

(12)

Patentschrift

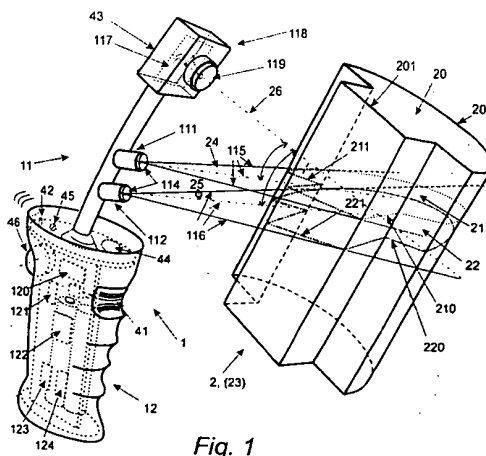
- (21) Anmeldenummer: A 129/2005 (51) Int. Cl.⁸: G01B 11/24 (2006.01)
(22) Anmeldetag: 2005-01-27
(43) Veröffentlicht am: 2008-12-15

(56) Entgegenhaltungen:
US 6542249B1 US 2003/0160974A1
US 2001/0028025A1

(73) Patentinhaber:
JOANNEUM RESEARCH
FORSCHUNGSGESELLSCHAFT M.B.H.
A-8010 GRAZ (AT)

(54) VERFAHREN ZUR MOBILEN BERÜHRUNGSLOSEN ERFASSUNG, SOWIE ERMITTLUNG UND AUSWERTUNG VON KÖRPER-KONTUREN

- (57) Ein Verfahren zum berührungslosen Erfassen zumindest eines Teils einer in einer Vorzugsschnittfläche (20) liegenden Kontur (200, 201) eines Körpers (2, 23) innerhalb eines vorbestimmten Messbereiches des Körpers (2, 23), welcher Körper eine bekannte geometrische Gesetzmäßigkeit in einer Raumrichtung aufweist, die nicht in der Vorzugsschnittfläche liegt, vorzugsweise senkrecht zur Vorzugsschnittfläche gerichtet ist, insbesondere zum Erfassen eines Teils eines Querschnitts eines Körpers (2, 23), weist die Kombination folgender Merkmale auf: Anvisieren des Körpers (2, 23) von Hand aus mit mindestens zwei von einer vom Körper ortsunabhängigen Strahlenquelle (111, 112) erzeugten Strahlenflächen (115, 116) unter Erzeugen jeweils einer Strahlenschnittlinie (210, 220) an der Oberfläche des Körpers (2, 23) in dem vorbestimmten Messbereich, welche Strahlenflächen (115, 116) in bekannter Raumorientierung zueinander stehen, Anvisieren der Strahlenschnittlinien (210, 220) mittels eines Strahlendetektors (118) von Hand aus, der zu den Strahlenflächen (115, 116) ebenfalls in einer bekannten Raumorientierung steht, worauf die vom Strahlendetektor (118) erfas-
- ten Schnittliniendaten zur Errechnung der in der gewünschten Vorzugsschnittfläche (20) liegenden Kontur (200, 201) verwertet werden, wobei die im Messbereich des Körpers (2, 23) auftretende Gesetzmäßigkeit seiner Oberfläche bei der Errechnung der in der gewünschten Vorzugsschnittfläche liegenden Kontur (200, 201) berücksichtigt wird.



Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum berührungslosen Erfassen zumindest eines Teils einer in einer Vorzugsschnittfläche liegenden Kontur eines Körpers innerhalb eines vorbestimmten Messbereiches des Körpers welcher Körper eine bekannte geometrische Gesetzmäßigkeit in einer Raumrichtung aufweist, die nicht in der Vorzugsschnittfläche liegt, vorzugsweise senkrecht zur Vorzugsschnittfläche gerichtet ist, insbesondere zum Erfassen eines Teils eines Querschnitts eines Körpers.

Für die Qualitätssicherung von industriell gefertigten Produkten mit vorgegebener Körperform sowie zur Inspektion von mit Verschleiß behafteten Bauteilen, Gussformen oder dergleichen werden in der Industrie oder Fahrzeugtechnik stationäre Prüfstände zur Erfassung von Normabweichungen oder Veränderungen eingesetzt. Dazu dienen z.B. topometrische Messverfahren. Dabei werden Körper mechanisch mit Tastspitzen-Sonden abgetastet (taktiles Messverfahren oder Tastschnittverfahren) oder durch berührungslose optische Prüf-Verfahren zwei- und dreidimensional erfasst. Auch findet man häufig manuelle Inspektionsverfahren mithilfe von Schiebelehren oder Mess-Schiebern (mechanisch oder elektronisch).

Als Messobjekte dienen Formkörper, vorzugsweise aus biologischen, keramischen, metallischen oder Kunststoff-Materialien. Häufig gemessene Formen sind Zylinderprofile oder rotationssymmetrische Profile. Hauptanwendungen der bekannten Verfahren sind Vermessung von Zahnersatz, Prothesen, Scheiben, Walzen, Rädern, Kolben, Bolzen, Schrauben, Innen- und Außengewinden, Schlüsselrohlingen, Rohren, Reifen, Kugeln, Profilleisten, Schienen, Gehäuseteilen, Formgussteilen, aber auch Oberflächenstrukturen oder Schichtdicken. Mechanische Abtastverfahren zur Konturkontrolle wurden bereits nach Entwicklung der Lasertechnik durch optische Verfahren ergänzt.

