetischen Hologrammen und Mehrwellenlängeninterferometrie“ (Dissertation, Aachen, 1994) erfordern jedoch einen erheblichen Aufwand, so dass sie für eine Prüfung derartiger Optiken nur im Falle extremer Anforderung an die Messgenauigkeit geeignet erscheinen, nicht jedoch für eine flexible Prüfung allgemeiner transparenter Objekte.

[0005] Für Objekte mit geometrischen Unstetigkeiten (Kanten, Absätze) sind interferometrische Verfahren schließlich überhaupt nicht einsetzbar, da eine eindeutige quantitative Messung nur für stetige Oberflächen möglich ist.

[0006] Im Bereich der geometrisch optischen Verfahren sind insbesondere die Moiré-Deflektometrie

sowie die Shack-Hartmann-Sensoren hervorzuheben. Beide Verfahren sind jedoch durch einen deutlich eingeschränkten Messbereich gekennzeichnet, da für starke Strahlableitungen – also starke lokale Steigungen der untersuchten Wellenfront – entweder keine oder aber zumindest keine eindeutige Messung mehr möglich ist.

[0007] Ein geometrisch optisches Messverfahren unter anderem für die Messung transparenter Objekte findet sich in der DE 199 44 354 A1. Bei dem dort beschriebenen Verfahren wird die lokale Winkelableitung der durch ein transparentes Messobjekt hindurchtretenden Strahlen ermittelt, indem eine streifenförmige Referenzstruktur in eine Bildebene abgebildet wird. Jedoch ist aufgrund der verwendeten zweidimensionalen Referenzstruktur eine Zuordnung der gemessenen Winkelableitung zu einem bestimmten Punkt des Messobjekts nur eingeschränkt möglich. Insbesondere im Falle unstetiger Messobjekte ist eine eindeutige Auswertung nicht mehr möglich.

[0008] Taktile Messverfahren, die prinzipiell die Erfassung der Oberflächengeometrie auch von transparenten Objekten, und damit indirekt auch von deren Abbildungseigenschaften, ermöglichen, sind einerseits aufgrund ihrer sequentiellen Arbeitsweise nicht geeignet, größere Objekte in angemessener Zeit mit hinreichender Ortsauflösung zu vermessen, andererseits ist eine taktile Antastung von optischen Oberflächen üblicherweise unerwünscht, da diese empfindlich sind und somit beschädigt werden könnten.

[0009] Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der derzeitige Stand der Technik kein Messverfahren umfasst, welches dazu geeignet erscheint, die Abbildungseigenschaften allgemeiner transparenter Objekte, insbesondere solcher mit asphärischer oder gar unstetiger Geometrie, ohne besondere Vorkenntnisse oder Annahmen über das jeweilige Messobjekt eindeutig zu bestimmen.

[0010] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs erwähnten Art bereitzustellen, bei dem/der ohne spezielle Modellannahmen oder Vorkenntnisse über die Geometrie oder Abbildungseigenschaften des Prüflings eine eindeutige Vermessung der Abbildungseigenschaften transparenter Objekte möglich ist.

[0011] Diese Aufgabe wird bei einem gattungsgemäßen Verfahren dadurch gelöst, dass flächenhafte Raster in mindestens zwei unterschiedlichen Positionen bezüglich des zu vermessenden transparenten Objekts eingesetzt werden, wobei die relative Lage der Raster und der Bildebene im Raum zueinander und die Abbildungseigenschaften des optischen Systems bekannt sind.

[0012] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird nicht das Objekt selbst beobachtet, sondern unter Ausnutzung der Transparenz des Objekts das durch die Abbildungseigenschaften des Objekts beeinflusste Bild mehrerer bekannter Rasterstrukturen.

[0013] Die Beschaffenheit und die relative Lage der Rasterstrukturen im Raum sind ebenso wie die Abbildungseigenschaften des zur Beobachtung verwendeten optischen Systems und natürlich dessen Lage im Raum relativ zu den Rasterstrukturen bekannt, so dass sich aus den beobachteten Bildern der Rasterstrukturen Rückschlüsse auf die Abbildungseigenschaften des zu vermessenden transparenten Objekts gewinnen lassen.

