

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
22. August 2019 (22.08.2019)



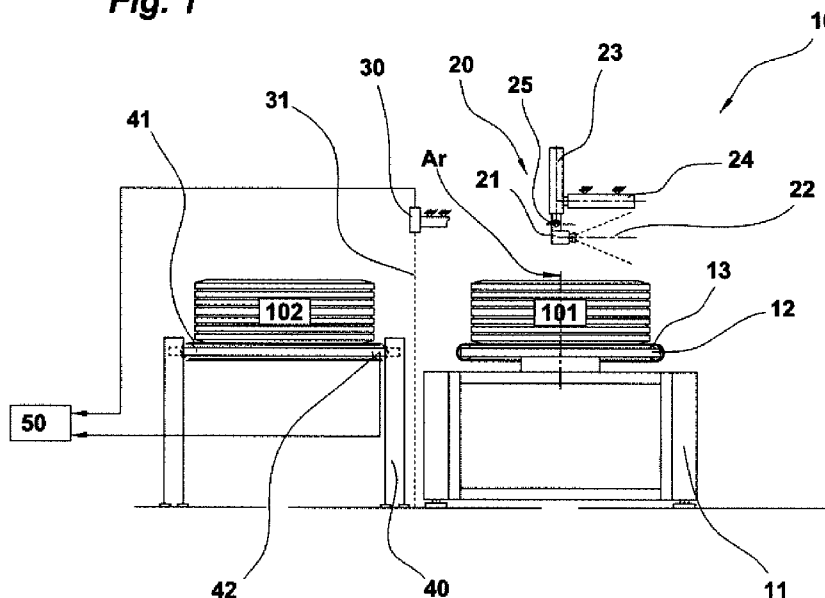
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/158440 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation: *G01B 11/16* (2006.01) *G01M 17/02* (2006.01)
G01B 11/24 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/053121
- (22) Internationales Anmeldedatum: 08. Februar 2019 (08.02.2019)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 10 2018 001 255.8
18. Februar 2018 (18.02.2018) DE
- (72) Erfinder; und
(71) Anmelder: MÄHNER, Bernward [DE/DE]; Mülleranger 3, 82284 Grafrath (DE).
- (74) Anwalt: FLÜGEL PREISSNER SCHOBER SEIDEL PATENTANWÄLTE PARTG MBB; Nymphenburger Str. 20, 80335 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR EXAMINING ROTATIONALLY SYMMETRIC TEST OBJECTS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR UNTERSUCHUNG VON ROTATIONSSYMMETRISCHEN PRÜFOBJEKTEN

Fig. 1



(57) Abstract: In a method for examining rotationally symmetric test objects (101, 102), the test object (101, 102) is exposed to different loads and the surface of the test object (101, 102) is examined in spatially offset portions by one or more measuring heads (20), each with a camera (21). Images of the surface of the test object (101, 102) are captured under different load states by an image sensor of the camera (21). The captured images are supplied to an image processing system for further processing. Result images representing the displacement or the tension/strain state of the test object (101, 102) are calculated from the images by the image processing system. At least one axial section of the test object (101, 102) is ascertained. The relevant position and alignment of the measuring head (20) relative to the ascertained axial section and the rotational position of the measuring head (20) in the circumferential direction relative



WO 2019/158440 A1

SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

to the test object (101, 102) is ascertained in each case for the examined portions of the object surface. From this, the spatial position of the section of the object surface, imaged in each case in the result images, is calculated relative to the test object (101, 102).

(57) Zusammenfassung: Bei einem Verfahren zur Untersuchung von rotationssymmetrischen Prüfobjekten (101, 102) wird das Prüfobjekt (101, 102) verschiedenen Belastungen ausgesetzt und die Oberfläche des Prüfobjektes (101, 102) in räumlich versetzten Abschnitten mit einem oder mehreren Messköpfen (20) mit jeweils einer Kamera (21) untersucht. Abbildungen von der Oberfläche des Prüfobjektes (101, 102) werden bei verschiedenen Belastungszuständen von einem Bildsensor der Kamera (21) erfasst. Die erfassten Abbildungen werden zur Weiterverarbeitung einem Bildverarbeitungssystem zugeführt. Aus den Abbildungen werden von dem Bildverarbeitungssystem die Verschiebung oder den Spannungs-/ Dehnungszustand des Prüfobjektes (101, 102) darstellende Ergebnisbilder berechnet. Wenigstens ein Axialschnitt wird von dem Prüfobjekt (101, 102) ermittelt. Für die untersuchten Abschnitte der Objekt Oberfläche werden jeweils die zutreffende Position und Ausrichtung des Messkopfes (20) relativ zu dem ermittelten Axialschnitt und die Drehstellung des Messkopfes (20) in Umfangsrichtung relativ zum Prüfobjekt (101, 102) ermittelt. Daraus wird die räumliche Position des in den Ergebnisbildern jeweils abgebildeten Abschnitts von der Objekt Oberfläche relativ zum Prüfobjekt (101, 102) berechnet.

Verfahren und Vorrichtung zur Untersuchung von rotationssymmetrischen Prüfobjekten

Es ist bekannt, dass zur flächenhaften Bestimmung von Verschiebungen oder Dehnungen eines Prüfobjektes mit diffus streuender Oberfläche interferometrische Messverfahren, wie das ESPI- (Electronic Speckle Pattern Interferometry) oder das Shearing Verfahren zum Einsatz kommen. Welches Verfahren für ein gegebenes Prüfobjekt angewendet werden kann, hängt von der zu messenden Größe und dem erforderlichen Messbereich ab. Ein weiterer Aspekt bei der Auswahl des Messverfahrens sind aber auch die Kosten für das Messsystem. Hier hat beispielsweise das Shearing Verfahren gegenüber anderen interferometrischen Messverfahren klare Vorteile, da es wegen der kurzen erforderlichen Kohärenzlänge mit einfachen Laserdioden auskommt. Ferner ist es, wie beispielsweise die Patentschrift DE 198 59 725 C2 lehrt, auch mit mehreren Laserdioden funktionsfähig, so dass mit wenig Aufwand die Beleuchtung an das zu prüfende Objekt angepasst werden kann. Eine weitere apparative Vereinfachung gegenüber dem Shearing Verfahren stellt das in der Patentschrift US 6,934,018 B2 offenbarte differenzinterferometrische Verfahren dar, da auf der Kameraseite das Interferometer entfällt.

Bei den genannten interferometrischen Prüfverfahren werden bei statischer Prüfung üblicherweise zwei Zustände des Prüfobjektes verglichen, indem das Objekt in zwei unterschiedlichen Belastungszuständen aufgenommen wird und die Interferogramme der beiden Zustände subtrahiert werden. Hierdurch ergibt sich ein Differenzinterferogramm, welches die Verschiebung oder die Dehnung des Objektes zwischen den beiden Zuständen in Form von Interferenzlinien darstellt. Wird der Messkopf mit einer Phasenschiebeeinheit ausgerüstet, so kann eine erweiterte Auswertung nach dem Prinzip des Phasenshiftverfahrens durchgeführt werden (W.Osten, „Digitale Verarbeitung und Auswertung von Interferenzbildern“, Kap. 6,

Akademie Verlag ISBN 3-05-501294-1). Hierbei werden Phasenbilder erzeugt, welche jedem Bildpunkt einen bestimmten Phasenwinkel zuordnen. Das Phasenshiftverfahren bietet den Vorteil eines normierten Ergebnisbildes, dessen Grauwerte im gesamten Bild proportional zum ermittelten Phasenwinkel sind. Die Lesbarkeit solcher Ergebnisbilder ist gegenüber einfachen Interferenzlinienbildern klar verbessert.

Bei der Differometrie werden lediglich Specklemuster von verschiedenen Belastungszuständen subtrahiert. Es kann nur zwischen solchen Punkten unterschieden werden, bei denen die Verformung Null ist, und solchen, bei denen die Verformung ungleich Null ist. Eine quantitative Auswertung ist nicht möglich. Ebenso ist aufgrund des fehlenden Interferometers kein Phasenshiftverfahren durchführbar.

Je nach Form und Größe des Prüfobjektes muss die interferometrische Messung häufig nacheinander oder gleichzeitig in mehreren Abschnitten erfolgen. Eine typische Anwendung dieser Art ist beispielsweise die interferometrische Prüfung von Reifen. So beschreibt die Patentschrift DE 42 31 578 C2 ein Verfahren zur Ermittlung von Verformungen an Prüfobjekten, wobei das Ausführungsbeispiel zeigt, dass insbesondere an die sektorweise Prüfung von Reifen gedacht wurde. Die Patentschrift US 5 786 533 schlägt ein Verfahren zum gezielten Lokalisieren von Defekten in Reifen insbesondere im Gürtelbereich vor. Auch hier lässt die gezeigte Anordnung von Messkopf und Prüfobjekt eine Auswertung des gesamten Gürtelbereiches nur dann zu, falls in mehreren Sektoren geprüft wird.

Die Positionierung des Messkopfes relativ zum Prüfobjekt kann durch geometrische Vermessung des Prüfobjektes und anschließende Berechnung einer geeigneten Position für den Messkopf erfolgen. Dies ist beispielsweise in der Patentschrift DE 103 33 802 B4 beschrieben.

Üblicherweise werden bei abschnittsweise prüfenden Messsystemen die Ergebnisbilder von den einzelnen Abschnitten einzeln oder nebeneinander angeordnet auf einem Sichtsystem angezeigt.