Zu den optischen Konturerfassungs-Geräten gehören solche, die nach dem Schattenwurfprinzip arbeiten, und solche, die das Lichtschnittverfahren einsetzen. Vorrichtungen, die nach diesen Verfahren arbeiten, sind auf Messtische oder stationäre Messaufbauten mit exakt justierten Anordnungen von Bilderfassungs- und Strahl-Erzeugungseinheiten angewiesen. Wesentlich ist hierbei eine starre und exakte Zuordnung zwischen dem zu vermessenden Körper und der Messeinrichtung.

Grundlage dieser Verfahren ist die Triangulation jedes Körperkontur-Punktes. Beim Laser-Lichtschnittverfahren dient ein linienförmiges Laserlichtband zur Beleuchtung einer ausgewählten Konturlinie eines Messkörpers, und zwar in der Lichtschnittebene, und eine lichtempfindliche Sensorfläche (vorzugsweise ein CMOS oder CCD-Video-Sensor mit n mal m Bildpunkten) zur Erfassung des Reflexionslichtes von einer zur Strahlenachse des Laserlichtes bzw. der Lichtschnittebene versetzten Position.

Die trigonometrischen Beziehungen der Winkel der Messdreiecke zwischen Lichtquelle, Reflexionspunkten und Sensor und die Lage von Lichtquelle und Sensorfläche zueinander erlaubt die dreidimensionale Berechnung der Konturlinien-Koordinaten. So wird das Lichtband, das auf eine ebene Fläche fällt, als Gerade auf der Sensorfläche abgebildet, Krümmungen oder Wölbungen als Kurven, Knicke als Winkel.

Zur exakten Positionserfassung existieren Vorrichtungen in Verbindung mit einem Messtisch, auf welchem entweder mehrere ortsfest angeordnete optische Systeme vorgesehen sind, oder die mit einem durch einen Schwenkarm beweglichen optischen System ausgestattet sind. Daneben existieren Vorrichtungen zum relativen transversalen Bewegungen des zu vermessenden Körpers gegenüber der Messeinrichtung in definierten Schrittweiten in einem Koordinatensystem (kartesisch oder zylindrisch) sowie Vorrichtungen zum Drehen um mindestens eine Achse um definierte Schrittwinkel. Mehrere optische Systeme oder aber kalibrierte Bewegungseinrichtungen für den zu vermessenden Körper oder für das Mess-System sind notwendig, um auch jene Bereiche zu erfassen, die bei nur einseitiger Bestrahlung abgeschattet sind.

In der DE 199 26 439 C1 ist ein Verfahren zur berührungslosen dreidimensionalen Vermessung von Körpern mit einem Drehtisch und einem optischen Triangulationssensor beschrieben.

Die DE 102 56 122 erläutert eine am Schienenfahrzeug befestigte Einrichtung zur Ermittlung wenigstens einer Zustandsgröße einer Rad-Schienen-Paarung mittels Lichtschnittverfahren.

Die DE 103 01 903 handelt von einem Verfahren zur räumlichen Vermessung eigenbewegter Objekte mittels aktiver Triangulation, z.B. zum Vermessen von Fingerkuppen.

In der US 6,768,551 ist eine stationäre Messeinrichtung an Geleisen zur berührungslosen Erfassung von Radverschleiß an Schienenfahrzeugen abgehandelt.

Nachteilig an existierenden Körperkontur-Erfassungsgeräten ist die starre örtliche Zuordnung der Geräte zu den zu vermessenden Körpern, die zudem für die trigonometrische Ausweitung sehr genau auf ein bestimmtes Maß eingestellt sein muss. Weiters sind der relativ große stationäre Messaufbau mit kalibrierten, geeichten Messtischen oder Messplätzen mit fixen oder in Grenzen veränderbaren Abmessungen des Messgut-Aufnahmeraumes, die lange Messdauer und lange Verarbeitungszeiten sowie die Empfindlichkeit des Messvorganges gegenüber Vibrationen und Erschütterungen nachteilig. Die Erfassung von Profilen im „verbauten“ Zustand, im Betrieb, unter Materialbelastung oder in Bewegung ist schwer oder oft gar nicht möglich. Die Konturmessgeräte sind meist auf bestimmte Produkte hin konzipiert, groß und unhandlich. Meist sind Messaufbauten mit Datenverarbeitungsanlagen (Stand-Computer) verbunden und verlangen messtechnische Grundkenntnis und ausreichende Bedienkenntnisse für die Steuerungssoftware. Einrichtung und Justage sind oft langwierig. Dazu ist regelmäßige Wartung und Kontrolle der motorisch gesteuerten Teile, wie Spindeln und anderer Positioniervorrichtungen, erforderlich.

Die US 2003/0160 974 A1 zeigt ein Verfahren zum Vermessen von Kreiszyklindern als bekannt, bei dem der Kreiszyylinder mit einer von einer vom Kreiszyylinder ortsunabhängigen Strahlenquelle erzeugten Strahlenfläche unter Erzeugung einer Strahlenschnittlinie an der Oberfläche des Körpers anvisiert wird und die Schnittlinie mittels einer Kamera erfasst wird. Hierbei werden Extremwerte der Koordinaten von drei speziellen Punkten vermessen und daraus der Radius des Kreiszyklinders errechnet. Im Falle einer Schrägstellung der Strahlenschnittlinie lässt sich ein Messergebnis mit zwei oder mehr Strahlenflächen erzielen.

