



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 196 43 018 B4** 2010.06.17

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **196 43 018.6**  
(22) Anmeldetag: **18.10.1996**  
(43) Offenlegungstag: **30.04.1998**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **17.06.2010**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01B 11/25** (2006.01)  
**G01B 11/24** (2006.01)  
**G01B 11/06** (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**ISRA SURFACE VISION GMBH, 45699 Herten, DE**

(74) Vertreter:  
**Keil & Schaafhausen Patentanwälte, 60322 Frankfurt**

(72) Erfinder:  
**Pingel, Ulrich, Dipl.-Ing., 45770 Marl, DE; Dümmler, Matthias, Dr., 45657 Recklinghausen, DE; Klaphecke, Johannes, Dipl.-Phys., 45897 Gelsenkirchen, DE**

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

DE	195 25 561	A1
DE	44 01 541	A1
GB	21 95 178	A
US	51 10 200	
DE	42 10 075	A1
DE	38 17 559	C1

**K. Körner, L. Nyársik, H. Fritz: Schnelle Planitätsmessung von großflächigen Objekten, in: MSR-Magazin, 11-12/1995, S. 16-18**

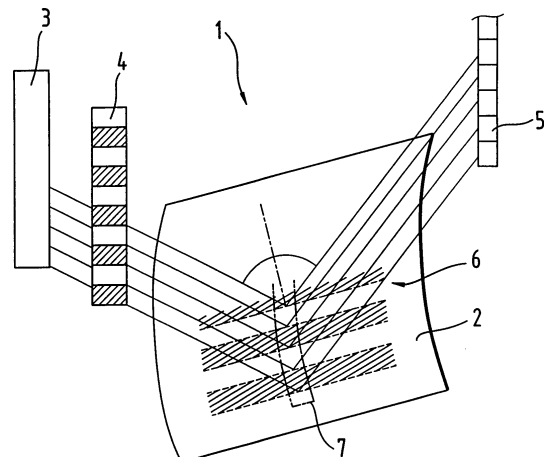
(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Messen des Verlaufs reflektierender Oberflächen**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Messen des Verlaufs einer Oberfläche eines durchsichtigen Gegenstands (2), der Licht an seiner Oberseite und an seiner Unterseite reflektiert, umfassend die Schritte

Projizieren eines definierten Musters aus wenigstens zwei verschiedenen Lichtintensitäten auf den Gegenstand, wobei ein erstes Spiegelbild an der Oberseite und ein zweites Spiegelbild an der Unterseite des Gegenstands (2) erzeugt werden,

Beobachten wenigstens eines Ausschnitts mittels mindestens einer ersten Kamera (5), wobei der beobachtete Ausschnitt einen Ausschnitt des ersten Spiegelbilds und des zweiten Spiegelbilds umfasst, und

Auswerten des beobachteten Ausschnitts ausgehend von den Kameradaten, wobei zur Beschreibung des Verlaufs der Oberfläche die Daten für das erste Spiegelbild getrennt von den Daten für das zweite Spiegelbild analysiert werden, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Kamera (5) das aus dem ersten und dem zweiten Spiegelbild resultierende Intensitätsmuster ( $i_1 + i_2$ ) erfasst und die Trennung der Daten für das erste Spiegelbild und das zweite Spiegelbild dadurch erfolgt,...



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Messen des Verlaufs einer reflektierenden Oberfläche eines Gegenstands nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, umfassend die Schritte Projizieren eines definierten Musters aus wenigstens zwei verschiedenen Lichtintensitäten auf den Gegenstand, Beobachten wenigstens eines Ausschnitts der Oberfläche mittels mindestens einer Kamera, und Auswerten des beobachteten Ausschnitts ausgehend von Kameradaten. Die Erfindung betrifft ferner eine Vorrichtung zum Bestimmen des Verlaufs einer Oberfläche eines Gegenstands nach dem Oberbegriff des Anspruchs 7 mit Mitteln zum Erzeugen eines Lichtmusters, und mit mindestens einer Kamera zur Beobachtung wenigstens eines Ausschnitts der Oberfläche.

**[0002]** Aus der Praxis sind mehrere tastende Verfahren zum Messen des Verlaufs von Oberflächen flacher oder gewölbter Gegenstände bekannt, bei denen beispielsweise pneumatisch ausfahrbare Tastglieder gegen den zu messenden Gegenstand in Anschlag fahren und ein dem Verfahrenweg entsprechendes Signal einer Recheneinheit zuführen, die daraus den örtlichen Abstand ermittelt und, ausgehend von einer Vielzahl derartiger Messungen, eine Aussage über den Verlauf der Oberfläche des Gegenstandes trifft. Der Einsatz derartiger Meßverfahren und der zugehörigen Vorrichtungen ist aufwendig, da mit Rücksicht auf die Empfindlichkeit des zu messenden Gegenstands der Meßtaster nur langsam ausfahren kann, möglicherweise den Gegenstand oder dessen Oberfläche beschädigt (zum Beispiel zerkratzt, eindrückt) und darüber hinaus der Temperaturbereich, in dem derartige Techniken einsetzbar sind, stark eingeschränkt ist. Daher sind solche taktilen Meßverfahren den berührungslosen Meßverfahren meist unterlegen.

**[0003]** Der Artikel von Körner, K. et al. "Schnelle Planitätsmessung von großflächigen Objekten", MSR-Magazin, 11-12/1995, Seite 16-18, beschreibt ein optisches Meßverfahren für die Planitätsmessung von Dünngläsern. Hierbei wird ausgehend von der Lichtquelle ein Liniengitter auf einer Dünnglasplatte scharf abgebildet, wobei die optische Achse einen großen Winkel ( $84^\circ$ ) zur Normalen der Dünnglasplatte einnimmt. Diese Abbildung wird unter einem gleichfalls großen Winkel von einer CCD-Zeilenkamera beobachtet, aus deren Beobachtung durch phasenauswertende Algorithmen eine Information über die Höhe bzw. über die Planität des Dünnglases berechnet wird. Zwischen Liniengitter und Dünnglasplatte ist in der optischen Einfallachse eine erste Abbildungsstufe vorgesehen, und der optischen Ausfallachse zwischen Dünnglasplatte und Zeilenkamera ist eine zweite Abbildungsstufe vorgesehen. Die erste Abbildungsstufe bildet das Linienmusters des Lini-

engitters auf die Vorderseite des Glases scharf ab, während die zweite Abbildungsstufe wiederum eine scharfe Abbildung des Bildes auf die Zeilenkamera bewirkt.

**[0004]** Die bekannte Technik weist mehrere Unzulänglichkeiten auf: Einerseits ist die geometrische Anordnung der Komponenten aufwendig, da die optischen Achsen von den Abbildungsstufen aus sehr flach auf die Dünnglasplatte eintreffen. Das vom Liniengitter ausgehende Licht wird über die erste Abbildungsstufe auf die Glasplatte abgebildet; das Liniengitter selbst ist gegenüber der optischen Achse geneigt, so daß die Abstände der Linien unterschiedlich ausfallen. Bei geringen Änderungen in der Lage der Dünnglasplatte, die gerade gemessen wird und daher nicht als konstant vorausgesetzt werden kann, muß die ganze Einrichtung neu einjustiert werden. Zumindest aber unterliegen die berechneten Werte einer starken Fehlertoleranz. Da kleinste Abweichungen in der zu messenden Planität von einer idealplanen Oberfläche bereits eine starke Verzerrung des Bildes des Liniengitters hervorrufen, ist die Auflösung der Apparatur begrenzt. Weiterhin ist eine derartige Vorrichtung auch ausgesprochen platzraubend, so daß hohe Platzkosten entstehen, wenn eine solche Vorrichtung für die On-Line-Messung verwendet wird. Insbesondere beim Nachrüsten derartiger Vorrichtungen kann es zu Platzproblemen kommen. Schließlich ist noch zu bemerken, daß die Zeilenkamera sehr streulichtempfindlich ist, wodurch eine kostenaufwendige Abschirmung vorgesehen werden muss; dies liegt daran, daß das Bild auf die Kamera scharf abgebildet wird, wobei die Kamera unter einem Winkel zu der Glasoberfläche angeordnet ist, bei dem der Meßpunkt ansonsten außerhalb des Sichtfelds liegt, so daß die Kamera auch durch anderes Licht (und dessen Schwankungen) beeinflussbar ist. Für die Auswertung der Messungen müssen die Abbildungsbedingungen bekannt sein und berücksichtigt werden. Will man mit der bekannten Technik eine dreidimensionale Messung durchführen, ist dies nur derart möglich, daß die Glasplatte relativ zu dem Bildausschnitt, den die Kamera beobachtet, verschoben wird, und mehrere Messungen hintereinander stattfinden. Für die Messung an mehreren Orten der Oberfläche gleichzeitig ist die Technik nicht ausgelegt, da nur in einem Bereich eine scharfe Abbildung des Liniengitters erfolgt. Hierdurch dauern exakte Messungen größenordnungsmäßig eine bis mehrere Minuten. Für die Messung von Oberflächen mit größeren Radien kann das abgebildete Muster nicht mehr ausgewertet werden.