Die Offenlegungsschrift EP 1 284 409 A1 zeigt davon ausgehend ein Verfahren zur Transformation der Ergebnisbilder bzw. der darin abgebildeten Abschnitte des

Prüfobjektes in ein gemeinsames Objektkoordinatensystem. Hierzu wird parallel zur Erfassung der Oberflächenverformung die Objektoberfläche auch flächenhaft topometrisch vermessen und den die Objektverformung darstellenden Ergebnisbildern bildpunktweise die zutreffenden Raumkoordinaten zugewiesen. Dieses Verfahren verwendet ein flächenhaft arbeitendes Konturerfassungssystem, das auch integraler Bestandteil des Messkopfes sein kann.

In der Praxis hat es sich allerdings gezeigt, dass der apparative Aufwand zur flächenhaften topometrischen Erfassung der Objektoberfläche nach obenstehendem Verfahren, insbesondere bei Verwendung von mehreren Prüfköpfen, erhebliche Kosten verursacht und darüber hinaus die zur Konturerfassung erforderliche zusätzliche Rechenzeit im industriellen Einsatz nicht immer akzeptabel ist.

Aufgabe des neuen Verfahrens und der neuen Vorrichtung ist es daher, eine kostengünstige Alternative aufzuzeigen, und zwar für die Anwendungsfälle, bei denen das Prüfobjekt aus einem zumindest näherungsweise rotationssymmetrischen Körper, so zum Beispiel einem Fahrzeug- oder Flugzeugreifen, besteht.

Diese Aufgabe wird durch das in Patentanspruch 1 angegebene Verfahren und die in Patentanspruch 20 angegebene Vorrichtung gelöst.

Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den jeweiligen Unteransprüchen angegeben.

Erfindungsgemäß wird das rotationssymmetrische Prüfobjekt, das insbesondere ein Fahrzeug- oder Flugzeugreifen sein kann, zur Prüfung verschiedenen Belastungen ausgesetzt. Diese Belastung kann beispielsweise durch Anheben und Absenken des Umgebungsdruckes erzeugt werden. Zur Untersuchung des Prüfobjektes über seinen gesamten Umfang wird die Objektoberfläche in räumlich versetzten Abschnitten mit ein oder mehreren Messköpfen mit jeweils einer Kamera mit Bildsensor untersucht. Die Messköpfe können insbesondere interferometrische Messköpfe sein. Der Bildsensor besteht beispielsweise aus einem CCD oder einem CMOS Flächensensor. Der räumliche Versatz kann dabei beispielsweise durch Drehen des Prüfobjektes um seine Rotationsachse relativ zum Messkopf bzw. den Messköpfen erzeugt werden.

Zur flächigen Erfassung der durch die verschiedenen Belastungen hervorgerufenen Verschiebungen oder Dehnungen der Objektoberfläche werden Abbildungen vom Prüfobjekt von dem Bildsensor erfasst und diese zur Weiterverarbeitung einem Bildverarbeitungssystem zugeführt. Hierdurch ist beispielsweise die Anwendung eines Phasenshiftverfahrens möglich.

Aus den erzeugten Abbildungen werden vom Bildverarbeitungssystem die Verschiebung oder den Spannungs-/ Dehnungszustand des Prüfobjektes darstellende Ergebnisbilder berechnet. Die Ergebnisbilder können beispielsweise mittels eines Phasenshiftverfahrens erzeugte Phasendifferenzbilder sein. Erfindungsgemäß wird die räumliche Position der einzelnen untersuchten Abschnitte zueinander ermittelt. Hierzu wird wenigstens ein Axialschnitt von dem Prüfobjekt ermittelt. Der Axialschnitt – im Sinne der Erfindung -besteht aus Schnitt- bzw. Stützpunkten von der Oberfläche des Prüfobjekts mit einer Schnittebene, in der die Rotationsachse des Prüfobjekts liegt. Der Axialschnitt kann neben gemessenen Stützpunkten auch berechnete Stützpunkte enthalten oder Stützpunkte mit Koordinaten deren Komponenten zu einem Teil gemessen zum anderen Teil berechnet sind. Der Axialschnitt kann nur wenige einzelne gemessene Stützpunkte enthalten. Die Messpunkte können auch aus verschiedenen Axialschnitten stammen, deren Schnittebenen gegeneinander gedreht sind. Die Stützpunkte können beispielsweise zu Darstellungszwecken zu einer Konturlinie verbunden werden.

Der Axialschnitt kann mit Vorteil von der Außenseite des Prüfobjektes ermittelt werden und/oder von der Innenseite des Prüfobjektes. Die Vermessung von Außen- und Innenseite ist insbesondere dann von Vorteil, falls das Prüfobjekt im Verhältnis zu seiner Größe über erhebliche Wandstärken oder erhebliche Schwankungen in der Wandstärke verfügt. Besitzt das Prüfobjekt neben der Rotationssymmetrie weitere Symmetrieeigenschaften, so z.B. eine Spiegelsymmetrie im Axialschnitt, so genügt es, eine Hälfte des Axialschnitts messtechnisch zu erfassen und die andere Hälfte durch Spiegelung an der Symmetrieachse zu berechnen.

Der ermittelte Axialschnitt wird erfindungsgemäß dazu verwendet, um für die untersuchten Abschnitte der Objektoberfläche jeweils die zutreffende Position und

Ausrichtung des Messkopfes relativ zu dem Axialschnitt zu ermitteln. Die Ausrichtung ist dabei die Lage der optischen Achse der Kamera des Messkopfes zum Axialschnitt. Hierzu notwendige Berechnungen werden mit Vorteil in der Schnittebene des Axialschnittes durchgeführt. Ferner wird die Drehstellung des Messkopfes in Umfangsrichtung des Prüfobjekts relativ zum Prüfobjekt ermittelt. In einem weiteren Verfahrensschritt wird daraus die räumliche Position und Ausrichtung des Messkopfes zum Prüfobjekt für jeden geprüften Abschnitt ermittelt.

Aus den ermittelten Positionen und Drehstellungen werden erfindungsgemäß die räumlichen Positionen der in den Ergebnisbildern jeweils abgebildeten Abschnitte von der Objektoberfläche relativ zum Prüfobjekt berechnet.

Aufgrund der Ermittlung der Position und der Ausrichtung des Messkopfes relativ zum Axialschnitt erhält man rechnerisch zumindest näherungsweise die tatsächliche Position des Messkopfes relativ zum Prüfobjekt für jeden geprüften Abschnitt. Es entfällt damit der Aufwand, jeden erfassten Abschnitt des Prüfobjekts auch topometrisch zu vermessen. Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung werden darüber hinaus für die in den Ergebnisbildern abgebildeten Punkte von der Oberfläche des Prüfobjektes die Raumkoordinaten berechnet und den entsprechenden Bildpunkten zugeordnet. Die Berechnung der Raumkoordinaten erfolgt mit Vorteil unter Annahme der Rotationssymmetrie des Prüfobjektes. Dadurch kann eine Projektion eines durch den Axialschnitt festgelegten Rotationskörpers auf die Bildebene für jede Abbildung des Prüfobjektes berechnet werden, woraus wiederum die Raumkoordinaten der abgebildeten Punkte von der Oberfläche des Prüfobjektes berechenbar sind. Mit Vorteil wird der Rotationskörper aus ausgewählten Stützpunkten eines Axialschnitts berechnet, um die Berechnung zu vereinfachen. Es entfällt damit der Aufwand, für jeden erfassten Bildpunkt des Prüfobjektes auch dessen Raumkoordinaten messtechnisch zu erfassen. Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung werden die das Prüfobjekt abbildenden Bildpunkte in ein gemeinsames Objektkoordinatensystem übertragen. Die Berechnung der Raumkoordinaten von abgebildeten Objektpunkten erfordert eine Kalibrierung des Strahlengangs der Kamera. Ist dabei eine Korrektur der optischen Verzerrung innerhalb eines abgebildeten Abschnitts nicht erforderlich, so genügt es, die Öffnungswinkel der abbildenden Optik in horizontaler und vertikaler Bildrichtung zu ermitteln.

Durch diese Kalibrierung ist in Kombination mit den vorgenannten Verfahrensschritten die räumliche Position eines abgebildeten Punktes von der Oberfläche des Prüfobjektes anhand seiner Bildkoordinaten berechenbar, d.h. seiner Position in der Abbildungsebene. Bei der digitalen Bildverarbeitung mit diskreten Bildpunkten bestehen die Bildkoordinaten üblicherweise aus Nummer der Bildzeile und Nummer der Bildspalte.

Wesentlicher Aspekt der obenstehend beschriebenen patentgemäßen Verfahrensschritte ist es, die messtechnische Erfassung der Raumkoordinaten der in den einzelnen Ergebnisbildern abgebildeten Oberflächenpunkte zu vermeiden, in dem die Messung durch eine Berechnung ersetzt wird.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung werden die Sektorengrenzen in den Ergebnisbildern ermittelt und außerhalb der Sektoren liegende Bildpunkte eliminiert, d.h. nicht weiterverwendet. Als Sektorengrenzen sind insbesondere Isoklinen geeignet. Hierdurch werden einander überlagernde Bildpunkte verhindert. Vorteilhafterweise entspricht die Lage der Sektorengrenzen der Anzahl der Prüfsektoren, die zur lückenlosen Abtastung des Prüfobjektes in Umfangsrichtung erforderlich ist bzw. zur Erstellung der Ergebnisbilder verwendet worden ist.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung werden die Grenzlinien der Objekt-oberfläche in den einzelnen Ergebnisbildern ermittelt und außerhalb der Grenzlinien liegende Bildpunkte eliminiert. Als Grenzlinien kommen hier vor allem Sichtgrenzen in Betracht. Hierdurch können außerhalb des Objektes liegende Bildpunkte oder nicht interessierende Bereiche des Objektes ausgeblendet werden.