Aus der US 6,542,249 B1 ist es bekannt, die Oberfläche eines Objekts berührungslos zu erfassen, wobei das Objekt mit drei von einer vom Objektort unabhängigen Strahlenquelle erzeugten Strahlenflächen unter Erzeugung jeweils einer Strahlenschnittlinie an der Oberfläche des Objekts anvisiert wird, wobei die Strahlenflächen in bekannter Raumorientierung zueinander stehen. Diese Strahlenschnittlinien werden von einer Kamera aufgenommen und es kann durch Interpolation auf die Objektoberfläche zwischen den Schnittlinien geschlossen werden. Durch mehrmaliges Anvisieren des Objekts und Zusammenfügen sämtlicher Messungen kann auf die dreidimensionale Oberfläche des Objekts geschlossen werden.

Aus der US 2001/0028025 A1 ist ein Lichtschnittsensor bekannt zum berührungslosen Ermitteln von Längendimensionen und Winkeln, wobei die Methode der Triangulation benutzt wird.

Die Erfindung stellt sich die Aufgabe, ein Verfahren der eingangs beschriebenen Art zu schaffen, welches eine sehr schnelle und trotzdem exakte Vermessung der Oberfläche eines Körpers in einer Vorzugsschnittfläche, insbesondere seines Querschnitts gestatten, wobei länger dauernde Vorarbeiten, wie z.B. das genaue In-Position-Bringen des Messgerätes zum zu vermessenden Körper bzw. umgekehrt, vermieden werden können. Es soll weiters möglich sein, Körper an schwer zugänglichen Stellen, ohne deren Ausbau aus einem Verband mehrerer Körper zu erfordern, zu vermessen. Das erfindungsgemäße Verfahren soll auch geeignet sein, sich bewegende Körper und auch unter Belastung stehende Körper zu vermessen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Kombination folgender Verfahrensschritte gelöst:

- Anvisieren des Körpers (2, 23) mit mindestens zwei von einer vom Körper ortsunabhängigen Strahlenquelle (111, 112) erzeugten Strahlenflächen (115, 116) unter Erzeugen jeweils einer Strahlenschnittlinie (210, 220) an der Oberfläche des Körpers (2, 23) in dem vorbestimmten Messbereich,
- welche Strahlenflächen (115, 116) in bekannter Raumorientierung zueinander stehen,
- Anvisieren der Strahlenschnittlinien (210, 220) mittels eines Strahlendetektors (118), der zu den Strahlenflächen (115, 116) ebenfalls in einer bekannten Raumorientierung steht,
- worauf die vom Strahlendetektor (118) erfassten Schnittliniendaten zur Errechnung der in der gewünschten Vorzugsschnittfläche (20) liegenden Kontur (200, 201) verwertet werden,
- wobei die im Messbereich des Körpers (2, 23) auftretende Gesetzmäßigkeit seiner Oberfläche bei der Errechnung der in der gewünschten Vorzugsschnittfläche liegenden Kontur (200, 201) berücksichtigt wird.

Wesentlich für die Erfindung ist, dass die beiden Strahlenflächen und der Strahlendetektor in einer bekannten Raumorientierung zueinander stehen, was die Errechnung der in der gewünschten Vorzugsschnittfläche liegenden Kontur erst ermöglicht, und wodurch sowohl die Strahlenflächen als auch der Strahlendetektor in keiner wie immer gearteten bekannten Zuordnung zum zu vermessenden Körper stehen müssen. Dadurch ist es möglich, die mindestens eine Strahlenquelle und den Strahlendetektor zu einer Vorrichtung zusammenzufassen und mit dieser Vorrichtung den zu vermessenden Körper anzuvisieren, beispielsweise von Hand aus, wobei man nicht an eine speziell gerichtete und exakt einzuhaltende Anvisierung gezwungen ist.

Die Bestimmung der Kontur in der Vorzugsschnittfläche erfolgt rechnerisch mit Hilfe von Trigonometrie.

Vorzugsweise sind die Strahlenflächen als Ebenen ausgebildet.

Als Strahlenquelle dient zweckmäßig eine Lichtquelle, insbesondere eine Laser-Lichtquelle.

Zum Erfassen einer Kontur, welche in Folge von Verdeckungen oder zu großem Umfangswinkel nicht von einer Position erfasst werden kann, wird der Körper innerhalb des Messbereichs von zwei oder mehr Stellen im Raum anvisiert, welche Stellen durch Translation und/oder Rotation der Strahlenquelle entlang bzw. um den Körper erreicht werden. Die vom Strahlendetektor erfassten Schnittliniendaten werden unter gegenseitiger Orientierung unter Nutzung von Überlappungsbereichen an markanten Merkmalen der Strahlenschnittlinien zu einer Kontur rechnerisch mittels mathematischer Transformation zusammengefügt, wie durch eine Translation und/oder Rotation.

Ein vorteilhaftes Verfahren für die Errechnung der in der Vorzugsschnittfläche liegenden Kontur ist dadurch gekennzeichnet, dass ein Algorithmus zur Berechnung und Speicherung räumlicher Datenwerte (Datentripel, Punktvektoren im 3D-Raum) der Strahlenschnittlinien aus den Positionen von digitalisierten zweidimensionalen Abbildern der Konturteile auf einer Sensorfläche des Strahlendetektors mit $n \cdot m$ Pixel und den Konturpositionen mithilfe eines Mikroprozessors und den trigonometrischen Lage- und Winkelbeziehungen zwischen der optischen Achse des Strahlendetektors und den von den Strahlenflächen gebildeten Schnittflächen eingesetzt wird.