**[0005]** Aus der Druckschrift GB 2 195 178 A ist eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Inspektion eines Glasobjekts bekannt. Physikalische Eigenschaften des Glasobjekts (beispielsweise das Profil, die Dicke, die Zusammensetzung sowie die Anwesenheit oder Abwesenheit von Fehlern) werden dadurch be-

stimmt, daß zunächst ein Lichtstrahl auf das Objekt projiziert wird. Anschließend wird ein äußeres Bild des Strahls detektiert, das von der äußeren Oberfläche des Objekts reflektiert wird. Anschließend wird ein separates inneres Bild aufgenommen, welches als ein Bild des Strahls an der äußeren Oberfläche entsteht, wenn der Strahl an der äußeren Oberfläche gebrochen und nach der Brechung in das Objekt von der nächstliegenden inneren Oberfläche reflektiert wird. Anschließend werden die inneren und äußeren Bilder analysiert, um die verschiedenen physikalischen Eigenschaften des Objekts zu bestimmen.

**[0006]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben und eine Vorrichtung zu schaffen, welche einfacher und präziser beherrschbar sind.

**[0007]** Diese Aufgabe wird durch das in Anspruch 1 angegebene Verfahren und die in Anspruch 7 angegebene Vorrichtung gelöst.

**[0008]** Erfindungsgemäß ist vorgesehen, durchsichtige Spiegelmaterialien zu messen, beispielsweise Bildröhren, Displays, Planglas, Spiegel, gebogenes Glas oder vorgespanntes oder Verbundsicherheitsglas. Solche Materialien haben die Eigenschaft, daß sie einfallendes Licht sowohl an ihrer Oberseite als auch an ihrer Unterseite reflektieren und damit ein Doppelbild abgeben. Das Bild der Oberseite, dessen Intensität i. d. R. etwas stärker ist als das Bild der Unterseite, überlagert sich mit dem Bild der Unterseite. Während im Stand der Technik versucht wird, durch möglichst flach einfallende Winkel das Bild der Unterseite zu eliminieren, sind erfindungsgemäß Mittel vorgesehen, die eine Berücksichtigung des Bildes der Unterseite bei der Auswertung ermöglichen.

**[0009]** Beispielsweise kann dies derart realisiert werden, daß die Abbildung des Bildes auf die Kamera unscharf erfolgt, so daß beide reflektierten Bilder mit ihrer resultierenden Intensität zum Tragen kommen und die Kamera ein Signal erfaßt, das jeweils von beiden Spiegelbildern stammt. Dabei ist zu berücksichtigen, daß in Abhängigkeit von der Dicke des Glases der Weg der Lichtpfade unterschiedlich lang ist und demzufolge ein entsprechender Versatz auftritt, der sich dahingehend äußert, daß zwischen einem hellen Bereich (sich überlagernde Reflexion des transparenten Streifens) und einem dunklen Bereich (sich überlagernde Reflexionen des opaken Bereichs des Rasters) "trübe" Bereiche gegeben sind, bei denen sich die "Reflexion" eines dunklen Bereichs (genauer gesagt erfolgt keine Reflexion von Dunkelheit, sondern der entsprechende dunkle Streifen ist von zwei reflektierten hellen Streifen begrenzt) der einen Seite des Glases mit der Reflexion des hellen Bereichs der anderen Seite des Glases überlagert (und umgekehrt). Der Abstand dieser Bereiche hängt von dem Winkel ab, unter dem sie beobachtet werden;

dieser Winkel ist bekannt und muß bei der Auswertung berücksichtigt werden. Dabei wird bei Reflexion eines hellen Rasterbereichs auf der Oberseite die Intensität des erfaßten Bildes etwas größer sein als im umgekehrten Falle.

**[0010]** Vorzugsweise und alternativ zu dem oben geschilderten Beispiel ist es möglich, zwei hintereinander angeordnete Zeilen- oder Matrixkameras vorzusehen, die vorzugsweise denselben Bildausschnitt beobachten, wobei jeweils eine Kamera auf das von jeweils einer Seite des transparenten Materials reflektierte Spiegelbild (Focus auf Raster) scharf eingestellt ist. Die Einzelauswertung kann dann in Kenntnis der Dicke des Gegenstands vorgenommen werden.

**[0011]** Durch das Vorsehen zweier Kameras, vorzugsweise in verschiedener Höhe und/oder unter verschiedenem Winkel zu der Oberfläche, kann ferner – sowohl bei transparenten als auch bei opaken Oberflächen – diskriminiert werden, ob eine Änderung der Anzahl der beobachteten Hell-Dunkel-Sequenzen in einem Bildausschnitt auf die Krümmung der Oberfläche (Linseneffekt) zurückzuführen ist, oder auf eine Änderung der Höhenlage, in der die reflektierende Oberfläche angeordnet ist (wodurch der Proportionalitätsfaktor zwischen definiertem Muster und Spiegelbild beeinflußt wird).

**[0012]** Eine besonders zweckmäßige Art der Beobachtung desselben Ausschnitts ist möglich, wenn ein halbdurchlässiger Spiegel vorgesehen wird, der die Beobachtung desselben Ausschnitts mit unterschiedlichen Kameras aus verschiedenen Entfernungen ermöglicht. Wird beispielsweise in einem Bildausschnitt eine Erhöhung der Anzahl der hellen und dunklen Streifen beobachtet, so würde das unter der Annahme einer festliegenden Höhenlage der Oberfläche auf eine Krümmung in der Oberfläche nach Art einer Sammellinse deuten. Unter der Annahme einer vollkommen planen Oberfläche, die jedoch in ihrem Abstand zu Muster und Kamera einer Schwankung unterliegt, würde die Erhöhung der Anzahl der in einem Ausschnitt beobachteten Streifen auf eine Zunahme des Abstandes zu Muster bzw. Kamera aufgrund der damit einhergehenden verlängerten Strahlenwege hindeuten. Entsprechendes gilt bei festgestellter Herabsetzung der beobachteten Anzahl. In der Praxis, insbesondere wenn der Gegenstand mit der zu messenden Oberfläche während dessen Bewegung vermessen wird, überlagern sich beide Einflußfaktoren, es ist aber für die Berechnung des Verlaufs besonders vorteilhaft, wenn Fehler aufgrund von Schwankungen in der Höhenlage eliminierbar sind. Hierbei ist zu bemerken, daß die Kameras zur Beobachtung desselben Bildausschnitts aus unterschiedlichem Abstand eine entsprechend unterschiedlichen Apertur aufweisen. Das bedeutet aber, daß bei einer Abweichung der Höhenlage der Oberfläche die Anzahl der von jeder der beiden Kameras beobachteten

Streifen proportional zum Verhältnis Abweichung/Abstand variiert.

**[0013]** Dann kann vorzugsweise die Auswertung des von den beiden Kameras beobachteten Bildausschnitts so erfolgen, daß die Abweichung untereinander in der Anzahl der absolut beobachteten Streifen in einem ersten Schritt zur Ermittlung der tatsächlichen Höhenlage verwendet wird, und die Anzahl der von wenigstens einer der Kameras beobachteten Streifen in einem weiteren Schritt bezogen auf die erwartete Anzahl bei der ermittelten Höhenlage unter Berücksichtigung des entsprechenden Proportionalitätsfaktors zur Ermittlung einer Krümmung herangezogen wird.

**[0014]** Weiterhin kommen Auswertungen in Betracht, bei denen die Intensitäten bei verschiedenen Wellenlängen berücksichtigt werden, insbesondere mittels einer Farbkamera für die Rot-, Blau und Grünintensitäten bzw. bei getönten Glas, das Licht unterschiedlicher Farbe oder Wellenlänge unterschiedlich stark absorbiert.

**[0015]** Es ist außerdem möglich, daß die Kamera das Spiegelbild sowohl direkt beobachtet, als auch, daß die Kamera das Spiegelbild indirekt über eine Spiegelanordnung beobachtet.