Mit Vorteil werden anschließend die berechneten Grenzlinien in ein gemeinsames Koordinatensystem übertragen. Entsprechen die Positionen der Sektorengrenzen der Anzahl der Prüfsektoren, dann stoßen die Sektorengrenzen von in Umfangsrichtung aufeinanderfolgenden Ergebnisbildern aneinander an und die innerhalb der jeweiligen Sektorengrenzen liegenden Bilddaten können direkt aneinander angehängt werden. Zur Übertragung der Bildpunkte in ein gemeinsames Koordinatensystem, das beispielsweise ein Polarkoordinatensystem sein kann, werden die jeweils in einem Ergebnisbild innerhalb der Grenzlinien liegenden Bildpunkte durch eine Interpolation in das gemeinsame Koordinatensystem übertragen. Diese

Interpolation kann auch allein anhand der Bildkoordinaten sowohl der verwendeten Grenzlinien als auch der zu übertragenden Bildpunkte erfolgen. Bei dieser Vorgehensweise erfolgt die Interpolation in der Bildebene, wobei die Krümmung des Objektes orthogonal zur Bildebene vernachlässigt wird. Es hat sich allerdings in der Praxis gezeigt, dass diese Vereinfachung bei der Darstellung von Prüfergebnissen noch ausreichend genau ist. Wesentlicher Vorteil der Interpolation in der Bildebene unter Verwendung von Grenzlinien ist es, dass zur Berechnung der Grenzlinien nur jeweils ein Stützpunkt in dem Axialschnitt vorhanden sein muss.

Sind die Bildpunkte von verschiedenen Abschnitten bzw. Ergebnisbildern des Prüfobjektes in ein gemeinsames Koordinatensystem übertragen worden, so werden diese mit Vorteil in einer Gesamtansicht dargestellt. Bei dieser Gesamtansicht handelt es sich mit Vorteil um eine Rastergrafik, das heißt ein digitales Bild mit einer Vielzahl von diskreten Bildpunkten. Die Gesamtansicht kann gemäß einem Aspekt der Erfindung eine rechnerische Abwicklung der Objektoberfläche sein. Die Abwicklung kann – wie beispielsweise die Abwicklung der Oberfläche eines Reifens – verzerrt sein. Die Lesbarkeit ist für den Betrachter gegenüber der üblichen Einzelbilddarstellung dennoch deutlich verbessert. Mit Vorteil kann auch ein dreidimensionales Modell des Prüfobjektes berechnet und angezeigt werden, auf dessen Oberfläche die Bildpunkte der Ergebnisbilder anhand ihrer berechneten Raumkoordinaten positioniert und dargestellt werden.

Bei der Übertragung der Bildpunkte in ein gemeinsames Koordinatensystem können beim anschließenden Erstellen einer Rastergrafik Fehlstellen bzw. Lücken entstehen. Diese werden mit Vorteil durch eine Interpolation aus den Werten der umliegenden Oberflächenpunkte geschlossen.

Mit Vorteil wird die automatische, rechnergestützte Identifizierung von Merkmalen insbesondere Defekten des Prüfobjektes in der Gesamtansicht durchgeführt. Hierdurch ist die Berechnung der korrekten Größe von Merkmalen insbesondere in Umfangsrichtung des Prüfobjektes mit großer Genauigkeit möglich.

Der ermittelte Axialschnitt wird gemäß einem Aspekt der Erfindung ferner zur Berechnung der Messkopfpositionen bei der Durchführung der Prüfung herangezogen. Ferner wird er mit Vorteil zur Berechnung der erforderlichen Anzahl von Sek-

toren herangezogen, die zur lückenlosen Prüfung des Objektes in Umfangsrichtung erforderlich ist.

Im Folgenden wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand von Zeichnungen erläutert:

In den Zeichnungen zeigen:

- Fig. 1: ein Prüfsystem zur abschnittswisen, interferometrischen Prüfung von Reifen
- Fig. 2a bis 2c: die Förderung eines Reifens in das Prüfsystem mit gleichzeitiger Erfassung eines Axialschnittes
- Fig. 3: die Darstellung eines Axialschnittes mittels des in den Figuren 2a bis 2c dargestellten Verfahrens
- Fig. 4: ein Prüfsystem mit einem zusätzlichen Abstandssensor zur Erfassung eines Axialschnittes
- Fig. 5: die Darstellung eines Axialschnittes mittels des in Figur 4 dargestellten Verfahrens
- Fig. 6: die Darstellung eines resultierenden Axialschnittes als Kombination der Axialschnitte der Figuren 3 und 5
- Fig. 7a: die Positionierung und Ausrichtung des Messkopfes zu einem Reifen zur Prüfung von dessen Lauffläche von der Innenseite
- Fig. 7b: die Darstellung der berechneten Lage der Reifenbereiche bei Ausrichtung des Messkopfes auf die Innenseite des Reifens

- Fig. 8a: die Positionierung und Ausrichtung des Messkopfes zu einem Reifen zur Prüfung von dessen Seitenwand von der Außenseite
- Fig. 8b: die Darstellung der berechneten Lage der Reifenbereiche bei Ausrichtung des Messkopfes auf die Außenseite des Reifens
- Fig. 9: die Darstellung aller Einzelsektorbilder bei gesamtumfänglicher Prüfung des Reifens mit den Positionierungen und Ausrichtungen des Messkopfes aus Figur 7b und 8b
- Fig. 10: Die Gesamtansicht aller Einzelsektoren aus Figur 9 nach Transformation der Sektorengrenzen und Grenzlinien in ein gemeinsames Objektkoordinatensystem
- Fig. 11a bis 11c: Die Darstellung aller Einzelsektoren einer realen Messung an einem LKW-Reifen.
- Fig. 12: Die Gesamtansicht aller Einzelsektoren aus den Figur 11a bis 11c nach Transformation der Bilddaten in ein gemeinsames Objektkoordinatensystem

Die Figur 1 zeigt ein Prüfsystem, das der erfindungsgemäßen Vorrichtung entspricht und zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet ist. Ein System zum Prüfen von Reifen 10 weist einen Messkopf 20 mit einer Kamera 21 zur Aufnahme von Bildern auf. Der Messkopf 20 kann über eine Positioniervorrichtung 24 und 23 horizontal und vertikal relativ zum Prüfobjekt 101 verfahren werden. Die horizontale Positioniervorrichtung 24 ist ortsfest mit dem Untergestell 11 verbunden, so dass der Messkopf 20 relativ zum Prüfobjekt horizontal und vertikal verfahrbar ist. Ferner kann über eine Schwenkachse 25 die Neigung der optischen Achse 22 der Kamera 21 gegenüber dem Prüfobjekt 101 verändert werden. Das Prüfsystem verfügt ferner über einen Drehteller 12 zum Drehen des Reifens 101

relativ zum Messkopf 20. Hierdurch wird ein Prüfen des Reifens 101 über seinen gesamten Umfang ermöglicht.

Der Drehteller 12 weist ein Förderband 13 auf, welches das Ein- und Ausfördern der zu prüfenden Reifen (101, 102) ermöglicht. Ein Abstandssensor 30 mit einem senkrecht nach unten gerichteten Laserstrahl 31 erlaubt die Messung des Abstandes vom Sensor 30 zum Auftreffpunkt des Laserstrahls 31 auf einer Oberfläche, insbesondere der Oberfläche der zu prüfenden Reifen. Der Sensor 30 ist fest mit dem Untergestell 11 verbunden. Der Sensor 30 ist mittig zur Breite des Förderbandes 13 ausgerichtet, so dass beim Fördern eines Reifens der Laserstrahl wenigstens näherungsweise in einer aus Rotationsachse des Reifens und Förderrichtung aufgespannten Ebene liegt. Zur Förderung von Reifen in das Prüfsystem 10 ist diesem ein Fördermodul 40 vorgeschaltet. Das Fördermodul 40 besitzt ein motorisch angetriebenes Förderband 41, das zur Messung des vom Reifen auf dem Fördermodul zurückgelegten Weges einen inkrementalen Schrittgeber (Encoder) 42 aufweist, der Bestandteil des Antriebs des Förderbandes 41 sein kann. Zur simultanen Erfassung des momentan zurückgelegten Weges in Förderrichtung sowie des momentanen, vom Sensor 30 erfassten Abstandswertes sind der Schrittgeber 42 und der Sensor 30 mit einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) 50 verbunden. Mittels Encoder 42, Sensor 30 und SPS 50 kann beim Einfördern eines Reifens vom Fördermodul 40 auf den Drehteller 12 ein Axialschnitt von der obenliegenden Seitenwand des Reifens gemessen werden.