Zweckmäßig wird ein Algorithmus zur Korrektur verzerrt erfasster Strahlenschnittlinien unter Verwendung von Kalibrierdaten eingesetzt, wobei vorzugsweise zuvor über einen Kalibriervorgang mithilfe eines Referenzkörpers Konturdaten erfasst und in einem Speichermedium als Referenzdaten gespeichert werden.

Weitere bevorzugte Rechenverfahren sind in den Ansprüchen 5 und 6 gekennzeichnet.

Zur Ermittlung von Teilkonturen ist das Laser-Lichtschnittverfahren besonders gut geeignet.

Vorteilhaft ist eine Anordnung mit einer Flächenkamera und einer Laservorrichtung mit einem optischen Aufsatz, der den Laserstrahl in zwei Lichtbänder (ausgedehnte Laserlinien) auf-
 5 fächert. Deren Orientierung ist idealer- aber nicht notwendigerweise etwa 30 - 60° zur optischen Achse der Flächenkamera und parallel zueinander. Durch Triangulation der reflektierten Lichtpunkte der zumindest anteilig diffus reflektierenden Oberfläche werden die bestrahlten (und nicht durch Erhebungen abgeschatteten) Konturteile in ihrer Position erfasst. Durch mindestens zwei Lichtschnitte kann eine relative Verdrehung oder Verkipfung zwischen dem Messobjekt
 10 und den Laserebenen erfasst werden.

Die Formkenntnis oder die Kenntnis der Formeigenschaften, wie Symmetrie oder Zylinderform und dergleichen, erlaubt es, die nicht erfassten Schnittflächen-Konturteile zu berechnen. Zum
 15 Beispiel können zwei Lichtschnittkonturen eines Kreiszyinders zwei ebene Ellipsenabschnitte sein, deren Ebenen zueinander um einen Winkel geneigt sind, wobei der Winkel zwischen den Ebenen bekannt ist. Die Raumlage ist ebenfalls bekannt. Damit kann durch Drehen des Koordinatensystems in eine Lage parallel zum Hauptquerschnitt des Kreiszyinders und Projektion der Ellipsenabschnitte in die Hauptquerschnittsebene eine direkte Analyse des Querschnittes erfol-
 20 gen. Bei Fehlerfreiheit ergibt sich ein Kreisabschnitt als Projektionskurve. Bei Abnützung kann eine Abweichung von einem idealen Kreisabschnitt sichtbar gemacht werden. Sind die beiden Ellipsenabschnitte unterschiedlich verändert, kann dies in der Projektion auf Veränderungen in Richtung der Zylinderachse hinweisen.

Allgemein betrachtet können die Strahlenflächen bzw. Lichtschnittebenen miteinander beliebi-
 25 ge, aber bekannte und während des Messvorganges konstant einzuhaltende Winkel einschließen. Die Daten der Sensorfläche zeigen aufgrund der Optik ein reelles Abbild des Messobjekts, wobei die angestrahlten Körperkonturen aufgrund des Farb- oder Helligkeitswertes gefiltert werden können. Die zugeordneten Positionen auf der optischen Sensorfläche des Strahlendetektors stellen die perspektivisch verzerrten Abbilder der erfassten Konturteile dar und können
 30 durch einen Rechenalgorithmus mit Hilfe der trigonometrischen Zusammenhänge in die x, y, z Koordinatenwerte umgerechnet werden.

Dabei kann jeder Bildpunkt i von 1 bis n der Konturposition (u_{i1}, v_{i1}) ; (u_{i2}, v_{i2}) , ... der bestrahlten
 35 Konturteile eindeutig in den durch die Koordinaten x, y, z gegebenen Bezugsraum umgerechnet werden. Für ebene Strahlflächen und ideale zentralprojektive Abbildungen gilt der Zusammen-
 hang

$$40 \quad S_1 \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \underline{M}_1 \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix}; \quad S_2 \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \underline{M}_2 \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix}; \dots$$

Die daraus errechneten Körperkonturteile (x_{i1}, y_{i1}, z_{i1}) ; (x_{i2}, y_{i2}, z_{i2}) ... mit einer Anzahl von n
 45 Punkten werden über eine Transformationsfunktion, welche aus den bekannten Objekteigenschaften und den errechneten Körperkonturteildaten selbst bestimmt wird, in den Vorzugs-
 schnittflächenkonturteil (x'_i, y'_i, z'_i) umgerechnet. Für kegel- und zylinderförmige Objekte gilt
 50 beispielsweise:

$$55 \quad S \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \underline{N} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Vorteil dieses Verfahrens ist der einfache Aufbau, da keine exakte Anvisierung des Vorzugsquerschnittes erforderlich ist, die Ergebnisse aber durchaus ausreichend genau sind.

5 Gut geeignet für die Vorrichtung sind dem Stand der Technik entsprechende Laser-Lichtschnitt-Komponenten kompakter Bauform mit Laserliniengeneratoren und Flächenkamera.

10 So eignen sich besonders kohärente Lichtstrahlquellen (vorzugsweise Laser der Gruppen Festkörper-, Flüssig-, Gas-, Plasma-, Freielektronen- oder Halbleiter-(Dioden)Laser, beispielsweise ein Rubin- oder Neodym-Glas-Laser, ein Helium- oder ein CO₂-Laser oder vorzugsweise ein Gallium-Arsenid-Laser oder ein Gallium-Nitrid-Laser) mit Licht brechenden optischen Aufsätzen zur Auffächerung und Teilung des Strahlenbündels in Strahlenreihen, Strahlenbänder oder dergleichen. Auch können Spiegel, Prismen bewegt durch Bewegungseinrichtungen oder statisch zur Ablenkung verwendet werden. Linsen und Hohlspiegel sind zur Bündelung oder Kollimation vorgesehen. Auch holographisch bearbeitete Folien können zur Liniengeneration dienen.