[0014] Mit der Erfindung wird es auf diese Weise möglich, nicht nur eine Qualitätssicherung auch an komplizierten transparenten optischen Komponenten vorzunehmen, also die Einhaltung von Toleranzen bei Abweichungen von einer vorgegebenen Geometrie sicherzustellen, sondern darüber hinaus auch zuvor gänzlich unbekannte optische Komponenten und Systeme näher zu untersuchen. Es wird nicht nur möglich, die Existenz eines bestimmten Schadens oder einer Abweichung festzustellen, sondern darüber hinaus sogar auch bei erheblichen Abweichungen das Ausmaß. Zu denken ist dabei zum Beispiel an Untersuchungen an Brillengläser, an Komponenten für abbildende optische Systeme wie beispielsweise Kameraobjektive bis hin zu asphärischen Optiken und aus zahlreichen Einzelkomponenten bestehenden komplizierten optischen Systemen.

[0015] Soweit die relative Lage der einzelnen Strukturen und der Abbildungseigenschaften des optischen Systems nicht konstruktiv vorgegeben sind, können sie in einer vorherigen Kalibrierung des jeweils verwendeten Aufbaus bestimmt werden.

[0016] In dem Empfänger ist insbesondere eine Bildebene vorgesehen, um die Strukturen der Raster abzubilden. Denkbar wären auch andere Formen als Ebenen, Ebenen sind jedoch sowohl mathematisch als auch praktisch von Vorteil.

[0017] Wenn die Eigenschaften des Messsystems bekannt sind, können unter Ausnutzung des photogrammetrischen Prinzips, also des Prinzips des räumlichen Sehens, von der Bildseite und der Rasterseite aus geometrische Vorwärtsschnitte in den Objektraum vorgenommen werden und auf diese Weise die Abbildungseigenschaften an einer bestimmten Stelle des zu vermessenden Objekts bestimmt werden.

[0018] Auf der Bildseite entsteht dieser Vorwärtsschnitt dadurch, dass durch den beobachteten Bildpunkt und das durch die Abbildungseigenschaften des optischen Systems definierte Projektionszentrum

– beim photogrammetrischen Prinzip wird die Abbildung üblicherweise in Form einer Zentralprojektion beschrieben – eine Gerade gelegt und in den Objektraum verlängert wird.

[0019] Auf der Rasterseite sind zunächst aus der bekannten Lage und Beschaffenheit der Rasterstrukturen, bei linienförmigen Gittern beispielsweise der Gitterkonstante, aus den beobachteten Punkten der Raster die Koordinaten dieser Punkte im Raum abzuleiten. Anschließend kann durch die ermittelten Rasterpunkte ebenso wie zuvor auf der Bildseite eine Gerade gelegt und in den Objektraum verlängert werden.

[0020] Der Schnittpunkt der beiden so konstruierten Geraden kennzeichnet einen Punkt des Objekts und der Winkel, den die beiden sich schneidenden Geraden einschließen, kennzeichnet die Abbildungseigenschaften des Objekts in diesem Punkt. Wird diese Vorgehensweise für eine Vielzahl von Punkten auf der Bildseite und der Rasterseite angewendet, so können die Abbildungseigenschaften des zu vermessenden Objekts vollständig bestimmt werden.

[0021] Zur Bildaufzeichnung werden bevorzugt Kameras mit elektronischem Bildsensor, sogenannte CCD- oder CMOS-Sensoren, verwendet, welche die Bildinformation in Form einer Bildmatrix für die weitere Verarbeitung zur Verfügung stellen.

[0022] Die Rasterstrukturen bestehen vorzugsweise aus periodischen Linienrastern. Eine vorteilhafte Möglichkeit, bei Verwendung von periodischen Linienrastern die Raumkoordinaten eines beobachteten Rasterpunktes mit hoher Ortsauflösung zu bestimmen, besteht darin, mit periodischen Linienrastern sinusförmigen Intensitätsverlaufs bei gleichzeitiger Verwendung von Phasenschiebverfahren zu arbeiten.

[0023] Im Folgenden wird anhand der Zeichnung eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Vorrichtung beschrieben. Es zeigt:

[0024] Fig. 1 in schematischer Darstellung eine bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

[0025] Es sollen die Abbildungseigenschaften des transparenten Objekts **10** bestimmt werden. Das Objekt ist in der Zeichnung nur schematisch und plattenähnlich dargestellt worden, kann aber auch eine wesentlich kompliziertere Form aufweisen. Die Oberfläche kann dabei auch Unstetigkeiten aufweisen, also beispielsweise Löcher Kanten oder Sprünge. Die Lage eines bestimmten Punktes des dreidimensionalen Objekts kann mittels eines (frei wählbaren) Objektkoordinatensystems **11** angegeben werden. Ein

Objektpunkt **12** ist in der **Fig. 1** bereits angedeutet, auf den später noch Bezug genommen wird.