Dieser Vorgang ist in den Figuren 2a bis 2c gezeigt. Der Reifen 102 wird vom Fördermodul 40 mittels des Förderbandes 41 in Richtung des Förderbandes 13 auf dem Drehteller 12 bewegt. Dabei fährt der Reifen 102 unter dem Abstandssensor 30 durch, so dass der Sensor 30 die obere Seitenwand 113 und den oberen Wulst 114 des Reifens 102 abtastet. Der Encoder 42 liefert die zur zurückgelegten Wegstrecke des Reifens 102 proportionale Anzahl von Impulsen. Diese werden von der speicherprogrammierbaren Steuerung 50 gezählt und simultan zu jedem Impuls der momentane Messwert des Sensors 30 erfasst. Das Förderband 13 auf dem Drehteller 12, das mit gleicher Geschwindigkeit wie das Förderband 41 läuft, übernimmt den Reifen 102 vom Förderband 41 (Fig. 2b). Der Fördervorgang wird beendet sobald der Reifen 102 zentrisch auf dem Drehteller 12 zu liegen kommt

(Fig. 2c). Zu diesem Zeitpunkt wird auch die Messwerterfassung zur Ermittlung des Axialschnittes durch die SPS 50 abgeschlossen.

Das Ergebnis der Messung des Axialschnittes ist exemplarisch in der Figur 3 dargestellt. Aus dem Messergebnis ergeben sich unmittelbar die Werte für den äußeren Durchmesser D_a , den inneren Durchmesser D_i des Reifens 102 sowie dessen Gesamtbreite B_{max} . Der innere Durchmesser D_i entspricht dem Felgenlochdurchmesser des Reifens. Unter Annahme einer Spiegelsymmetrie um die Reifenmittebene RME, deren Lage sich unmittelbar aus der Gesamtbreite B_{max} berechnen lässt, ergeben sich ferner der Schulterabstand B_s und der äußere Wulstabstand B_w . Zur Berechnung von Sichtgrenzen können insbesondere die Punkte P_a und P_i herangezogen werden.

Obwohl sich die Berechnung unter der Annahme einer Spiegelsymmetrie des Reifens in der Praxis bewährt hat, können für Sonderbauformen von Reifen oder andere Prüfbjekte ein weiterer Abstandssensor unterhalb des Förderniveaus und mit nach oben gerichtetem Strahl sowie gegebenenfalls weitere Sensoren eingesetzt werden. Es ist auch möglich, den Laserstrahl 31 des Sensors 30 in der durch Rotationsachse R_a und der Förderrichtung aufgespannten Ebene zu drehen. Hierdurch kann mit Vorteil zusätzlich die Innenseite der untenliegenden Seitenwand wenigstens teilweise erfasst werden.

Die Figur 4 zeigt einen Abstandssensor 32, der unterhalb des Messkopfes 20 montiert ist und beim Hineinfahren des Messkopfes 20 in den Reifen 102 durch das Felgenloch einen Axialschnitt des Reifens erfasst. Dabei tastet der Laserstrahl 33 des Sensors 32 zunächst die obere Seitenwand 113 des Reifens 102 ab, dann die Innenseite des Wulstes 114 und zuletzt den Laufstreifen des Reifens von der Innenseite.

Die Figur 5 zeigt grafisch den mittels des in Figur 4 gezeigten Sensors 32 erfassten Axialschnitt. Die durchgezogene Linie ist dabei die tatsächlich messtechnisch erfasste Konturlinie, wohingegen die gestrichelten Anteile der Konturlinie durch Spiegelung an der Reifenmittebene RME und der Rotationsachse A_r berechnet werden. Durch diesen Axialschnitt können zusätzlich zu dem in Figur 3 gezeigten

Axialschnitt die Werte für den inneren Wulstabstand B_{wi} und den Außendurchmesser D_{ai} an der Innenseite des Reifens bestimmt werden.

Die Figur 6 zeigt die Kombination der Axialschnitte aus der Figur 3 und der Figur 5. Gegenüber der Figur 3 wurde die unterhalb der Reifenmittenebene liegende Hälfte des Axialschnittes von der Außenseite des Reifens durch rechnerische Spiegelung der oberen Hälfte des äußeren Axialschnittes an der Reifenmittenebene erzeugt. Der aus der Kombination der Axialschnitte resultierende Axialschnitt ergibt ein genaueres Modell des Prüfobjektes. Hierdurch kann die Berechnung der Raumkoordinaten von abgebildeten Punkten der Oberfläche des Prüfobjekts mit größerer Genauigkeit durchgeführt werden.

In der Figur 7a ist die Positionierung und Ausrichtung der Kamera 21 zur Prüfung der Lauffläche des Reifens 102 von der Innenseite gezeigt. Diese Prüfanordnung wird in der Praxis häufig verwendet.

Unter der erfindungsgemäßen Ermittlung der Position und Ausrichtung des Messkopfes relativ zu dem Axialschnitt von dem Prüfobjekt und Ausnutzung der Rotationssymmetrie des Prüfobjektes wird die Position des Prüfobjekts im Sichtfeld der Kamera berechnet. Das Ergebnis ist für die Positionierung und Ausrichtung der Kamera aus der Figur 7a in der Figur 7b grafisch dargestellt. Das Sichtfeld der Kamera ist begrenzt durch die Grenzlinie 130. Die Teilbereiche obenliegende Schulter 110, Laufstreifen 111 und untenliegende Schulter 112 sind mit ihren Grenzlinien innerhalb des Sichtfensters dargestellt. Die Grenzlinien werden durch rechnerische Projektion des durch den Axialschnitt festgelegten Rotationskörpers in die Bildebene berechnet. Ferner ist die linke Sektorengrenze 120 und die rechte Sektorengrenze 121 eingezeichnet. Die Position der Sektorgrenzen (120, 121) ergibt sich aus der Breite des Kamerasichtfensters, der Position und Ausrichtung der Kamera relativ zum Axialschnitt sowie der Anzahl der Prüfsektoren. Die berechneten Sektorgrenzen (120, 121) dienen insbesondere zur Elimination von Überlappungsbereichen in der Gesamtdarstellung.

Die Figur 8a zeigt die Verhältnisse bei senkrechtem Blick der Kamera auf die Außenseite der Reifenseitenwand. Dies ist ebenfalls eine typische Anordnung zur Prüfung von Reifen. Bei dieser Positionierung und Ausrichtung der Kamera wer-

den die Seitenwand 113 und der Wulst 114 des Reifens von der Außenseite geprüft.

Die Figur 8b zeigt die daraus berechnete Lage des Reifens 102 im Sichtfeld der Kamera. Das Sichtfeld ist begrenzt durch die Linie 130. Die Seitenwand des Reifens teilt sich auf in den Seitenwandbereich 113 (außerhalb der Felge) und dem Wulstbereich 114. Die Grenzlinien in radialer Richtung sind die äußere Grenzlinie 122 und die innere Grenzlinie 123. Die äußere Grenzlinie 122 kann erzeugt werden durch Rotation des Punktes P_a um die Rotationsachse A_r und die innere Grenzlinie 123 durch Rotation des Punktes P_i um die Rotationsachse A_r (Figur 3 und Figur 8a). Die berechneten Grenzlinien des Sektors in Umfangsrichtung sind wiederum die Linie 120 für die linke Sektorgrenze und die Linie 121 für die rechte Sektorgrenze. In der Praxis hat es sich gezeigt, dass durch exzentrische Lagerung des Reifens auf dem Drehteller des Prüfsystems aufgrund von Positionierfehlern der berechnete Seitenwandabschnitt vertikal zur tatsächlichen Abbildung des Prüfobjektes versetzt sein kann. Mit Vorteil wird über geeignete Bildverarbeitungsfunktionen der Versatz sektorweise ermittelt und eliminiert.

Die Figur 9 zeigt eine schematische Einzelbilddarstellung aller Sektoren einer Reifenprüfung in drei Durchgängen. Dabei zeigen die obersten 2 Reihen die 8 Ergebnisbilder von der 1. Seitenwand des Reifens gemäß einer Anordnung nach Figur 8a, die mittleren beiden Reihen die 8 Ergebnisbilder von der Innenseite des Laufstreifens gemäß einer Anordnung nach Figur 7a und die unteren beiden Reihen die 8 Ergebnisbilder von der 2. Seitenwand des Reifens gemäß einer Anordnung nach Figur 8a. Zur Prüfung der 2. Seitenwand muss der Reifen gewendet werden, so dass die untere Seitenwand des Reifens für die Prüfung zugänglich ist. Ferner kann in der Praxis je nach Reifengeometrie eine unterschiedliche Sektorenzahl erforderlich sein, um die Seitenwand des Reifens und die Lauffläche des Reifens lückenlos zu prüfen.

Die Figur 10 zeigt die nach dem neuen Verfahren aus denen in Figur 9 gezeigten Einzelbildern berechnete Gesamtansicht. Alle in den Einzelbildern gezeigten Reifenbereiche innerhalb der Sektorengrenzen finden sich in einer lagerichtigen Position zueinander wieder. Außerhalb der Sektoren- und der Reifenbereiche

liegende Bildpunkte sind eliminiert, so dass sich eine übersichtliche Darstellung der gesamten Reifenoberfläche ergibt. Bei dieser Darstellung fallen die rechten Sektorengrenzen (121/1 ... 121/8) jeweils mit der linken Sektorgrenze (120/1 ... 120/8) des in Umfangsrichtung des Reifens nachfolgenden Sektors zusammen. Für die Anwendung von Filterfunktionen oder die Berechnung von Fehlstellen wird mit Vorteil die Sektorgrenze 121/8 mit der Sektorgrenze 120/1 verbunden. In der digitalen Bildverarbeitung kann dies über einen Ringpuffer realisiert werden.