15 Als Sensorfläche ist ein CCD- oder CMOS Bildaufnahmeelement, wie sie in Videokameras oder Digitalkameras zu finden sind, gut geeignet. Zur scharfen Abbildung auf der Sensorfläche ist ein Objektiv vorgesehen. Die Daten werden durch eine Vorrichtung in ebene Vektoren umgewandelt, wobei nur die Daten jener Sensorflächenpositionen von Bedeutung sind, die durch die Lichtschnitte (beleuchtete Konturteile) repräsentiert sind. Eine rechnerunterstützte Bildanalyse (z.B. Farbwert- oder Helligkeitswertzuordnung) erlaubt die Extraktion der erfassten Lichtschnitt-Daten.

20 Für die Datenverarbeitung sind einfache Microcontroller oder Mikroprozessoren und Speicher wie RAM, EPROM, EEPROM vorgesehen.

25 Die Software zur Datenverarbeitung mit den verschiedenen Rechen- und Ermittlungsalgorithmen ist in Festspeichern vorgesehen. Die Datenverarbeitungseinheit steht mit Ein- und Ausgabevorrichtungen, wie seriellen oder parallelen Schnittstellen, Display, Schalter, und dem Videosignal in Verbindung. Ein Algorithmus dient der Lichtschnittberechnung. Ein weiterer Algorithmus kann zur Kalibrierung des Lichtschnittverfahrens dienen. Die Haupt-Algorithmen ermitteln durch Raumbezugsetzung der erfassten Schnitte in definierte Objekte und/oder durch Koordinatentransformation die Projektionslage der Vorzugsschnittfläche, wobei Informationen über 30 Formeigenschaften den Algorithmus bestimmen können. So kann ein Gitterpunktmodell oder ein Vektorgrafikmodell eines Idealkörpers vorliegen, dessen Oberfläche für eine Einpassroutine mit geringster Abweichung dient. Dadurch kann auch die Lage von Bruchstücken eines in groben Zügen bekannten Körpers anhand erfasster Konturen bestmöglich zugeordnet werden.

35 Interpolation durch Kurven 1. oder höherer Ordnung ermöglicht die Ermittlung von Konturteilen, welche zwischen den erfassten Konturteilen liegen. Ein ähnlicher Ansatz ist durch den Algorithmus gegeben, der aufgrund bekannter, vorzugsweise zylindrischer oder rotationssymmetrischer Formeigenschaften oder aufgrund gespeicherter Referenzdaten der Sollkontur der Vorzugsschnittebene die Konturteile der Vorzugsschnittfläche ermittelt. Dabei wird die Projektions- 40 ebene für die erfassten Konturteile so lange um zwei zueinander orthogonale Dreh-Achsen gedreht, bis die projizierten Konturteile geringste Fehler gegenüber den Formeigenschaften oder den Referenzdaten der Kontur der Vorzugsschnittfläche aufweisen.

45 Auch das Zusammenfügen mehrerer Konturteile durch mehrere Messungen ist durch einen Multimode-Algorithmus vorgesehen. Dadurch kann die Vorzugskontur sukzessive ermittelt werden, indem die Vorrichtung zur Konturerfassung um das Messobjekt bewegt wird. So kann auch bei Verdeckungen oder für eine Messposition mit zu großem Umfangswinkel eine größere Teilkontur oder die gesamte Kontur der Vorzugsschnittfläche ermittelt werden.

55 Ein weiterer möglicher und sinnvoller Algorithmus ist die Referenzdatenerfassung, welcher aus

Referenz-Objekten die Kontur der Vorzugsschnittfläche aufnimmt und als neue Referenz für spätere Messungen speichert.

5 Taster, Schalter oder andere Bedienelemente, z.B. ein Touchscreen, sind für die Wahl der Funktionen (Algorithmen) vorgesehen. Mindestens eine Schnittstelle ermöglicht den Datenaustausch mit peripheren Computern oder anderen Messgeräten oder den Anschluss eines Druckers oder eines Monitors. Gut geeignet sind drahtlose Schnittstellen, wie Infrarot-Schnittstellen oder Funkübertragungsstrecken (z.B. Bluetooth).

10 Eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung ist anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematisierte Darstellung der Vorrichtung, Fig. 2 bis Fig. 7 die möglichen Lagen zweier Lichtschnitt-Ebenen gegeneinander und gegenüber der Sensorebene.

15 Zur Ermittlung der in einer Vorzugsschnittfläche 20 liegenden Querschnittsflächenform eines zu vermessenden Körpers 2 - auch Messobjekt genannt - dient die Vorrichtung 11, die ein Laser-Lichtschnittsystem verkörpert.

20 Die Vorrichtung weist zwei Strahlenform-Einrichtungen 114 zur Erzeugung einer ersten und einer zweiten Strahlenfläche 115 und 116 - gebildet von Laserstrahlen, die von zwei Lichtquellen 114 erzeugt werden - auf. Die Einrichtungen 114 und damit die Strahlenflächen 115, 116 sind in einer bestimmten Raumorientierung zueinander ausgerichtet, z.B. parallel zueinander oder in einem bestimmten Winkel gegeneinander geneigt. Die Strahlenschnittlinien 115, 116
25 bilden hierdurch eine erste und zweite Schnittfläche 21 und 22. Gegen den Körper 2 gerichtet ergeben sich hierdurch Strahlenschnittlinien, die jeweils einen Konturteil 211 und 221 des Körpers 2 erfassen.