**[0016]** Zweckmäßigerweise schließen in dem ersten Fall die optischen Achsen (Ebenen) dann zwischen Muster und Spiegelbild einerseits und zwischen Spiegelbild und Kamera andererseits einen Winkel ein, der kleiner als  $90^\circ$  ist, vorzugsweise (sehr) viel kleiner. Die beiden optischen Achsen sind vorzugsweise so angeordnet, daß sie wie Einfall- und Ausfallwinkel reflektierten Lichts zur Normalen einer planen Oberfläche den gleichen Winkel beiderseits der Normalen einnehmen, in der Summe also den eingeschlossenen Winkel ergeben. Es ist möglich und bevorzugt, wenn dieser eingeschlossene Winkel sehr klein ist. Der Öffnungswinkel zwischen Muster und Kamera ist der Winkel (an der planen Oberfläche) zwischen denjenigen Ebenen, in denen die Zeilenkamera und der beobachtete Spiegelbildausschnitt einerseits bzw. das Lichtmuster und der beobachtete Ausschnitt andererseits angeordnet sind. Bei einer Matrixkamera liegen die entsprechenden Winkel für jede Zeile vorzugsweise dicht beieinander.

**[0017]** In dem zweiten Fall, in dem eine Spiegelanordnung vorgesehen wird, umfaßt letztere vorzugsweise einen Parabolspiegel, der das beobachtete Spiegelbild unabhängig von der Entfernung reflektierende Oberfläche-Parabolspiegel stets scharf in einem Punkt abbildet, in dem dann die Kamera angeordnet wird.

**[0018]** Ein leicht zu realisierendes Muster weist äquidistante, abwechselnd helle und dunkle Licht-

streifen auf; aber auch andere geometrisch definierte alternierende Hell-Dunkel-Sequenzen sind als Muster geeignet, z. B. solche mit Streifen, die mehr als zwei verschiedenen Lichtintensitäten aufweisen, Schachbrettmuster, karierte Muster. Besonders vorteilhaft ist ein Muster, das aus dunklen (hellen) einander unter einem rechten Winkel kreuzenden Streifen besteht, die helle (dunkle) Quadrate einschließen, deren Kantenlänge der Breite der Streifen entspricht.

**[0019]** Das Muster wird unmittelbar in der reflektierenden Oberfläche gespiegelt. Planitätsfehler (also kleine Steigungen) in der gemessenen 2- oder 3-dimensionalen reflektierenden Oberfläche verursachen Verzerrungen in dem Spiegelbild, wobei eine leichte Erhöhung bzw. Absenkung in der Oberfläche ein breiteres bzw. ein schmaleres Spiegelbild induziert, indem das eintreffende Licht etwas stärker gebündelt oder gestreut wird. Mittels der Kamera ist es möglich, für jeden Bildpunkt des Spiegelbilds die Intensitätsänderung (bzw. den Verlauf) im Hell-Dunkel-Spiegelbild genau zu erfassen und somit bereits kleinste Änderungen im Helligkeitsgrad auszuwerten, und beispielsweise über eine Differenzbildung mit einem idealen Spiegelbild Rückschlüsse auf Schwankungen in der zu messenden Oberfläche zu ziehen. Ausgehend von Grenzänderungen in den von der Kamera beobachteten Abmessungen der Hell/Dunkel-Abstände werden die örtlichen Neigungsunterschiede errechnet. Durch den einfachen Aufbau der erfindungsgemäßen Vorrichtung bzw. durch das kompakte und direkte erfindungsgemäße Verfahren läßt sich der Oberflächenverlauf extrem schnell und zuverlässig erfassen. Das Licht tritt von dem Muster ausgehend parallel auf die zu messende Oberfläche. Die Hell-Dunkel-Sequenz des Musters spiegelt sich in der Oberfläche. Bei unterstellter vollkommen planer Oberfläche würde sich demnach – wenn der seitliche Versatz zur Normalen nicht zu groß ist – ein zum Hell-Dunkel-Muster exakt proportionales Spiegelbild ergeben. Da dessen Aufbau (Abstände etc.) bekannt ist, ermöglicht die erfindungsgemäße Anordnung es vorteilhafterweise, die Berechnung der Abweichungen von einem Idealbild nicht im Vergleich zu einem aufgenommenen Bild einer Normaloberfläche durchzuführen, sondern im Verhältnis zu den bekannten Abmessungen des Linienrasters, wodurch die Genauigkeit der Auswertung verbessert ist. Das Maß der Verzerrung eines Streifens des beobachteten Spiegelbilds wird gemessen, und hieraus seine Neigung zu einer planen Fläche ermittelt, wobei die Neigung als Winkel ausdrückbar ist. Für jeden Streifen des Musters läßt sich so im Spiegelbild die Neigung des korrespondierenden Flächenstücks ermitteln; reiht man diese Stücke aneinander (Integration), ausgehend von einem (z. B. durch Anschlag) definierten Punkt auf der Oberfläche, erhält man zusätzlich eine Information über den sukzessive infolge der Neigungen eingetretenen Höhenanstieg, kann also dem Verlauf "folgen".

**[0020]** Ein sehr interessanter Sonderfall der Messung des Verlaufs einer Oberfläche ist die Messung einer planen Oberfläche zur Ermittlung ihrer Planität. In einer Vielzahl von verarbeitenden Betrieben wird diese Information benötigt. Das erfindungsgemäße Verfahren bzw. die erfindungsgemäße Vorrichtung sind auch hierfür geeignet. Grundsätzlich läßt sich dieselbe Auswertung einsetzen; vorzugsweise wird jedoch eine Grenzwertbetrachtung vorgenommen, bei der die Änderung der Neigungswinkel über der Strecke bestimmt wird. Dann kann auch eine schräge Oberfläche auf die Genauigkeit ihrer Flächenbearbeitung untersucht werden, ohne daß die Schräge als solche als unerwünschte Neigung ausgewertet wird. Auch der durchschnittliche Schrägungswinkel ließe sich daraus ableiten. Die vorstehend beschriebene Auswertung kann bezüglich der Untersuchung der Glattheit aller "stetigen" Oberflächen eingesetzt werden, z. B. auch zur Untersuchung der Kugeligkeit einer Kugel. Minima, Maxima und Wendepunkte in den Differentiationen zeigen mit hoher Empfindlichkeit Stellen mit "unglatten" bzw. nicht planen Verläufen an.

**[0021]** Das Muster kann sowohl preiswert durch das Hintereinanderanordnen einer Lichtquelle und eines physischen Rasters realisiert werden, als auch mittels einer Matrix aus einer Vielzahl von LEDs.

**[0022]** Gemäß einer ersten Variante handelt es sich bei dem Lichtmuster, das eingesetzt wird, um eine Struktur von wenigstens zwei regelmäßig alternierend angeordneten unterschiedlichen Lichtintensitäten. Um einen optimalen Kontrast zu erhalten, wird gemäß einer ersten bevorzugten Weiterbildung ein Liniengitter aus äquidistanten Linien, die alternierend opak (Lichtdurchlässigkeit ca. 0%) und transparent (Lichtdurchlässigkeit ca. 100%) sind, so verwendet, daß das von einer Lichtquelle ausgehend durch die transparente Linie parallel auf die reflektierende Oberfläche durchtretende Licht mit dem durch die opake Linie am Durchtritt durch das Lichtmuster gehinderten Licht eine Sequenz von einander abwechselnden hellen und dunklen Linien bzw. Streifen erzeugt, die sich in der Oberfläche spiegeln. Es versteht sich, daß die Lichtdurchlässigkeit auf Licht einer bestimmten Wellenlänge oder eines Wellenlängenbereichs beschränkt sein kann. Es ist aber auch gemäß einer alternativen vorteilhaften Variante möglich, das Lichtmuster derart auszubilden, daß es in Sequenzen mehr als zwei unterschiedliche Lichtdurchlässigkeiten aufweist, beispielsweise 0%–50%–100% oder 1%–10%–100%.