Die Figur 11a bis 11c zeigen die Zusammenstellung aller Ergebnisbilder einer Wulst zu Wulst Prüfung an einem LKW-Reifen. Die Ergebnisbilder von der Außenseite der ersten Seitenwand sind in Figur 11a gezeigt. Die Ergebnisbilder von der Innenseite des Laufstreifens sind in Figur 11b dargestellt. Die Ergebnisbilder von der Außenseite der zweiten Seitenwand sind in der Figur 11c dargestellt. Die Bilder des Laufstreifens in Figur 11b zeigen Gürtelkanten-lösungen in der oberen und unteren Reifenschulter, die sich über mehrere Sektoren erstrecken.

In der Figur 12 sind die Bildpunkte vom Prüfobjekt aller Ergebnisbilder der Figuren 11a bis 11c nach einem patentgemäßen Verfahren in eine Darstellung übertragen. Dabei sind Überlappungsbereiche und Bereiche, die außerhalb des Reifens liegen, vollständig eliminiert. Dies ist insbesondere in den Seitenwandbereichen 113, 115 und den Wulstbereichen 114, 116 ersichtlich. Die Gürtelkantenlösungen in den Schulterbereichen 110 und 112 sind sektorübergreifend zusammengefügt und so in ihrer wahren Ausdehnung in Umfangsrichtung erkennbar. Gut erkennbar ist nun auch die stellenweise Ausdehnung der Gürtelkantenlösungen in die Seitenwandbereiche hinein.

Bezugszeichenliste

10	Prüfsystem	113	1. Seitenwand
11	Untergestell	114	1. Wulst
12	Drehteller	115	2. Seitenwand
13	Förderband	116	2. Wulst
		120	Linke Sektorgrenze
20	Messkopf	121	Rechte Sektorgrenze
21	Kamera	122	Äußere Begrenzungslinie
22	Optische Achse Kamera	123	Innere Begrenzungslinie
23	Vertikales Linearsystem	130	Sichtfeldbegrenzung
24	Horizontales Linearsystem		
25	Schwenkachse	A_r	Rotationsachse des Reifens
		B_{max}	Maximale Breite
30	Abstandssensor	B_s	Breite an der Reifenschulter
31	Laserstrahl Abstandssensor 30	B_w	Breite am Reifenwulst
32	Abstandssensor	B_{wi}	Breite am Reifenwulst innen
33	Laserstrahl Abstandssensor 32	D_a	Durchmesser außen
		D_{ai}	Durchmesser außen an der Innenseite
40	Fördermodul	D_i	Durchmesser innen
41	Förderband	P_a	Äußerer Begrenzungspunkt
42	Inkrementaler Schrittgeber	P_i	Innerer Begrenzungspunkt
		RME	Reifenmittenebene
50	Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)	F_k	Hauptpunkt Kameraoptik
101	Reifen	W_k	Öffnungswinkel Sichtfeld Kamera
102	Reifen	A_k	Axiale bzw. vertikale Position Kamera
110	Bereich obere Schulter	R_k	Radiale bzw. horizontale Position Kamera
111	Bereich Laufstreifenmitte		
112	Bereich untere Schulter		

Ansprüche

1. Verfahren zur Untersuchung von rotationssymmetrischen Prüfobjekten, insbesondere Fahrzeug- oder Flugzeugreifen (101, 102), bei dem
 - das Prüfobjekt (101, 102) verschiedenen Belastungen ausgesetzt wird;
 - die Oberfläche des Prüfobjektes (101, 102) in räumlich versetzten Abschnitten mit einem oder mehreren Messköpfen (20) mit jeweils einer Kamera (21) untersucht wird;
 - Abbildungen von der Oberfläche des Prüfobjektes (101, 102) bei verschiedenen Belastungszuständen von einem Bildsensor der Kamera (21) erfasst werden;
 - die erfassten Abbildungen zur Weiterverarbeitung einem Bildverarbeitungssystem zugeführt werden;
 - aus den Abbildungen von dem Bildverarbeitungssystem die Verschiebung oder den Spannungs-/ Dehnungszustand des Prüfobjektes (101, 102) darstellende Ergebnisbilder berechnet werden;
 - dadurch gekennzeichnet,
 - dass wenigstens ein Axialschnitt von dem Prüfobjekt (101, 102) ermittelt wird;
 - dass für die untersuchten Abschnitte der Objektoberfläche jeweils die zutreffende Position und Ausrichtung des Messkopfes (20) relativ zu dem ermittelten Axialschnitt und die Drehstellung des Messkopfes (20) in Umfangsrichtung relativ zum Prüfobjekt (101, 102) ermittelt werden und
 - daraus die räumliche Position des in den Ergebnisbildern jeweils abgebildeten Abschnitts von der Objektoberfläche relativ zum Prüfobjekt (101, 102) berechnet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Objektoberfläche mit einem oder mehreren interferometrischen Messköpfen (20) untersucht wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein Axialschnitt von der Außenseite des Prüfobjektes (101, 102) ermittelt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein Axialschnitt von der Innenseite des Prüfobjektes (101, 102) ermittelt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein Axialschnitt von der Außenseite und der Innenseite des Prüfobjektes (101, 102) ermittelt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass für die in den Ergebnisbildern abgebildeten Punkte von der Oberfläche des Prüfobjektes (101, 102) die Raumkoordinaten berechnet und den entsprechenden Bildkoordinaten zugeordnet werden.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass ein durch in
einem Axialschnitt ermittelte Stützpunkte festgelegter Rotationskörper
berechnet wird,
die Projektion des berechneten Rotationskörpers in die
Abbildungsebene berechnet wird
und daraus den Bildkoordinaten die zutreffenden Raumkoordinaten
zugeordnet werden.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Raumkoordinaten in ein gemeinsames Objektkoordinatensystem übertragen werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Lage der Sektorengrenzen in den Ergebnisbildern berechnet wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass außerhalb der Sektoren liegende Bildpunkte nicht weiterverarbeitet werden.
11. Verfahren nach Anspruch 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass Grenzlinien der Objekt Oberfläche in den einzelnen Ergebnisbildern berechnet werden.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass außerhalb der berechneten Grenzlinien liegende Bildpunkte nicht weiterverarbeitet werden.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die berechneten Grenzlinien in ein gemeinsames Koordinatensystem übertragen werden und die jeweils in einem Ergebnisbild innerhalb der Grenzlinien liegenden Bildpunkte durch eine Interpolation in das gemeinsame Koordinatensystem übertragen werden.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Bildpunkte von zwei oder mehr Ergebnisbilder in einer Gesamtansicht in einem Objektkoordinatensystem dargestellt werden.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass eine Abwicklung der Objektoberfläche berechnet wird.
16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Abwicklung der Objektoberfläche zwischen den Bildpunkten entstehende Lücken über eine Interpolation geschlossen werden.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die automatische Identifizierung von Merkmalen insbesondere Defekten des Prüfobjektes in der Gesamtansicht durchgeführt wird.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass der ermittelte Axialschnitt zur Berechnung der Messkopfposition bei der Durchführung der Prüfung verwendet wird.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass der ermittelte Axialschnitt zur Berechnung der Anzahl von Sektoren verwendet wird, die zur lückenlosen Prüfung des Objektes in Umfangsrichtung erforderlich ist.
20. Vorrichtung zur Untersuchung von rotationssymmetrischen Prüfobjekten (101, 102), umfassend:
 - wenigstens einen Messkopf (20) mit einer Kamera (21) zur Aufnahme von Bilddaten und

ein an die Kamera (21) angeschlossenes Bildverarbeitungssystem zur Weiterverarbeitung der von der Kamera (21) erzeugten Bilder;

gekennzeichnet durch:

eine Vorrichtung (13) zur Positionierung des Prüfobjektes (101, 102) relativ zum Messkopf (20);

ein Konturerfassungssystem (30) zur Ermittlung wenigstens eines Axialschnittes von dem Prüfobjekt (101, 102);

Mittel zur Bestimmung der Position des Messkopfes (20) relativ zum Axialschnitt des Prüfobjektes (101, 102) und der Drehstellung des Messkopfes (20) relativ zum Prüfobjekt (101, 102) während der Aufnahme von Bilddaten;

Mittel zur Erfassung von räumlich versetzten Oberflächenabschnitten des Prüfobjektes (101, 102) und

Mittel zur Bestimmung der räumlichen Position der erfassten Oberflächenabschnitte relativ zum Prüfobjekt (101, 102).

21. Vorrichtung nach Anspruch 20, gekennzeichnet durch wenigstens eine Vorrichtung (12, 23, 24, 25) zur Positionierung des Messkopfes (20) relativ zu dem Prüfobjekt (101, 102).
22. Vorrichtung nach Anspruch 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, dass das Konturerfassungssystem einen Abstandssensor (30) und ein Fördermodul (40) mit einer Vorrichtung (42) zur Messung des Vorschubs umfasst.
23. Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass die Messrichtung des Abstandssensors (30) parallel zur Rotationsachse des Prüfobjektes (101, 102) ausgerichtet ist.
24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 23, gekennzeichnet durch ein zweites Konturerfassungssystem (32) zur Messung eines Axialschnittes von der Innenseite des Prüfobjektes (101, 102).