30 Das Anvisieren des Körpers 2 erfolgt von Hand aus, d.h. ohne bestimmte räumliche Orientierung, jedoch innerhalb eines bestimmten Messbereiches des Körpers 2, in welchem Messbereich der Körper 2 eine Form aufweist, die einer bekannten Gesetzmäßigkeit folgt.

35 Das Lichtschnittverfahren ermöglicht eine genaue Auswertung der erfassten, jedoch von der Zielkontur, d.h. der in der Vorzugsschnittfläche 20 liegenden Kontur, abweichenden Konturteile 211 und 221.

40 Als Strahlendetektor ist ein Bildaufnahmeelement, ausgebildet als Flächenkamera 118 mit ihrer optischen Achse 26, dargestellt. Die optische Sensorfläche 117 der Kamera 118 erfasst triangulativ die beleuchteten Konturteile 211, 221 über ein Objektiv 119. Durch die Analog-Digital-Umwandlungs-Einrichtung 120 werden digitale Bildpunkt-Daten erzeugt.

45 Eine Verarbeitungs- und Auswertevorrichtung 12 dient der mathematischen Verknüpfung der Daten der Konturteile 211, 221 mit gespeicherten Objekt-Formeigenschaften oder -Formdaten. Durch geeignete Algorithmen wird ein Konturteil 201 der Kontur 200, der in der Vorzugsschnittfläche 20 liegt, ermittelt und durch Vergleich mit gespeicherten Solldaten ausgewertet.

50 Mit Hilfe der Datenverarbeitungsvorrichtung 12 (mit einem Bildspeicher 121, einem Mikroprozessor 122, einem dynamischen Speicher 123 (RAM), einem statischen Speicher (ROM, CD ROM, PROM, ...) 124 für Bild-, Programm- und Arbeitsdaten und Ein- und mit Ausgabevorrichtungen) werden die erfassten und ermittelten Konturteile 211 und 221 ausgewertet und gespeichert und beispielsweise Abweichungen durch Informationen an einem Display 43, akustische 44 und optische 45 Signalisierungseinrichtungen ausgegeben. Hier ist als Betätigungseinrichtung 41 ein Taster zum Starten eines über einen Drehschalter 46 wählbaren Algorithmus gezeigt. So kann eine Vorzugskonturteilermittlung- und Auswertung, das Laden von Referenz- oder Programmdateien über eine Datenschnittstelle 42, Kalibrierung, Multikonturteilermittlung
55

(zum Aufsummieren von mehreren Einzelmessungen), Ausgabe von Daten über die Datenschnittstelle 42 oder die Referenzvorzugskonturerfassung gewählt werden.

In Fig. 2 ist eine parallele Anordnung der Strahlenflächen 115, 116 gezeigt.

5

Fig. 3 zeigt eine der Strahlenflächen 116 um einen Winkel φ gegen die optische Achse 26 geneigt, der sich vom Winkel φ' zwischen der Strahlenfläche 115 und der optischen Achse 26 unterscheidet. Fig. 4 zeigt zwei durch eine Strahlenteilvorrichtung 113 geteilte Strahlenflächen 115, 116, in welchem Fall nur eine einzige Strahlenquelle, d.h. Lichtquelle, vorgesehen ist. Fig. 5 zeigt eine Strahlenfläche 115 um einen Winkel α verkippt. Fig. 6 zeigt diesen Sachverhalt bei Betrachtung in Strahlrichtung. Gemäß Fig. 7 ist zusätzlich die Sensorebene 117 um den Winkel β gekippt.

10

Bezugszeichenliste

15

- 2 zu vermessender Körper (Messobjekt)
- 11 Vorrichtung
- 12 Datenverarbeitungsvorrichtung
- 20 Vorzugsschnittfläche
- 21 erste Schnittfläche
- 22 zweite Schnittfläche
- 23 Referenzkörper
- 26 optische Achse
- 31 Sensorflächenbild des erfassten ersten Konturteiles 211
- 25 32 Sensorflächenbild des erfassten zweiten Konturteiles 221
- 33 virtuelle Abbildung des Konturteiles der Vorzugsschnittfläche 20
- 34 virtuelle Abbildung des Bezugs-Koordinatensystems
- 41 Betätigungseinrichtung (Taster oder dergleichen)
- 42 Datenschnittstelle (vorzugsweise Infrarot)
- 30 43 Display
- 44 akustische Signalisierungseinrichtung
- 45 optische Signalisierungseinrichtung
- 46 Drehschalter
- 111 erste Strahlenquelle
- 35 112 zweite Strahlenquelle
- 113 Strahlteil-Vorrichtung
- 114 Strahlform-Einrichtung
- 115 erste Strahlenfläche
- 116 zweite Strahlenfläche
- 40 117 optische Sensorebene
- 118 Strahlendetektor, Flächenkamera
- 119 Objektiv
- 120 Analog-Digital-Umwandlungs-Einrichtung
- 121 Bildspeicher
- 45 122 Mikroprozessor
- 123 Dynamischer Speicher
- 124 Statischer Speicher
- 200 Kontur der Vorzugsschnittfläche
- 201 Konturteil der Vorzugsschnittfläche
- 50 210 Kontur der ersten Schnittfläche, Strahlenschnittlinie
- 211 Konturteil der ersten Schnittfläche
- 220 Kontur der zweiten Schnittfläche, Strahlenschnittlinie
- 221 Konturteil der zweiten Schnittfläche