**[0023]** In Abhängigkeit von dem Abstand der Kamera, die vorzugsweise eine Zeilen- oder Matrixkamera ist, zu dem Bild ergibt sich für jeden Bildpunkt (Pixel) in der Kamera ein Meßwert, der entweder durch eine beobachtete dunkle Linie oder eine beobachtete helle Linie des Spiegelbilds oder im Übergangsbereich

zwischen zwei Linien durch einen Grauwert ausgedrückt wird. Vergleicht man diese gemessenen Werte mit den Werten einer idealen Abbildung (und unterstellt man einen parallelen Verlauf des Lichtes, was in erster Näherung ohne Genauigkeitsverlust zulässig ist, wodurch der Vergleich unmittelbar mit der Lichtmuster selbst erfolgen kann), so erhält man ohne weiteres örtlich definierbare Abweichungen von einem maßstabsgetreuen Lichtmuster. Aufgrund dieser Abweichungen werden schon kleinste von einer planen Oberfläche abweichende Neigungen exakt berechenbar, und in einer Auswerteeinheit, beispielsweise mit Hilfe einer Softwareroutine bestimmt. Dabei erfolgt vorteilhafterweise eine Auswertung der relativen Lage der beobachteten Hell/Dunkel-Sequenz, so daß eine eventuelle Schräge in der Anordnung der ansonsten selbst planen Oberfläche die Messung nicht beeinträchtigt.

**[0024]** Gemäß einer zweiten Variante handelt es sich bei dem Lichtmuster um ein Kreuzmuster, das im wesentlichen wie ein Linienmuster aussieht, bei dem beispielsweise die opaken Linien ebenfalls senkrecht zu der ersten Linienrichtung verlaufen. Es entsteht also ein Kreuzmuster, das zu einem Viertel lichtdurchlässig und zu Dreiviertel lichtundurchlässig ist. Alternativ ist es jedoch möglich, in dem Lichtmuster die von lichtundurchlässigen Rechtecken umgebene lichtdurchlässige Fläche derart zu vergrößern, daß das Verhältnis hell/dunkel etwa gleich ist. Auch hier ist es ferner möglich, mehr als zwei Lichtdurchlässigkeiten vorzusehen. Zur Beobachtung des Spiegelbildes wird hierbei eine Flächenkamera eingesetzt, also eine Matrixkamera, die einen rechteckigen, zweidimensionalen Ausschnitt der Oberfläche beobachtet, und damit eine 3D-Messung ermöglicht (die aus den gemessenen Werten errechnete Abweichung in der Planität (Neigung, Welligkeit, Höhe) der Oberfläche entspricht einer ersten Dimension; dieser Wert wird über die Koordinaten in Längs- und Querrichtung gemessen, so daß die Oberfläche als dreidimensionales Bild darstellbar ist; eine Messung mit der Zeilenkamera wäre eine 2D-Messung: Verlauf über Länge, was z. B. bei gewissen Fahrzeugkarosserieblechen sinnvoll ist).

**[0025]** Gemäß einer dritten Variante ist es möglich, das Lichtmuster als Schachbrettstruktur auszubilden, bei der abwechselnd Quadrate opak und lichtdurchlässig ausgebildet sind.

**[0026]** Gemäß einer vierten Variante werden die in den vorhergehenden Varianten erzielten Sequenzen von Lichtintensitäten durch eine Matrix aus LEDs erzeugt, die ähnlich einer Stadionanzeige in einer Sportarena ausgebildet sein kann.

**[0027]** Den vorstehend beschriebenen Verfahren ist gemein, daß sie das beobachtete Spiegelbild gegen die bekannte Abmessung des Rasters vergleichen,

und aus beobachteten Abweichungen auf den Winkel schließen, um den die Oberfläche beispielsweise gegenüber einer planen Fläche geneigt ist.

**[0028]** Eine hochpräzise Messung der Planität bzw. der Glattheit und der Welligkeit der Oberfläche einer reflektierenden Oberfläche, deren Genauigkeit und Auflösung noch einmal einen Faktor 10 bis 50 verbessert ist, läßt sich durch eine vorteilhafte Ausführung erreichen: Das Spiegelbild des Rasters wird ebenfalls durch eine Zeilen- oder Matrixkamera beobachtet, allerdings derart, daß jeweils für jede Dimension eine Hell-Dunkel-Sequenz des Musters, vorzugsweise ein äquidistantes Hell-Dunkel-Paar, das z. B. durch ein opakes und transparentes Lichtraster wie das oben erwähnte Kreuzraster erzeugt wird, auf eine Anzahl von Pixeln der Kamera abgebildet wird, die ein ganzzahliges Vielfaches der Sequenz beträgt. Hierdurch entstehen an dem "Gitter" der Kamera Moiré-Schwebungen, die mit Hilfe von phasenauswertenden Verfahren extrem genaue Aussagen über Abweichungen in der Planität erlauben. Bei der Auswertung wird das erfaßte Moiré-Bild in eine für das Moiré-Bild typische Sinuskurve (bzw. eine andere zyklische Kurve) umgerechnet, und aus den Phasenverschiebungen einerseits und den Stauchungen und Dehnungen der errechneten Sinuskurve andererseits auf Planitätsfehler, Welligkeit und dergl. rückgeschlossen.

**[0029]** Besonders bevorzugt ist das Verhältnis ein Hell/Dunkel-Paar zu drei, alternativ auch zu vier oder fünf, Pixeln. Aufgrund der hohen Kosten für Matrixkameras ist es zweckmäßig, die Anzahl der Pixel je Hell/Dunkel-Sequenz zu minimieren.

**[0030]** Im Falle beispielsweise eines Rasters mit Schachbrettmuster aus hellen und dunklen Quadranten und einer Matrixkamera bedeutet dies, daß auf vier Quadrate neun Pixel kommen. Die Pixel sind derart auf das Bild gerichtet, daß im Idealfall ein Pixel eine vollständige helle und ein anderes Pixel eine vollständige dunkle Stelle beobachtet, während das dazwischen liegende Pixel einen Grauton erfaßt. Treten nun Änderungen in der Oberflächenplanität auf, wird das Bild in Abhängigkeit von der Schwankung verschoben und die Hell/Dunkel-Werte, die von den Pixeln erfaßt werden, um einen bestimmten Betrag in die eine oder die andere Richtung verschoben. Dieser Betrag läßt sich besonders leicht aus den Intensitäten, die die Pixel messen, ermitteln und über einfache Auswerteverfahren auf eine Winkelverschiebung zurückführen, die ein Ausdruck für die Planität ist. Infolge von Moiré-Bilderscheinungen, die infolge der Superposition des Lichtrasters und des "Gitters" der Zeilenkamera entstehen, können Informationen über die Planität mit wesentlich höherer Auflösung ermittelt werden.

**[0031]** Bei wenigstens teilweise transparenten

Werkstoffen können ausgehend von einer separaten Messung des an der Unterseite und der Oberseite von Glas reflektierten Lichtstrahls ferner neben Analysen von Höhe und Welligkeit auch Rückschlüsse auf die optischen Brechungsindizes des Werkstoffs erfolgen, die ansonsten nur mit Transmissionsverfahren möglich sind.

**[0032]** Es ist auch möglich, das Spiegelbild einer Hell/Dunkel-Sequenz auf genau zwei Pixel abzubilden, wodurch die Kamera, insbesondere eine Matrixkamera, sehr viel billiger wird. Dann ist jedoch das Lichtraster derart auszubilden, daß Sequenzen von Linien erzeugt werden, die sich in wenigsten drei unterschiedlichen Lichtintensitäten wiederholen. Auch aus diesem Verhältnis läßt sich eine Sinuskurve ermitteln, deren Phasenverschiebung in der sich bildenden Moiré-Schwebung zur Ermittlung von Planitätsfehlern verwendbar ist.

**[0033]** Schließlich ist es auch möglich, das Spiegelbild einer Hell-Dunkel-Sequenz, insbesondere auch eines Paares, auf ein Pixel oder ein Vielfaches davon abzubilden; jedoch benötigt man dann drei Aufnahmen, bei denen jeweils das Muster um ein Drittel einer Hell-Dunkel-Sequenz verschoben ist. Diese Verschiebung läßt sich einfach mit der bereits geschilderten Matrix aus LEDs realisieren.

**[0034]** Die Messung mit den zuletzt beschriebenen Verfahren ist sehr schnell und dauert nur größenordnungsmäßig einige Millisekunden. Es ist daher vorteilhaft möglich, auch Material "im Fluß", beispielsweise am Ausgang einer Walzglasanlage oder Endloswalzen aus reflektierendem Stahl, zu beobachten und zu messen. Bei Verwendung eines Kreuzrasters mit einer Matrixkamera ist dabei zu beachten, daß im Gegensatz zur Zeilenkamera, die die Pixel parallel ausliest, Matrixkameras in der Regel seriell ausgelesen werden. Da der Zeitabstand zwischen zwei Auslesevorgängen möglicherweise bei hohen Fördergeschwindigkeiten der zu messenden Oberfläche zu groß ist, ist es möglich, die Beleuchtung durch das Lichtraster mittels Stroboskop oder Blitz zu verkürzen. Wenn dagegen die Oberfläche still steht, kann beispielsweise mit einer Zeilenkamera über die gesamte Oberfläche gescannt werden, und hieraus eine quasi dreidimensionale Darstellung ermittelt werden.