[0026] Zur Bestimmung der Abbildungseigenschaften des Objekts **10** wird ein optisches System **20** verwendet, das unter anderem eine Lichtquelle **22** aufweist, die Licht durch zwei noch zu beschreibende Raster **30**, **40** in Richtung auf das transparente Objekt **10** abstrahlt. Das transmittierte Licht läuft dann durch ein optisches System **20**, das ebenfalls rein schematisch als Objektiv dargestellt ist, sowie durch dessen Projektionszentrum **21** zu einer Bildebene **50**.

[0027] Zusammengefasst werden die durch Brechung an dem transparenten Objekt **1** entstehenden Bilder der beiden flächenhaften Raster **30** und **40** in der Bildebene **50** abgebildet.

[0028] Das der Bildaufzeichnung dienende optische System **20** bildet eine Kamera mit optoelektronischem Bildsensor, welcher dann die Bildebene **50** darstellt.

[0029] Die beiden flächenhaften Raster **30** und **40** befinden sich in unterschiedlichen Positionen bezüglich des transparenten Objekts **10**. Auch ihre Darstellung ist schematisch zu verstehen. So ist es in einer nicht dargestellten Ausführungsform durchaus möglich, für das Raster **30** und das Raster **40** jeweils ein und das selbe Raster nacheinander zu verwenden. Es ist aber ebenso möglich, zwei Raster gleichzeitig oder auch zeitlich nacheinander einzusetzen.

[0030] Die in der Figur wiedergegebene streifenförmige Ausbildung der Raster **30** und **40** kann zwar, muss aber nicht aus einer Ausbildung dieser Raster entstehen, sie kann auch durch eine entsprechende Projektion derartiger Muster durch die Lichtquelle **22** erzeugt werden.

[0031] Auch die Rasterinformationen aus den Rastern **30** und **40** können jeweils in Rasterkoordinatensystemen **31** beziehungsweise **41** als Koordinaten abgeleitet werden. Dadurch kann jeweils ein Rasterpunkt **32** beziehungsweise **42** zugeordnet werden.

[0032] Die Abbildungseigenschaften des abbildenden optischen Systems **20** mit der Bildebene **50** und des damit entstehenden Kamerasystems können durch eine photogrammetrische Kalibrierung bestimmt werden. Diese kann auf einem Bündelblockausgleich basieren. Dabei wird die optische Abbildung des Systems als Zentralprojektion durch einen Punkt **21** modelliert. Als Ergebnis der photogrammetrischen Kalibrierung erhält man Nebeninformationen über die optischen Verzeichnungen des Gesamtsystems, die Raumkoordinaten des Projektionszentrums **21** bezogen auf das Bildkoordinatensystem **51** und das frei wählbare Objektkoordinatensystem **11**.

[0033] Die Rasterseite demgegenüber besteht aus zwei ebenen Flächen, auf welche von der Lichtquelle **22** periodische Linienraster projiziert werden, wodurch die zwei Rasterebenen **30** und **40** entstehen. Um in den Rasterebenen **30** und **40** Informationen für die beiden Koordinatenrichtungen X und Y zu erhalten, bezogen auf die lokalen Rasterkoordinatensysteme **31** und **41**, werden in zeitlicher Abfolge horizontale und vertikale Linienraster projiziert. Die **Fig. 1** zeigt zur klareren Erkennbarkeit nur jeweils eines dieser Linienraster.

[0034] Um nun aus den in den Rasterebenen **30** und **40** beobachteten Rasterinformationen die Koordinaten innerhalb der Rasterkoordinatensystem **31** und **41** ableiten zu können, werden periodische Linienraster mit sinusförmigem Intensitätsverlauf projiziert und ein Phasenschiebeverfahren auf diese angewendet. Die Mehrdeutigkeiten der aus dem Phasenschiebeverfahren resultierenden Informationen wird durch die zusätzliche Projektion von graycodierten Streifenmustern eliminiert.

[0035] Bei einer derartigen bevorzugten Kombination ermöglicht dieses Verfahren, für jeden beobachteten Rasterpunkt innerhalb der Rasterebenen **30** und **40** eine auf die Koordinatensysteme **31** und **41** bezogene Ortskoordinate zu berechnen.

[0036] Die relative Lage der Rasterkoordinatensysteme **31** und **41** sowie des Bildkoordinatensystems **51** lässt sich bei bekannten Eigenschaften des Abbildungssystems **20** durch direkte Vermessung der Rasterstruktur ermitteln. Somit ist die relative Lage der Rasterkoordinatensysteme **31** und **41** sowie des Bildkoordinatensystems **51** und des Objektkoordinatensystems **11** bekannt.