55

Patentansprüche:

1. Verfahren zum berührungslosen Erfassen zumindest eines Teils einer in einer Vorzugsschnittfläche (20) liegenden Kontur (200, 201) eines Körpers (2, 23) innerhalb eines vorbestimmten Messbereiches des Körpers (2, 23), welcher Körper eine bekannte geometrische Gesetzmäßigkeit in einer Raumrichtung aufweist, die nicht in der Vorzugsschnittfläche liegt, vorzugsweise senkrecht zur Vorzugsschnittfläche gerichtet ist, insbesondere zum Erfassen eines Teils eines Querschnitts eines Körpers (2, 23), *gekennzeichnet durch* die Kombination folgender Merkmale:

 - Anvisieren des Körpers (2, 23) von Hand aus mit mindestens zwei von einer vom Körper ortsunabhängigen Strahlenquelle (111, 112) erzeugten Strahlenflächen (115, 116) unter Erzeugen jeweils einer Strahlenschnittlinie (210, 220) an der Oberfläche des Körpers (2, 23) in dem vorbestimmten Messbereich,
 - welche Strahlenflächen (115, 116) in bekannter Raumorientierung zueinander stehen,
 - Anvisieren der Strahlenschnittlinien (210, 220) mittels eines Strahlendetektors (118) von Hand aus, der zu den Strahlenflächen (115, 116) ebenfalls in einer bekannten Raumorientierung steht,
 - worauf die vom Strahlendetektor (118) erfassten Schnittliniendaten zur Errechnung der in der gewünschten Vorzugsschnittfläche (20) liegenden Kontur (200, 201) verwertet werden,
 - wobei die im Messbereich des Körpers (2, 23) auftretende Gesetzmäßigkeit seiner Oberfläche bei der Errechnung der in der gewünschten Vorzugsschnittfläche liegenden Kontur (200, 201) berücksichtigt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*, dass für die Errechnung der in der Vorzugsschnittfläche (20) liegenden Kontur (200, 201) ein Algorithmus zur Berechnung und Speicherung räumlicher Datenwerte (Datentripel, Punktvektoren im 3D-Raum) der Strahlenschnittlinien (210, 220) aus den Positionen von digitalisierten zweidimensionalen Abbildern der Konturteile auf einer Sensorfläche (117) des Strahlendetektors (118) mit $n \cdot m$ Pixel und den Konturpositionen $(u_{i1}, v_{i1}), (u_{i2}, v_{i2}), \dots$ mithilfe eines Mikroprozessors (122) und den trigonometrischen Lage- und Winkelbeziehungen zwischen der optischen Achse (26) des Strahlendetektors (118) und den von den Strahlenflächen gebildeten Schnittflächen (24, 25) eingesetzt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, *dadurch gekennzeichnet*, dass ein Algorithmus zur Korrektur verzerrt erfasster Strahlenschnittlinien (210, 220) unter Verwendung von Kalibrierdaten eingesetzt wird, wobei vorzugsweise zuvor über einen Kalibriervorgang mithilfe eines Referenzkörpers (23) Konturdaten erfasst und in einem Speichermedium (124) als Referenzdaten $(x_{i1ref}, y_{i1ref}, z_{i1ref}), (x_{i2ref}, y_{i2ref}, z_{i2ref}), \dots$ gespeichert werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, *dadurch gekennzeichnet*, dass ein Einpass-Algorithmus vorgesehen ist, der durch Vektorverschiebung der erfassten Konturteile (211, 221) und deren Rotation um zwei zueinander normale Rotationsachsen möglichst viele Konturpunkte mit möglichst vielen Punkten eines Gitterpunktmodells oder eines als Vektorgrafik in Vorzugslage (z.B. mit Vorzugsschnittfläche (20) gleich x-Ebene) vorliegenden Referenzkörpers (23) möglichst in Deckung bringt, dadurch die Lage der Konturteile zum Referenzkörper (23) berechnet und in Folge die wahrscheinliche Konturteilform in der Vorzugsschnittfläche (20) (z.B. Ebene $y=0$) aus der Änderung der erfassten Konturteile normal zur Vorzugsschnittfläche (20) linear oder durch Kurven höherer Ordnung annähert und die daraus ermittelten Schnittpunkte mit der Vorzugsschnittfläche (20) speichert oder ausgibt und/oder mit den Gitterpunktmodelldaten oder den Vektoren (z.B. für $y=0$) der Vorzugsschnittfläche (20) vergleicht und die Differenzen auswertet und speichert oder ausgibt.

5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 2 bis 4, *dadurch gekennzeichnet*, dass über eine optische Sensorfläche (117) die Bildpunkte einer Bildebene mit den Achsen

u und v aufgrund der Geometrie-Anordnung mindestens zweier Strahlen-Schnittflächen (21, 22) über gleich viele Matrizen ($\underline{M}_1, \underline{M}_2, \dots$) den Raumpunkten eines kartesischen Koordinaten-Systems (x, y, z) jeweils eindeutig zugeordnet werden und durch die Selektionen der Strahlenschnittlinien Körperkonturteile (211, 221) zugeordnet werden, sodass gilt:

$$S_1 \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \underline{M}_1 \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix}; \quad S_2 \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \underline{M}_2 \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix}; \dots$$