**[0035]** Beim Auswerteschritt kann berücksichtigt werden, daß der Abstand der Zeilenkamera zu der zu messenden Oberfläche über die Zeile der Kamera nicht ganz gleichmäßig ist, da die Zeilenkamera eine kürzere Erstreckung hat als die Erstreckung des beobachteten Spiegelbildes. Demgemäß weist die Kamera in Richtung des Spiegelbildes einen Aperturwinkel auf, der im allgemeinen sehr klein ist, aber zu einer gewissen Meßungenauigkeit (infolge Unschärfe und infolge des größeren Abstands) führt, die bei

der Auswertung des Bildes berücksichtigt werden und im wesentlichen bereits durch das Abbildungsverhältnis auf die Kamera ausgeglichen wird. Vorstehend Gesagtes gilt ebenfalls für beide Dimensionen, wenn eine Matrixkamera eingesetzt wird.

**[0036]** Es ist zu bemerken, daß die Erfindung und ihre Weiterbildungen sowohl für die Messung von planen reflektierenden Oberflächen wie Flachglas geeignet ist als auch für reflektierende Oberflächen, z. B. polierte Oberflächen, die eine mehrdimensionale Sphäre aufweisen, beispielsweise Fahrzeugglasscheiben, Stanzteile, Bildröhren, mit einer reflektierenden Schicht überzogene Gegenstände und dergleichen, wobei die Gegenstände neben Walz-, Zieh- und Floatglas auch aus Acrylglas oder PVC bestehen können.

**[0037]** Die Erfindung wird nachstehend anhand eines in den beigefügten Abbildungen dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

**[0038]** [Fig. 1](#) ist eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

**[0039]** [Fig. 2](#) zeigt eine schematische Frontansicht einer weiteren erfindungsgemäßen Vorrichtung.

**[0040]** [Fig. 3](#) zeigt eine schematische Seitenansicht der Vorrichtung aus [Fig. 2](#).

**[0041]** [Fig. 4](#) ist eine schematische Darstellung eines Ausschnitts eines von der Kamera erfaßten Signals, das anschließend weiterverarbeitet wird.

**[0042]** Mit **1** ist eine Anordnung zum Messen des Verlaufs von reflektierenden Oberflächen bezeichnet. Die zu messende reflektierende Oberfläche **2** ist eine 2,5 mm dicke gebogene Walzglasscheibe, die einen rechteckigen Grundriß und eine Biegung in Längsrichtung aufweist. Auf die Walzglasscheibe **2** wird durch eine Lichtquelle **3**, die sich in einer Ebene oberhalb der Walzglasscheibe **2** erstreckt, Licht projiziert, das durch ein Lichtraster **4** hindurchtritt. Das Lichtraster **4** besteht aus äquidistanten, 5 mm breiten Streifen oder Linien, die abwechseln opak und transparent ausgebildet sind. Damit ist das durch das Lichtraster **4** durchtretende parallele Licht in (hellen) Streifen angeordnet, die durch jeweils nichtbeleuchtete (dunkle, Lichtintensität gleich Null) Streifen getrennt werden. Es ist anzumerken, daß, da das Licht parallel aus dem Raster **4** austritt, sich die Breite des Rasters **4** im wesentlichen über eine Breite entsprechend der Breite der Scheibe **2** erstreckt, um die Scheibe **2** nahezu vollständig mit beleuchteten und unbeleuchteten Streifen zu überziehen. Die Länge des Rasters **4**, also diejenige Erstreckung, die sich quer zu den Streifen und parallel zu der kurzen Kanten der Streifen erstreckt, beträgt ca. 2 m, so daß insgesamt 400

Streifen (200 Hell/Dunkel-Paare) nebeneinander angeordnet sind.

**[0043]** Derselben Fläche der Scheibe **2** zugewandt ist eine Zeilenkamera **5**, die einen Ausschnitt des Spiegelbildes **6**, welches von dem Raster **4** in der Oberfläche des Glasstücks **2** entsteht, erfaßt. Der Ausschnitt beträgt ca. 80 cm. Der beobachtete Spiegelbildausschnitt, der in [Fig. 1](#) mit dem gestrichelten Bereich **7** angedeutet ist, befindet sich im wesentlichen mittig auf der Oberfläche der Scheibe **2** und verläuft im wesentlichen senkrecht zu der Erstreckung der Hell/Dunkel-Streifen in dem Spiegelbild **6**. Es ist festzuhalten, daß äquidistante Streifen die Auswertung vereinfachen, aber keineswegs zwingend sind. Die Zeilenkamera **5** erfaßt mit jedem ihrer Pixel mit hoher Genauigkeit die Lage und Intensität des beobachteten Spiegelbildes **6**. Hierzu wird der Focus der Kamera **5** auf das Raster **4** eingestellt.

**[0044]** Es ist jedoch möglich, das Spiegelbild **6** in der Oberfläche **2** des Glases statt wie vorstehend beschrieben direkt auf indirekte Weise, z. B. über Spiegel zu beobachten. Vorzugsweise umfaßt eine Spiegelanordnung für die indirekte Beobachtung hierfür einen Parabolspiegel. Der Parabolspiegel wird derart angeordnet, daß einen Ausschnitt des Spiegelbildes **6** auf die Kamera zurückwirft. Einerseits ist das von dem parabolspiegel reflektierte Bild stets scharf auf die Kamera eingestellt; andererseits ist diese Einstellung unabhängig von dem Abstand des Parabolspiegels zu dem Glas **2**, so daß der Aufwand der Scharfeinstellung der Kamera vorteilhaft herabgesetzt ist.

**[0045]** Ausgehend von einer vollständig planen Oberfläche würde ein zu dem entsprechenden Raster **4** proportionales oder identisches Spiegelbild **6** von der Kamera **5** erfaßt werden. Liegen jedoch Planitätsunterschiede auf der Oberfläche des Glases **2** vor, kommt es zu einer Verzerrung des Spiegelbildes **6**, das heißt die Abstände der Streifen zueinander, die von der Kamera **5** erfaßt werden, sind nicht mehr äquidistant. Abweichungen gegenüber einer vollständig planen Oberfläche treten als Winkelunterschiede in der Oberfläche **2** auf, es liegt sozusagen ein Profil von Bergen und Tälern vor, deren Steigung von Null (vollständig plane Oberfläche) verschieden ist. Das Spiegelbild **6** einer gemessenen Oberfläche **2** wird jeweils proportional zu diesen Steigungen abgelenkt. Diese Abweichungen, um die das reflektierte Spiegelbild **6** verfälscht werden, werden von der Kamera **5** registriert. Da das Lichtraster **4** sehr genau gearbeitet ist, lassen sich die Winkelunterschiede in der Oberfläche exakt in Lage und Ausmaß feststellen. Ausgehend von diesen festgestellten Winkelunterschieden läßt sich bei einem planen (Soll) Probanden sowohl die Planität als auch die Welligkeit der Oberfläche **2** berechnen.

**[0046]** Grundsätzlich gelten dieselben Gesetzmä-



ßigkeiten für eine gebogene Oberfläche (oder eine Sphäre, etc.). Allerdings ist die Auswertung dadurch verkompliziert, daß der gesamte Verlauf der Oberfläche erfaßt werden soll, so daß es nicht ausreicht, eine örtliche Betrachtung der Abweichung der Neigung gegenüber einer idealen Oberfläche vorzunehmen. Vielmehr muß ausgehend von wenigstens zwei feststehenden Punkten, auf denen beispielsweise die gebogene Walzglasscheibe abgestützt ist, die Neigung quasi Streifen für Streifen ermittelt werden, so daß sich aus Neigung multipliziert mit der Breite des Streifens ein Stück eines Polygons ergibt. An dieses Stück wird dann das nächste Stück mit seiner spezifischen Neigung "angesetzt", usw. Diese Auswertung liefert eine Vielzahl von Punkten des Verlaufs, den es zu messen gilt. Für eine graphische Darstellung können diese Punkte dann als Kurve dargestellt werden. Für den gesamten ermittelten Verlauf können dann die Koordinaten im Raum ermittelt werden. Die Auswertung kann mittels einer Zeilenkamera in eine Richtung, mittels einer Matrix-kamera in zwei zueinander senkrechten Richtungen erfolgen.