[0037] Dies führt dazu, dass das transparente Objekt **10**, die Raster **30** und **40** sowie die Bildebene **50** so angeordnet sind, dass der Sensor in der Bildebene **50** ein durch das transparente Objekt **10** beeinflusstes Bild der Raster **30** und **40** aufnehmen kann, wobei die Struktur der Raster **30** und **40** in zwei unterschiedlichen Positionen bezüglich des transparenten Objekts **10** gebracht werden kann. In allen diesen Positionen erfolgt eine Abbildung der Rasterstrukturen **30** und **40** auf die Bildebene **50**, ohne das abbildende optische System **20** oder die Bildebene **50** mit entsprechendem Sensor oder dergleichen zu verändern.

[0038] Bei einem derartig vollständig beschriebenen Messsystem kann die flächenhafte Bestimmung der Abbildungseigenschaften eines unbekanntes transparenten Objekts **10** punktweise erfolgen, was anhand des ausgewählten Objektpunktes **12** hier beschrieben wird.

[0039] Zunächst wird die Abbildung des Objekt-

punktes **12** in der Bildebene **50** aufgesucht, das ist die bekannte Koordinate des Bildpunktes **52**. Mittels dieser bekannten Koordinate und der ebenfalls bekannten Koordinate des Projektionszentrums **21** kann von der Bildseite aus eine Gerade durch den Bildpunkt **52** und das Projektionszentrum **21** gelegt und in den Objektraum verlängert werden.

[0040] Aus den im Bildpunkt **52** beobachteten, vom Objekt **10** transmittierten Rasterpunkten **32** und **42** können mittels des oben erwähnten Phasenschiebeprozesses die Koordinaten der Rasterpunkte **32** und **42** berechnet werden. Somit kann auch eine Gerade durch diese Rasterpunkte **32** und **42** gelegt und von der Rasterseite aus in den Objektraum verlängert werden.

[0041] Der Schnittpunkt der beiden Geraden von der Bildseite und der Rasterseite aus markiert die Position eines Punktes im Objektraum. Im Falle eines dünnen transparenten Objekts **10** liegt dieser Punkt auf der Hauptebene des transparenten Objekts **10**. Der Ablenkwinkel **13**, den die sich im Objektpunkt **12** schneidenden Geraden von Bildseite und Rasterseite einschließen, kennzeichnet die Abbildungseigenschaften des transparenten Objekts in diesem Punkt.

[0042] Bei der praktischen Auswertung der Messdaten ist zu beachten, dass sich die beiden Geraden in der Praxis aufgrund geringfügiger Messungenauigkeiten, Rundungs- und sonstiger Fehler nicht tatsächlich schneiden werden. Statt des zuvor beschriebenen Vorwärtsschnittes wird daher der Rückwärtsschnitt angewendet. Hierbei wird zunächst für den Objektpunkt **12** eine geschätzte Koordinate angenommen und von diesem angenommenen Punkt einerseits eine Gerade durch das Projektionszentrum **21** in die Bildebene **50** verlängert und andererseits durch jeweils einen der Rasterpunkte **32** beziehungsweise **42** eine Gerade gelegt und mit der jeweils anderen Rasterebene **30** oder **40** zum Schnitt gebracht. Die Differenzen zwischen den so berechneten Schnittpunkten in der Bildebene **50** sowie in den Rasterebenen **30** und **40** und den tatsächlich beobachteten Koordinaten des Bildpunktes **52** und der Rasterpunkte **32** und **42** werden ausgewertet. Damit werden die angenommenen Koordinaten des Objektpunktes **12** korrigiert und auf diese Weise iterativ eine Koordinate für den Objektpunkt **12** berechnet, die bestmöglich mit den beobachteten Daten übereinstimmt.

[0043] Wird das beschriebene Verfahren nacheinander für alle beobachteten Punkte des Objekts **10** angewendet, können dadurch die Abbildungseigenschaften des transparenten Objekts **10** vollständig bestimmt werden.

[0044] Es ist möglich, das erfindungsgemäße Verfahren auch mit mehr als 2 Rastern **30**, **40** in noch weiteren unterschiedlichen Positionen bezüglich des

zu vermessenden transparenten Objekts **10** durchzuführen. Mit der Zahl der Raster **30**, **40** steigt auch die Anzahl der für die Berechnung zur Verfügung stehenden Daten, was für die Präzision der Vermessung von Vorteil ist, andererseits aber die Verarbeitungszeit der Messwerte entsprechend erhöht. Hier wird der Fachmann eine entsprechend optimale Anzahl abhängig von den zur Verfügung stehenden Datenverarbeitungsanlagen und dem zu lösenden Problem wählen.