und aus den daraus errechneten Körperkonturteilen (211, 221) (x_{i1}, y_{i1}, z_{i1}); (x_{i2}, y_{i2}, z_{i2}) ... mit einer Anzahl von n Punkten über eine durch bekannte Objektformigenschaften und aus den errechneten Körperkonturteildaten bestimmte Transformationsfunktion der Vorzugsschnittflächenkonturteil (x'_i, y'_i, z'_i) (201)

$$S \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \underline{N} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

bestimmt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Strahlenflächen (115, 116) als Ebenen ausgebildet sind.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, *dadurch gekennzeichnet*, dass als Strahlenquelle (111, 112) eine Lichtquelle, insbesondere eine Laserlichtquelle, eingesetzt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Errechnung der in einer gewünschten Vorzugsschnittfläche (20) liegenden Kontur (200, 201) aufgrund der Schnittliniendaten mit Hilfe einer Triangulation durchgeführt wird.
9. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, *dadurch gekennzeichnet*, dass für das Erfassen einer Kontur (200), welche in Folge von Verdeckungen oder zu großem Umfangswinkel nicht von einer Position erfasst werden kann, der Körper (2, 23) innerhalb des Messbereiches von zwei oder mehr Stellen im Raum anvisiert wird, welche Stellen durch Translation und/oder Rotation der Strahlenquelle (111, 112) entlang bzw. um den Körper (2, 23) erreicht werden, und dass die vom Strahlendetektor (118) erfassten Schnittliniendaten unter Nutzung von Überlappungsbereichen an markanten Merkmalen der Strahlenschnittlinien (210, 220) zu einer Kontur rechnerisch mittels mathematischer Transformation zusammengefügt werden, wie durch eine Translation und/oder Rotation.

Hiezu 1 Blatt Zeichnungen

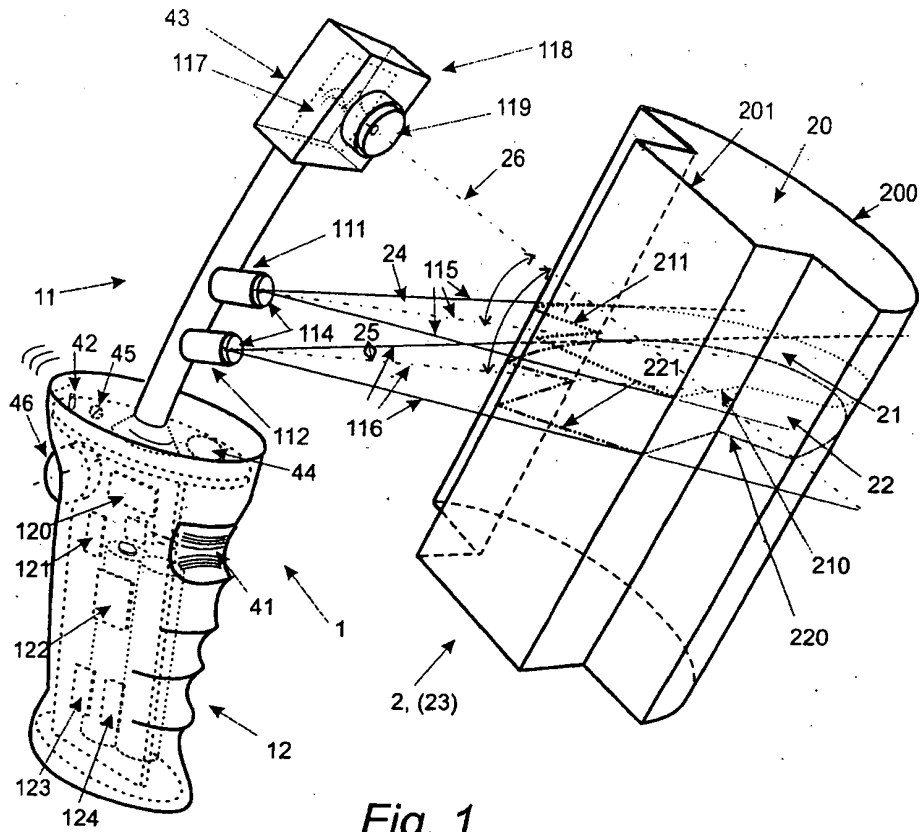


Fig. 1

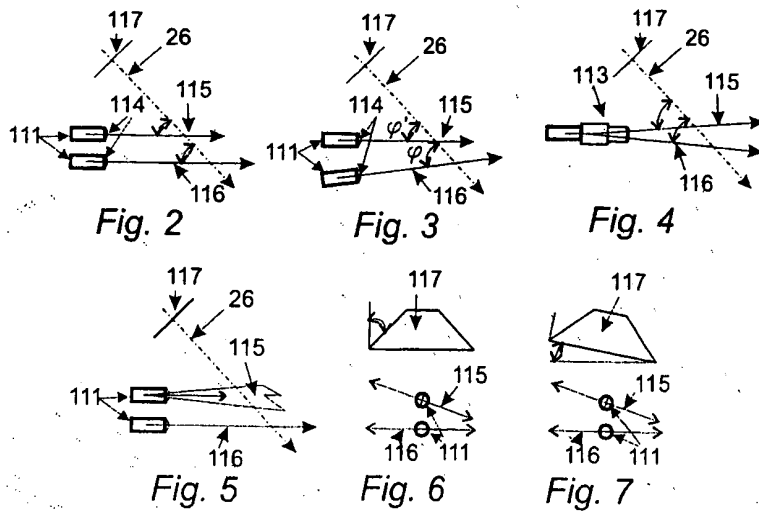


Fig. 2

Fig. 3

Fig. 4

Fig. 5

Fig. 6

Fig. 7