**[0047]** Da eine Messung der Winkelunterschiede erfolgt, gehen vorteilhafterweise im Falle der Messung der Planität nicht in die Berechnung des Verlaufs solche (absoluten) Höhenunterschiede (z. B. in Bezug auf eine Nullage der Vorrichtung) ein, die aufgrund einer schrägen Anordnung einer ansonsten planen Oberfläche bei konventionellen Verfahren, die mit scharfen Abbildungen arbeiten, aufgrund des Verlaufs des Bildes ermittelt würden. Ungenauigkeiten in der Positionierung des Glases **2** beeinträchtigen daher vorteilhafterweise die Messung grundsätzlich nicht. Da die Messung einschließlich der Auswertung in sehr kurzer Zeit (0,1 bis 2 Sekunden) erfolgt, und eine Betrachtungszeitspanne der Oberfläche **2** von wenigen Millisekunden für die weitere Bearbeitung ausreicht, können problemlos Materialien während ihrer Beförderung, z. B. auf Förderbändern oder dergl., trotz etwaiger Vibrationen ohne Einbuße gemessen werden.

**[0048]** Die von der Kamera **5** beobachteten Hell/Dunkel-Werte werden von einem der Kamera nachgeschalteten (nicht dargestellten) Auswertesystem ausgewertet. Dabei wird als Referenz für die Auswertung von den Abständen des Lichtasters **4** ausgegangen, das in einer vollständig planen Oberfläche als wirklichkeitsgetreues Spiegelbild reflektiert worden wäre. Das Auswertesystem ermittelt in dem Spiegelbild **6** Abweichungen von dem Lichtaster **4** und errechnet hieraus die jeweiligen örtlichen Winkel, um die die gemessene Oberfläche **2** von einer idealen Oberfläche abweicht. Darüber hinaus ist es möglich, inkrementelle Differenzen benachbarter Streifen als Berechnungsgrundlage für die Welligkeit der Oberfläche heranzuziehen, die oft die optischen Eigenschaften von Glas stark beeinflusst und daher von großem Interesse ist. Außerdem kann die Welligkeit

bei Vorsehen einer entsprechend ausgebildeten Einrichtung an einer Walzglaslinie zur Regelung der Walzglasanlage herangezogen werden. Da das Licht zumindest in erster (hier allein relevanter) Näherung von dem Raster **4** parallel auf die Scheibe **2** fällt, ist es vorteilhafterweise nicht erforderlich, ein Referenzbild aufzunehmen, und für die Auswertung zugrunde zu legen, sondern es kann von der bekannten Struktur des Rasters **4** (also von den äquidistanten Abständen des Rasters **4**) ausgegangen werden. Der Meßfehler bleibt dadurch gering und die Meßzeit kurz.

**[0049]** In den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) sind die Komponenten aus [Fig. 1](#) in einer Meßvorrichtung in Vorderansicht und Seitenansicht dargestellt. Es ist zu erkennen, daß die Kamera **5** und das Raster **4** im wesentlichen in derselben Höhe angeordnet sind und einen relativ spitzen Winkel **8** von ca. 20° einschließen. Die Darstellung in [Fig. 2](#) zeigt das Raster **4** parallel, aber leicht seitlich versetzt zur Glasplatte **2**, also mit einem unter kleinen Winkel zur Normalen der Oberfläche **2** einfallenden Lichtstrahl (optische Achse), und die Kamera **5** in der Verlängerung des ausfallenden, an der Oberfläche **2** gespiegelten Lichtes (optische Achse). In [Fig. 3](#) ist erkennbar, daß der von der Kamera **5** beobachtete Ausschnitt des Spiegelbilds **6** abhängig ist von der Apertur der Kamera **5**. Der von der Kamera beobachtete Ausschnitt ist so gewählt, daß er 80 cm beträgt, so daß 80 Hell/Dunkel-Paare erfaßt werden. Wenn die Anzahl der beobachteten Streifen zu- bzw. abnimmt, wird von der Auswertevorrichtung auf eine entsprechende Krümmung der Oberfläche nach Art einer Linse(Sammel- bzw. Streu-)geschlossen. Auch innerhalb dieser gekrümmten Kontur lassen sich Abweichungen in der Planität schnell und genau messen. Es ist möglich, in wenigen Millisekunden und ohne Einsatz von beweglichen Teilen die Oberflächentopographie des Prüfobjektes **2** zu erfassen, wobei in Meßzeiten von 0,1 bis 2 Sekunden Meßgenauigkeiten zwischen 0,1 bis 3 µm (Welligkeit) und über eine Meßlänge von ca. 800 bis 1600 mm Genauigkeiten von < 0,01 mm bei dem Verlauf oder der Planität erzielbar sind.

**[0050]** In der Praxis ist vorteilhafterweise die Kamera **5** mit der Rastereinheit **4** in einer gemeinsamen Baugruppe ausgebildet. Das Raster **4** ist dann gegenüber einer exakt gegenüberliegenden Lage etwas seitlich parallel versetzt angeordnet, und die Kamera **5** entsprechend in die entgegengesetzte Richtung versetzt, so daß sich vorzugsweise der selbe Winkel für beide optische Achsen ergibt. Hierdurch läßt sich ein besonders günstiger spitzer Winkel von wenigen Grad, beispielsweise 5°, zwischen den optischen Achsen realisieren; die Erfindung ist aber auch bei Öffnungswinkeln von mehr als 5° und weniger als 90° praktisch einsetzbar. Es ist auch möglich, die Kamera in das Raster zu integrieren, und vorzugsweise beide auf einer Normalen zur Oberfläche **2** anzuord-



nen.

**[0051]** Es versteht sich, daß mit der beschriebenen Vorrichtung der Verlauf in einer Richtung erfaßt wird, nämlich derjenigen, die quer zur Richtung der Streifen, also in Längsrichtung (Biegung) des Walzglas **2**, liegt. Im Falle eines im wesentlichen flachen Probanden, beispielsweise eines planen Walzglasabschnitts, auf den ein Dekor aufgedruckt wurde, können die Neigungsänderungen im Vergleich zu einem ideal planen Verlauf als Maßzahl für die Planität verwendet werden. Entsprechend, wie vorstehend für die Längsverlauf bzw. -planität dargelegt, kann auch der Querverlauf bzw. -planität ermittelt werden, indem das Glasstück **2** anschließend derselben Messung unterzogen wird, jedoch unter einer relativen Verdrehung um  $90^\circ$  (entweder die Anlage oder das Glasstück wird um  $90^\circ$  verdreht angeordnet). So kann beispielsweise durch zwei hintereinander angeordnete, um  $90^\circ$  zueinander verdrehte Anordnungen **1** sichergestellt werden, daß auch bei einem kontinuierlichen Verfahren, wie beispielsweise bei der Walzglasherstellung, Angaben über die Längs- und Quer-Planität ermittelt werden. Es ist aber auch möglich, mit einem Kreuzraster (Hell/Dunkel-Paare in zwei, vorzugsweise zueinander senkrechten, Richtungen) ein Bild auf die reflektierende Oberfläche des Glasstücks **2** zu projizieren, welches durch eine Matrixkamera erfaßt wird. Dann können anschließend der Verlauf und Abweichungen von dem Verlauf eines idealen Probanden in Längs- und Querrichtung gleichzeitig ausgewertet werden, wodurch insbesondere Messungen an kontinuierlich oder getaktet geförderten Oberflächen **2** einfach durchführbar sind.

**[0052]** Es ist damit möglich, den Verlauf einer dreidimensionalen Sphäre exakt zu ermitteln, und ebenfalls darin auftretende Steigungsänderungen durch Differentiation zu ermitteln. Ist die Fläche **2** plan, läßt sich so sehr genau die Planität ermitteln; ist die Fläche **2** gebogen (oder weist sie eine definierte Sphäre auf), läßt sich so sehr genau die Biegegröße bzw. -glätte ermitteln.