Fig. 1

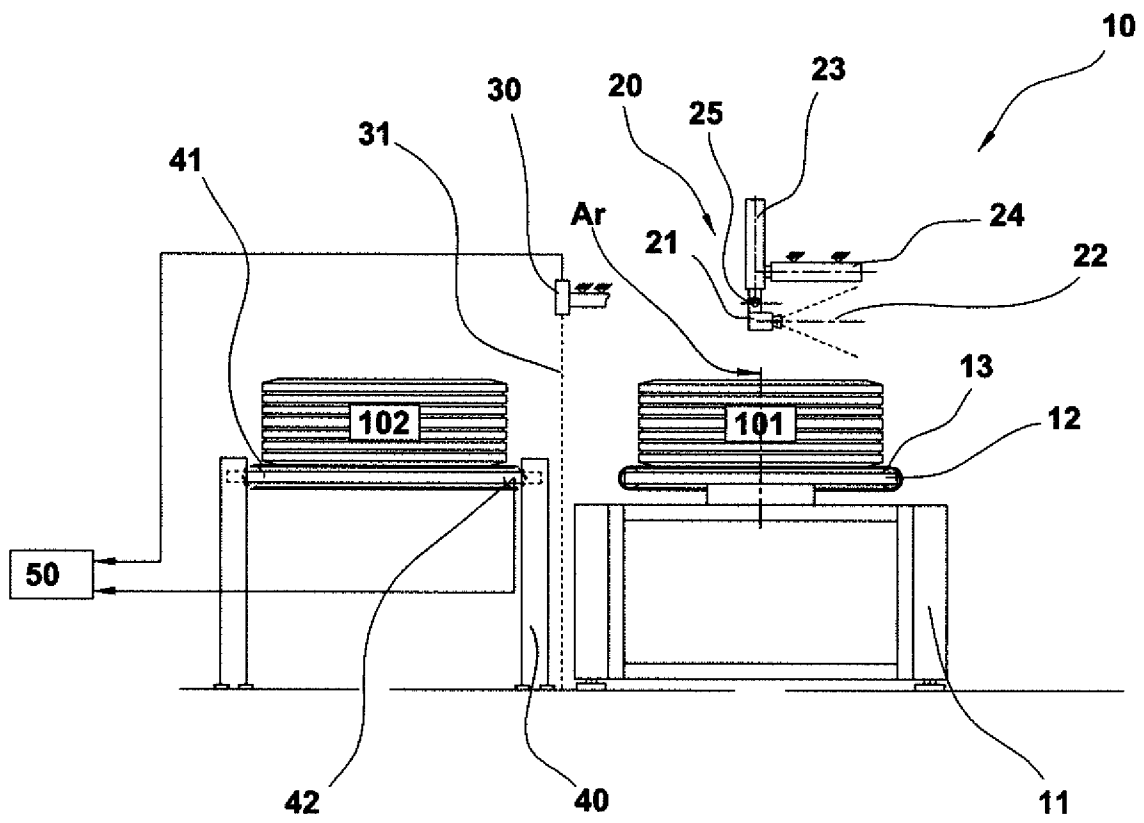


Fig. 2a

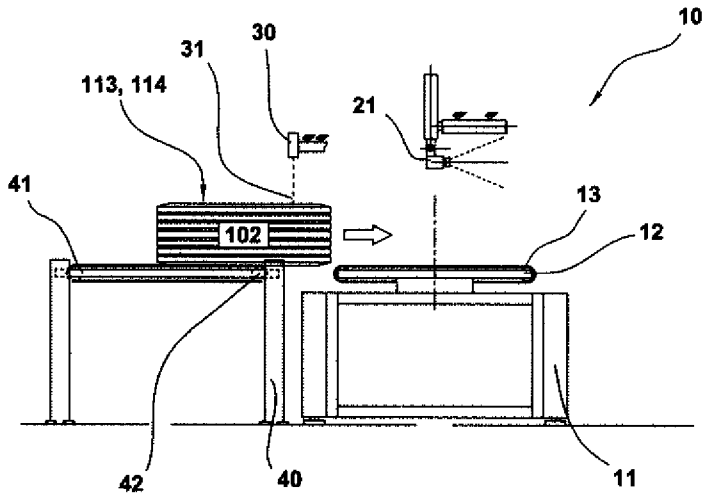


Fig. 2b

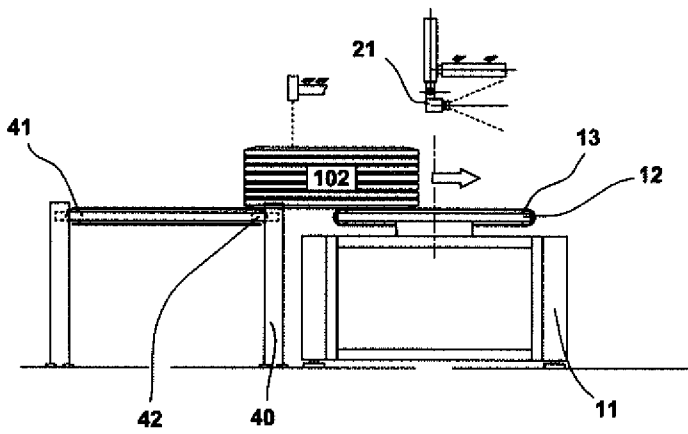


Fig. 2c

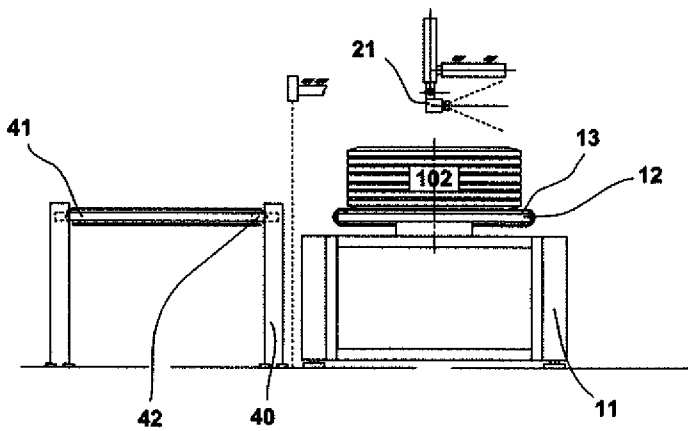


Fig.3

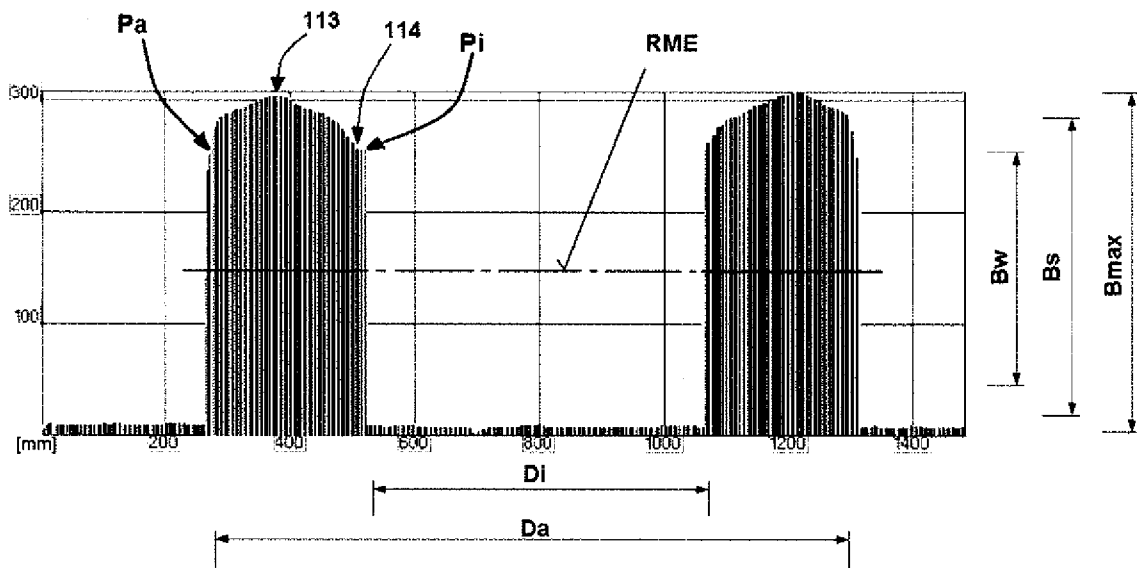


Fig. 4

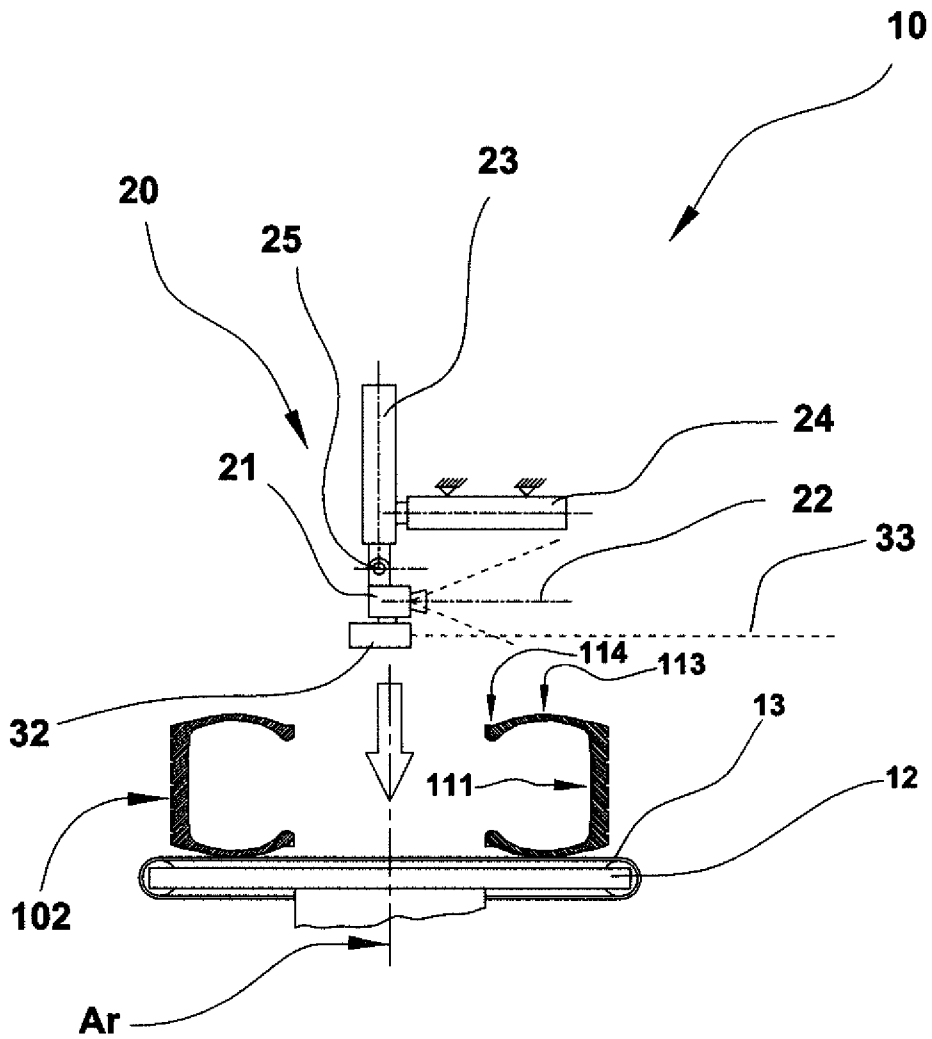


Fig. 5

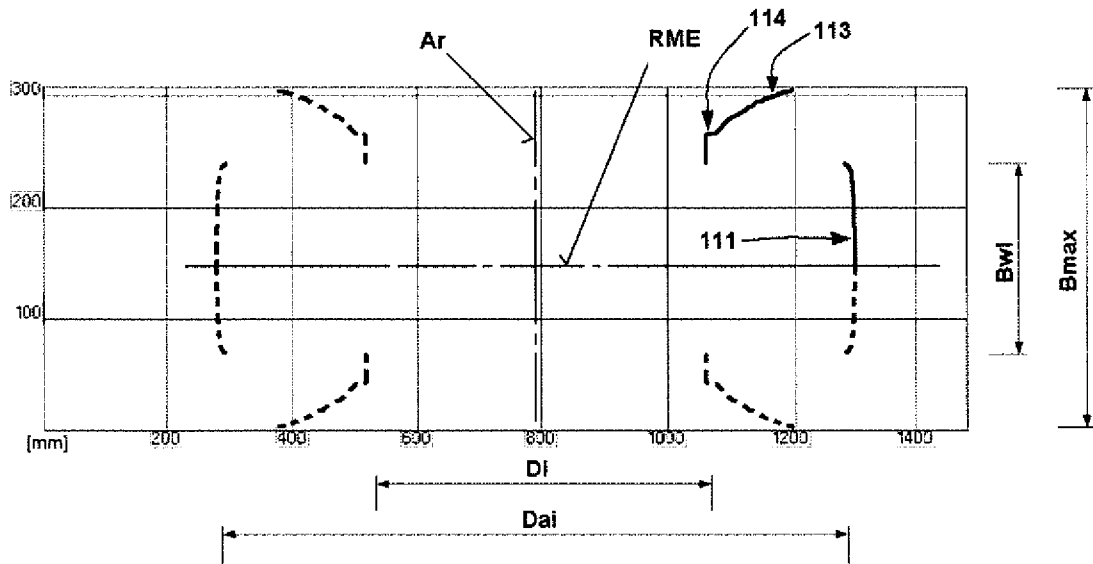


Fig. 6

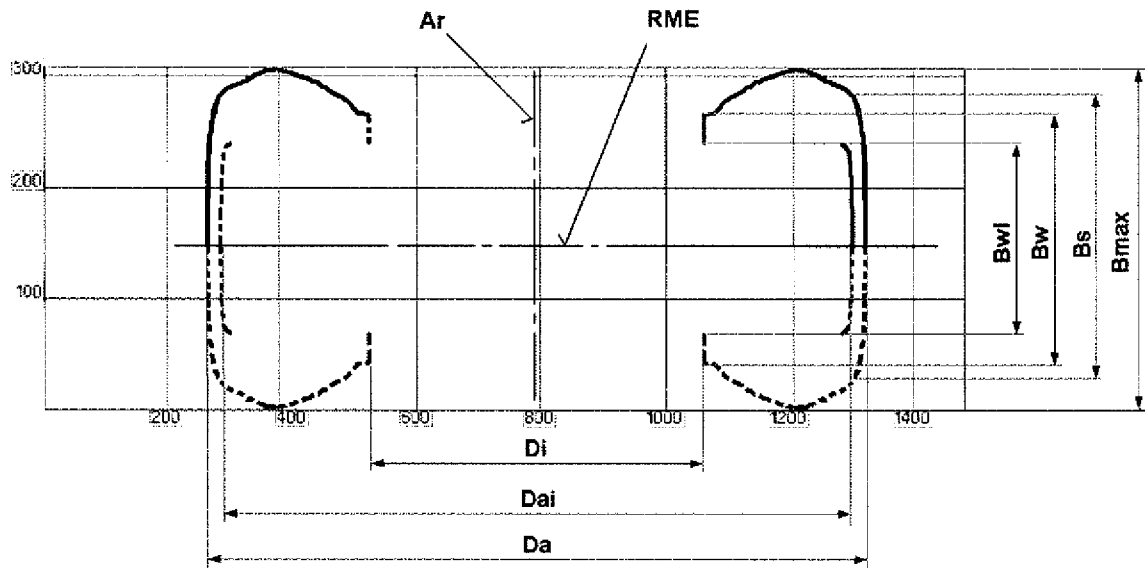