[0045] Bei einem Verfahren und einer Vorrichtung zur Bestimmung der Abbildungseigenschaften eines transparenten Objekts (**10**) wird das durch das Objekt (**10**) transmittierte Licht eines bekannten Rasters (**30**) mittels eines abbildenden optischen Systems (**20**) auf einen Empfänger (**50**) abgebildet und das entstehende Bild ausgewertet. Erfindungsgemäß werden flächenhafte Raster (**30**, **40**) in mindestens zwei unterschiedlichen Positionen bezüglich des zu vermessenden Objekts (**10**) eingesetzt. Dabei sind die relative Lage der Raster (**30**, **40**) und des Empfängers (**50**) im Raum zueinander und die Abbildungseigenschaften des optischen Systems (**20**) bekannt.

Bezugszeichenliste

10	Objekt
11	Objektkoordinatensystem
12	Objektpunkt
13	Ablenkwinkel
20	optisches System
21	Projektionszentrum des optischen Systems
22	Lichtquelle
30	Raster
31	Rasterkoordinatensystem
32	Rasterpunkt
40	Raster
41	Rasterkoordinatensystem
42	Rasterpunkt
50	Bildebene
51	Bildkoordinatensystem
52	Bildpunkt

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Abbildungseigenschaften transparenter Objekte, bei dem das zu vermessende Objekt (**10**) in ein Abbildungssystem (**20**) eingefügt wird, und mittels des so entstandenen modifizierten Abbildungssystem eine bekannte Rasterstruktur (**30**) auf einen Empfänger (**50**) abgebildet und das entstehende Bild ausgewertet wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass flächenhafte Raster (**30**, **40**) in mindestens zwei unterschiedlichen Positionen bezüglich des zu vermessenden Objekts (**10**) eingesetzt werden, wobei die relative Lage der Raster (**30**, **40**) und des Empfängers (**50**) im Raum zueinander und die Abbildungseigenschaften des optischen Systems (**20**) bekannt sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Empfänger (50) eine Bildebene aufweist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zur Aufnahme der Abbildungen ein optoelektronischer Bildaufnehmer verwendet wird.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Auswertung ein Bündeltriangulationsverfahren angewandt wird.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Strukturen der Raster (30, 40) periodische Linienraster in jeweils zwei nichtparallelen Orientierungen verwendet werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Rasterpunkt (32, 42) in der Fläche der Raster (30, 40) durch die lokale Phase der beiden nichtparallelen periodischen Linienraster beschrieben wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bestimmung der lokalen Phasen der nichtparallelen periodischen Linienraster in den mindestens zwei Flächen der Raster (30, 40) ein Phasenschiebeverfahren angewandt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Mehrdeutigkeiten des Phasenschiebeverfahrens durch Anwendung einer Gray-Kodierung aufgehoben werden.

9. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Mehrdeutigkeiten des Phasenschiebeverfahrens durch Anwendung eines räumlichen Heterodyn-Verfahrens aufgehoben werden.

10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens zwei in unterschiedlichem Abstand zum transparenten Objekt (10) befindlichen Strukturen der Raster (30, 40) dadurch realisiert werden, und dass das Objekt (10) und die Bilderfassungseinheit (20, 50) relativ zu einer feststehenden Rasterstruktur verschoben werden.

11. Vorrichtung zur Bestimmung der Abbildungseigenschaften transparenter Objekte, bei dem das zu vermessende Objekt (10) in ein Abbildungssystem (20) eingefügt wird, und mittels des so entstandenen modifizierten Abbildungssystem eine bekannte Rasterstruktur (30) auf einen Empfänger (50) abgebildet und das entstehende Bild ausgewertet wird, dadurch gekennzeichnet, dass flächenhafte Raster (30, 40) in mindestens zwei unterschiedlichen Positionen be-

züglich des zu vermessenden Objekts (10) eingesetzt werden, wobei die relative Lage der Raster (30, 40) und des Empfängers (50) im Raum zueinander und die Abbildungseigenschaften des optischen Systems (20) bekannt sind.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Struktur der Raster (30, 40) ein periodisches Linienraster ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Linienraster aus dunklen Linien auf hellem diffus reflektierendem Grund besteht.

14. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Linienraster aus opaken Linien auf transparentem Grund besteht.

15. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Linienraster von einem selbst leuchtenden Display erzeugt wird.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