**[0053]** Wie in [Fig. 2](#) mit gestrichelten Linien dargestellt, liegt eine Besonderheit der Glasplatte **2** darin, daß sie doppelt reflektierend ist, das heißt, daß das Raster **4** einmal an der Oberseite und einmal an der Unterseite der Glasplatte **2** reflektiert wird. Da nur der an der Oberseite nicht reflektierte Lichtstrahl (teilweise) an der Unterseite der Glasplatte reflektiert wird, ist die Intensität der ersten Reflexion etwas stärker als die Intensität der zweiten Reflexion. Soweit das so entstehende Spiegelbild **6** unter einem Winkel beobachtet wird, überlagern diese beiden Reflexionen einander. Der Winkel bei der Beobachtung des Spiegelbilds **6** ist im wesentlichen durch die kompakte Größe der Kamera **5** und deren Aperturöffnung bedingt, und ändert sich je nach Pixel; dieser Winkelversatz wird bei der Auswertung berücksichtigt (die

Weglängenänderung in Abhängigkeit von dem Winkel wird durch das Strahlenverhältnis der Abbildung im wesentlichen aufgehoben). Es ist möglich, durch etwas Unschärfstellen der Kamera **5** die Resultierende der Überlagerung der beiden Spiegelbilder im Glas **2** zu erfassen. Die Resultierende der von der Oberseite des Glases **2** reflektierten Lichtintensität  $i_1$  und des von der Unterseite des Glases reflektierten Lichtintensität  $i_2$  ist in [Fig. 4](#) dargestellt. Da  $i_1 > i_2$  kann das resultierende Signal leicht getrennt werden, so daß die Ober- und die Unterseite bezüglich ihres Verlaufs (und weiteren, abgeleiteten Werten wie der Planität, Welligkeit, Biegegenauigkeit, Höhe, Dicke, etc.) separat auswertbar sind.

**[0054]** Alternativ ist es möglich, eine zweite Kamera **5'** hinter der Kamera **5** anzuordnen, wobei jede der beiden Kameras auf eines der Spiegelbilder (also auf das Raster) scharf gestellt ist und die erfaßten Daten entsprechend ausgewertet werden. Ebenso ist es möglich, weitere Zeilenkameras **5''** parallel zur Kamera **5** zu betreiben und dadurch vorteilhaft im Parallelbetrieb in einer engen Zone viele Meßwerte zu erfassen, und diese anschließend weiterzuverarbeiten. Auch ein Scannen mit einer Zeilenkamera über einen Flächenbereich ist möglich.

**[0055]** Die Anordnung einer zweiten Kamera **5'** in einer anderen Höhe als die Kamera **5**, die vorzugsweise denselben Bildausschnitt beobachtet, hat noch einen weiteren Vorteil. Eine Änderung der Anzahl der beobachteten Streifen kann, wie oben bereits dargelegt, auf eine Linsenform der Oberfläche zurückzuführen sein. Dasselbe Phänomen tritt jedoch auf, wenn – aus welchen Gründen auch immer – die Höhe der beobachteten Oberfläche **2** verändert wird und der beobachtete Bildausschnitt entsprechend mehr oder weniger Streifen enthält. Aufgrund der verschiedenen Höhen der Kameras **5**, **5'** kann ein Höhenfehler auf einfache Weise korrigiert werden, und dementsprechend bei der Auswertung des Verlaufs berücksichtigt werden.

**[0056]** Eine andere Alternative bei der Auswertung von doppelt reflektierenden Materialien kann, insbesondere bei getöntem, z. B. grünem, Glas zum Einsatz gelangen. Wird grünes Glas (z. B. abwechselnd) mit rotem und mit grünem Licht aus dem Raster angestrahlt, wird dieses in stark unterschiedlichem Maß von dem Glas absorbiert, so daß die Intensität des von der Unterseite reflektierten Lichts sich signifikant unterscheidet. Aus den unterschiedlichen Intensitäten für verschiedene Lichtwellenlängen lassen sich auf einfache Weise Rückschlüsse über die Lage der Reflexion an der Ober- bzw. Unterseite des Glases ziehen. Alternativ ist es möglich, zur Beobachtung des Spiegelbilds **6** eine Farbkamera einzusetzen, wodurch die Sprünge in den erfaßten Intensitäten für Rot, Blau und Grün leicht separiert werden und auf die entsprechende Seite des Glases zurückgeführt

werden können.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Messen des Verlaufs einer Oberfläche eines durchsichtigen Gegenstands (2), der Licht an seiner Oberseite und an seiner Unterseite reflektiert, umfassend die Schritte  
Projizieren eines definierten Musters aus wenigstens zwei verschiedenen Lichtintensitäten auf den Gegenstand, wobei ein erstes Spiegelbild an der Oberseite und ein zweites Spiegelbild an der Unterseite des Gegenstands (2) erzeugt werden,  
Beobachten wenigstens eines Ausschnitts mittels mindestens einer ersten Kamera (5), wobei der beobachtete Ausschnitt einen Ausschnitt des ersten Spiegelbilds und des zweiten Spiegelbilds umfasst, und  
Auswerten des beobachteten Ausschnitts ausgehend von den Kameradaten, wobei zur Beschreibung des Verlaufs der Oberfläche die Daten für das erste Spiegelbild getrennt von den Daten für das zweite Spiegelbild analysiert werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß die erste Kamera (5) das aus dem ersten und dem zweiten Spiegelbild resultierende Intensitätsmuster ( $i_1 + i_2$ ) erfasst und die Trennung der Daten für das erste Spiegelbild und das zweite Spiegelbild dadurch erfolgt, daß die reflektierte Lichtintensität ( $i_1$ ) des ersten Spiegelbilds höher ist als die reflektierte Lichtintensität ( $i_2$ ) des zweiten Spiegelbilds.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß hinter der ersten Kamera (5) eine zweite Kamera (5') angeordnet wird, wobei die zweite Kamera (5') vorzugsweise den gleichen Ausschnitt wie die erste Kamera (5) beobachtet, wobei die erste Kamera (5) und die zweite Kamera (5') auf jeweils eines der Spiegelbilder der Oberseite und der Unterseite scharf gestellt sind.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die erste und die zweite Kamera (5, 5') in verschiedener Höhe und/oder unter verschiedenem Winkel zur Oberseite angeordnet werden.

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Strahlengang des reflektierten Lichts ein halbdurchlässiger Spiegel derart vorgesehen wird, so daß derselbe Ausschnitt mit der ersten Kamera (5) und der zweiten Kamera (5') aus verschiedenen Entfernungen beobachtet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine tatsächliche Höhenlage der Oberfläche aus der Abweichung einer Streifenzahl des Musters des von der ersten und der zweiten Kamera beobachteten Ausschnitts bestimmt und anschließend die Krümmung der Oberfläche aus einer erwarteten Muster-Streifenzahl bei der bestimmten Höhenlage unter Berücksichtigung eines Proportionalitäts-

faktors ermittelt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß beim Auswerten unterschiedliche Lichtwellenlängen berücksichtigt werden.

7. Vorrichtung zum Messen des Verlaufs einer Oberfläche eines durchsichtigen Gegenstands (2), der Licht an seiner Oberseite und an seiner Unterseite reflektiert, mit Mitteln (3, 4) zum Projizieren eines definierten Musters aus wenigstens zwei verschiedenen Lichtintensitäten auf den Gegenstand, wobei die Mittel (3, 4) zum Projizieren derart ausgebildet sind, dass ein erstes Spiegelbild auf der Oberseite und ein zweites Spiegelbild auf der Unterseite erzeugt werden, mit mindestens einer ersten Kamera (5), welche wenigstens einen Ausschnitt beobachtet, wobei dieser einen Ausschnitt des ersten Spiegelbilds und einen Ausschnitt des zweiten Spiegelbilds umfasst, und mit Mitteln zum Auswerten des beobachteten Ausschnitts ausgehend von den Kameradaten, wobei zur Beschreibung des Verlaufs der Oberfläche die Daten für das erste Spiegelbild getrennt von den Daten für das zweite Spiegelbild analysiert werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß die erste Kamera (5) das aus dem ersten und dem zweiten Spiegelbild resultierende Intensitätsmuster ( $i_1 + i_2$ ) erfasst und die Trennung der Daten für das erste Spiegelbild und das zweite Spiegelbild dadurch erfolgt, daß die reflektierte Lichtintensität ( $i_1$ ) des ersten Spiegelbilds höher ist als die reflektierte Lichtintensität ( $i_2$ ) des zweiten Spiegelbilds.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß hinter der ersten Kamera (5) eine zweite Kamera (5') angeordnet ist, wobei die zweite Kamera (5') vorzugsweise den gleichen Ausschnitt wie die erste Kamera (5) beobachtet, wobei die erste Kamera (5) und die zweite Kamera (5') auf jeweils eines der Spiegelbilder der Oberseite und der Unterseite scharf gestellt sind.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die erste und die zweite Kamera (5, 5') in verschiedener Höhe und/oder unter verschiedenem Winkel zur Oberseite angeordnet sind.

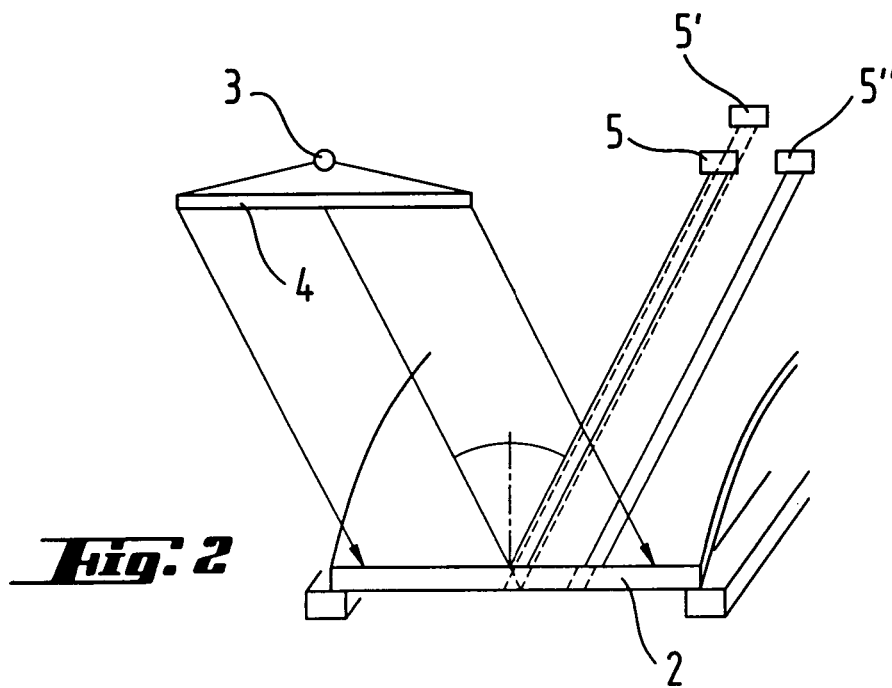
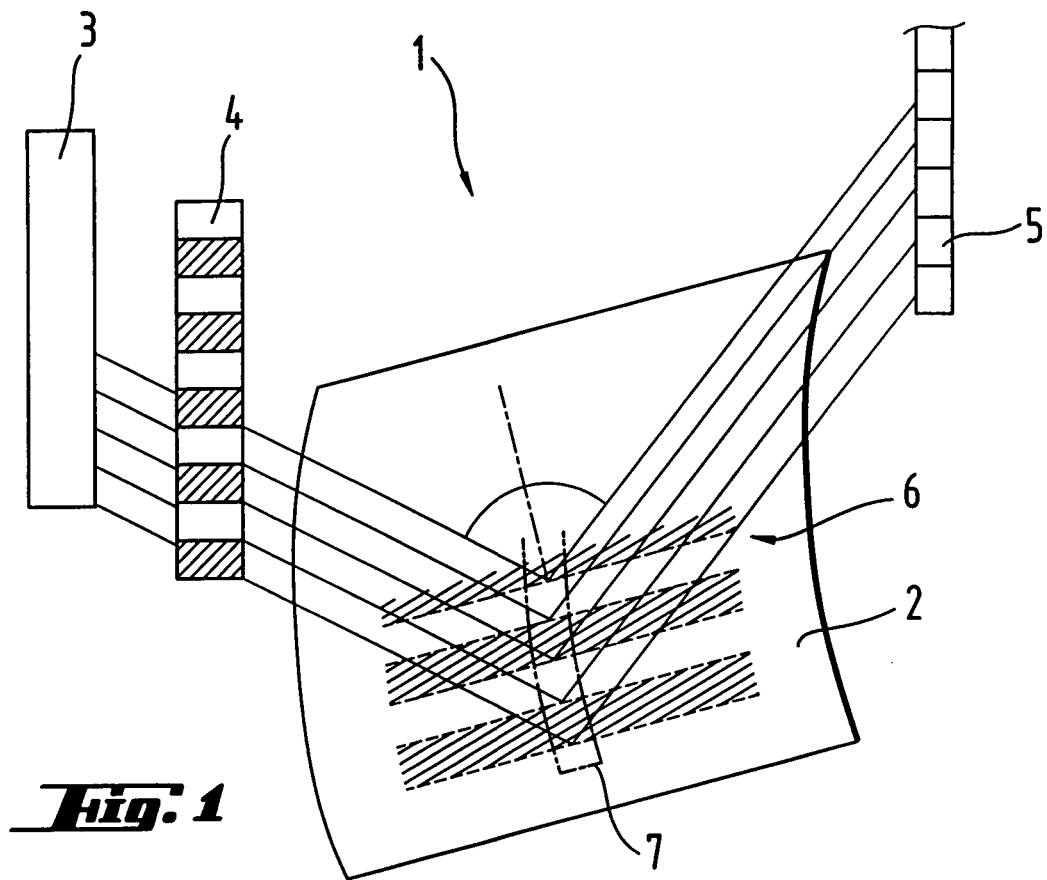
10. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Strahlengang des reflektierten Lichts ein halbdurchlässiger Spiegel angeordnet ist.

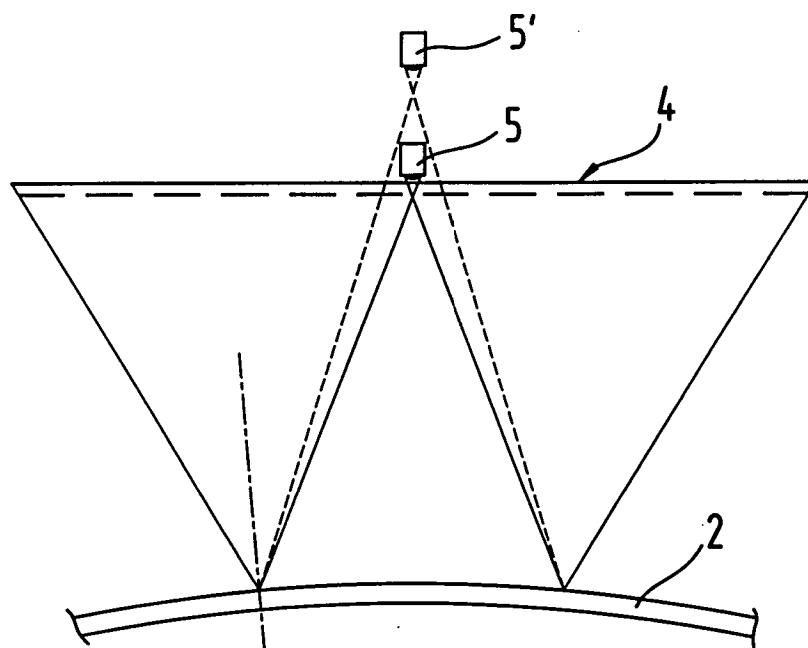
11. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die mindesten eine erste Kamera (5) als Zeilenkamera ausgebildet ist und zusätzlich zu der ersten Kamera (5) weitere Zeilenkameras eingesetzt werden.

12. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch ge-

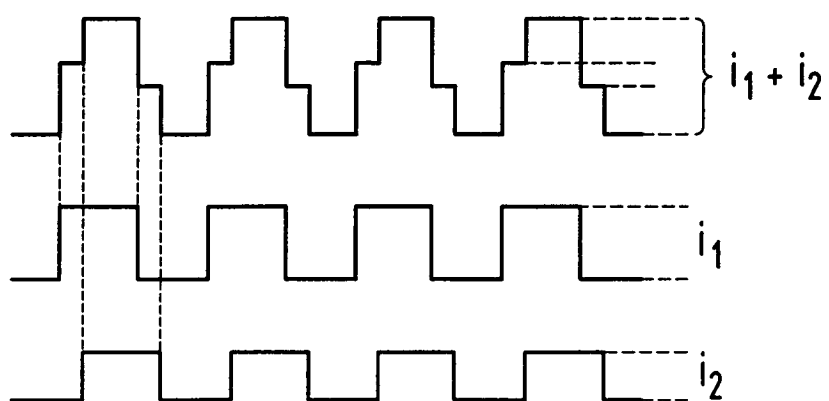
kennzeichnet, daß die mindestens eine erste Kamera  
(5) als Farbkamera ausgebildet ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen





***Fig. 3***



***Fig. 4***