Fig. 7a

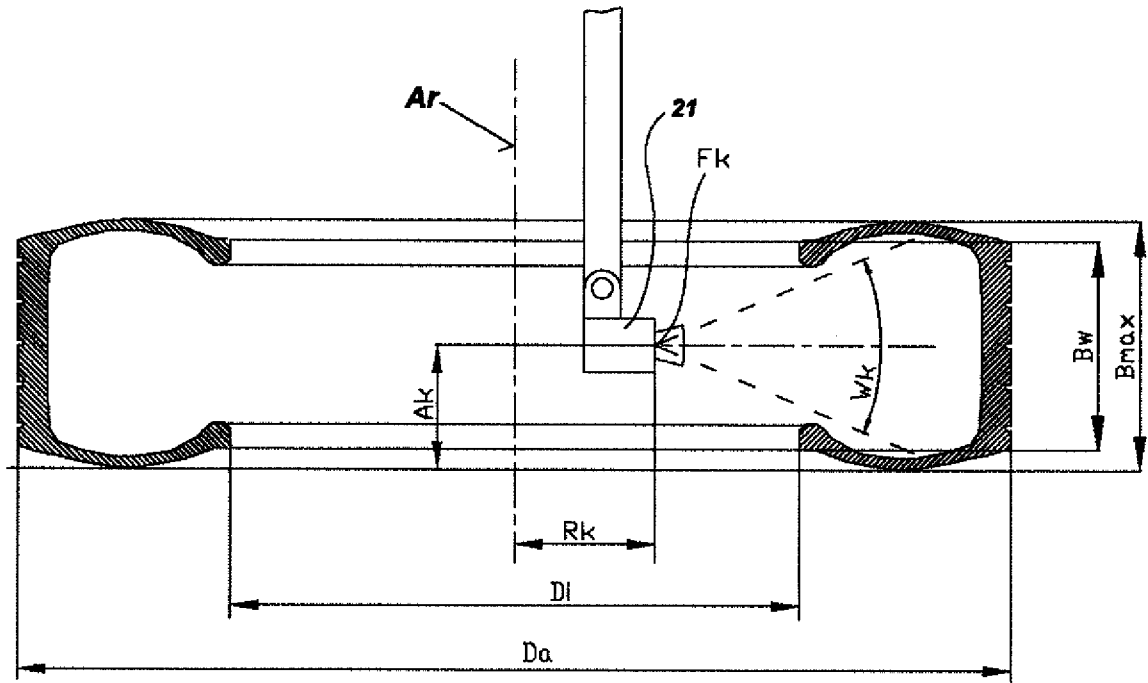


Fig. 7b

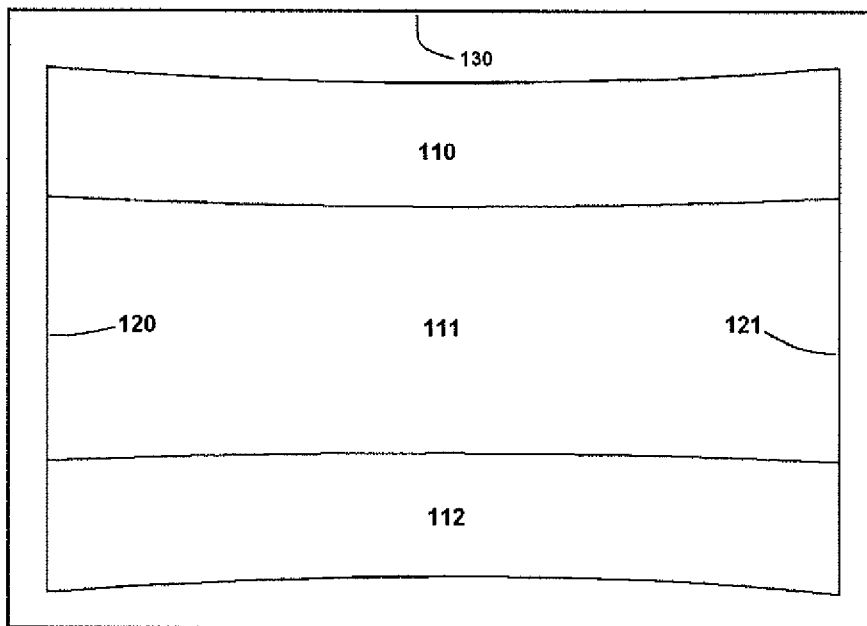


Fig. 8a

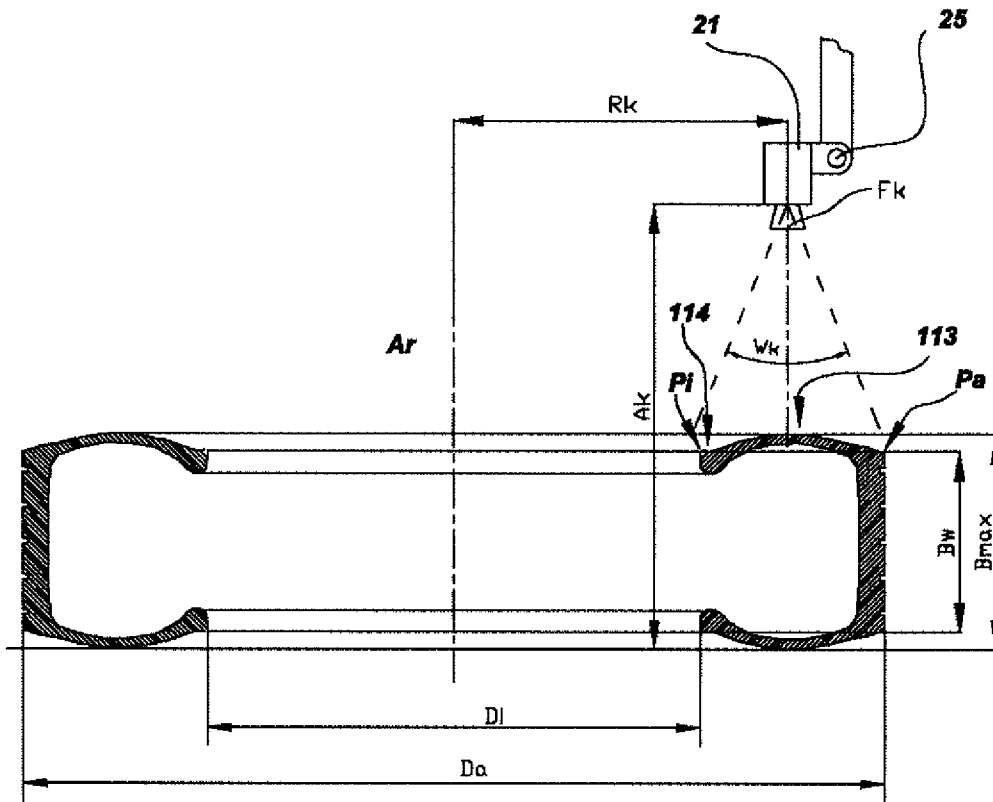


Fig. 8b

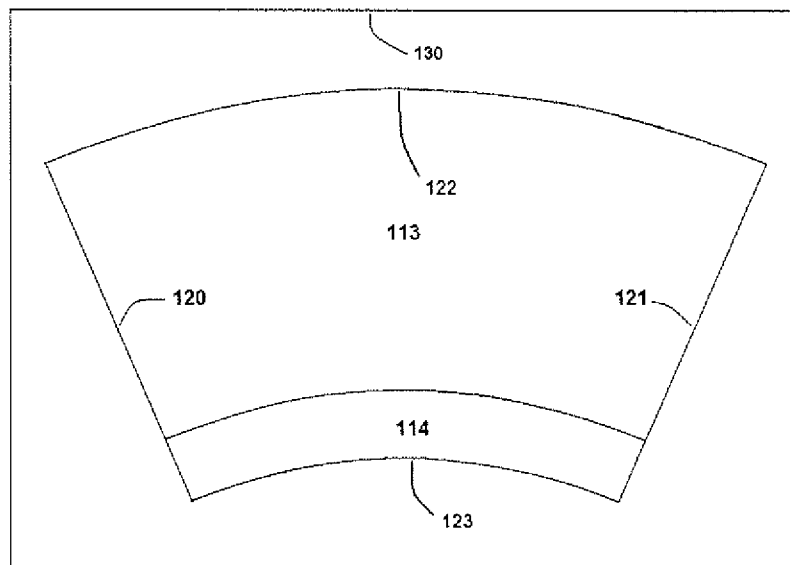
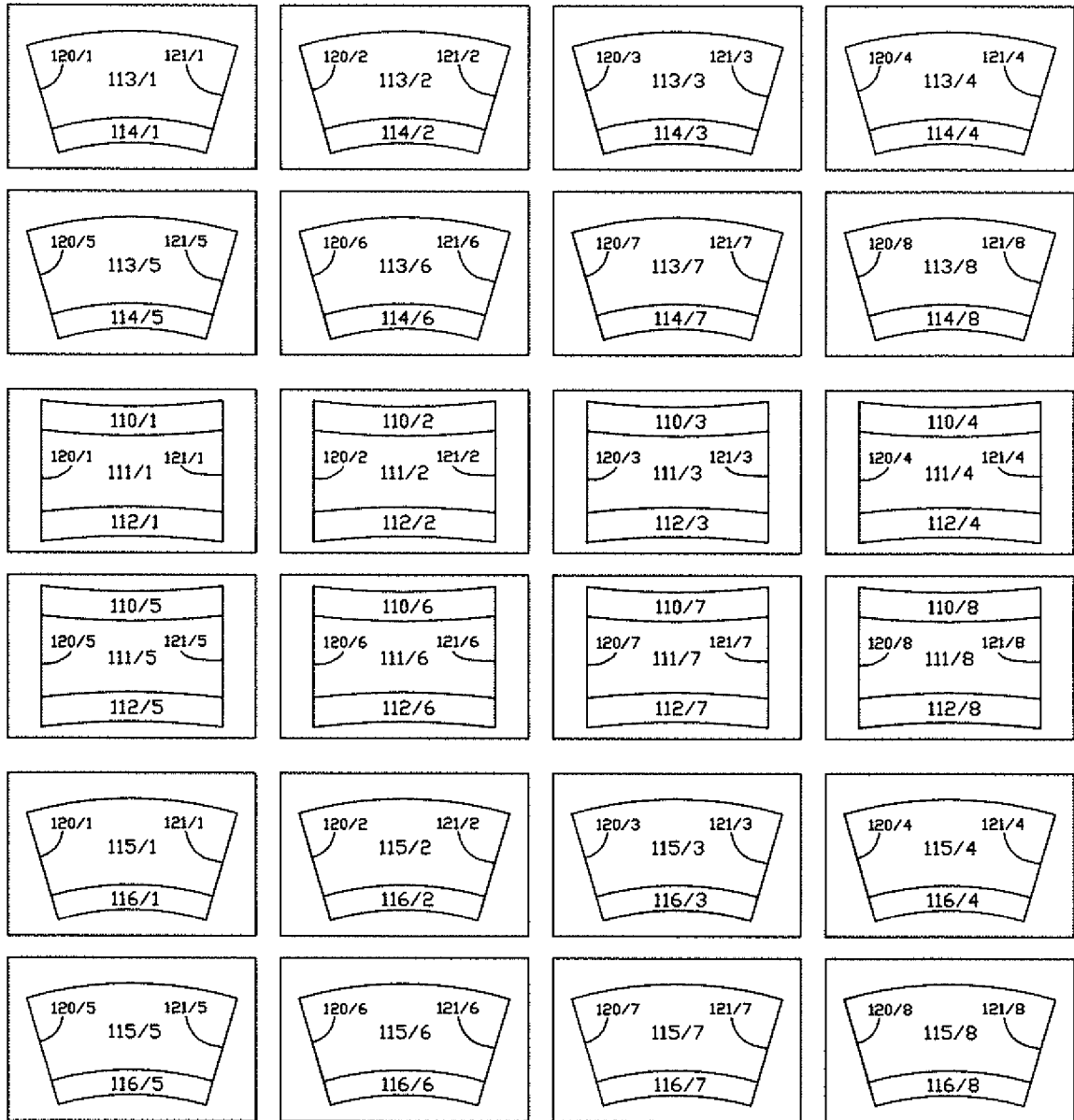


Fig. 9



10/12

Fig. 10

	120/1	121/1	120/2	121/2	120/3	121/3	120/4	121/4	120/5	121/5	120/6	121/6	120/7	121/7	120/8	121/8
	114/1		114/2		114/3		114/4		114/5		114/6		114/7		114/8	
	113/1		113/2		113/3		113/4		113/5		113/6		113/7		113/8	
	110/1		110/2		110/3		110/4		110/5		110/6		110/7		110/8	
	111/1		111/2		111/3		111/4		111/5		111/6		111/7		111/8	
	112/1		112/2		112/3		112/4		112/5		112/6		112/7		112/8	
	113/1		113/2		113/3		113/4		113/5		113/6		113/7		113/8	
	114/1		114/2		114/3		114/4		114/5		114/6		114/7		114/8	

Fig. 11a

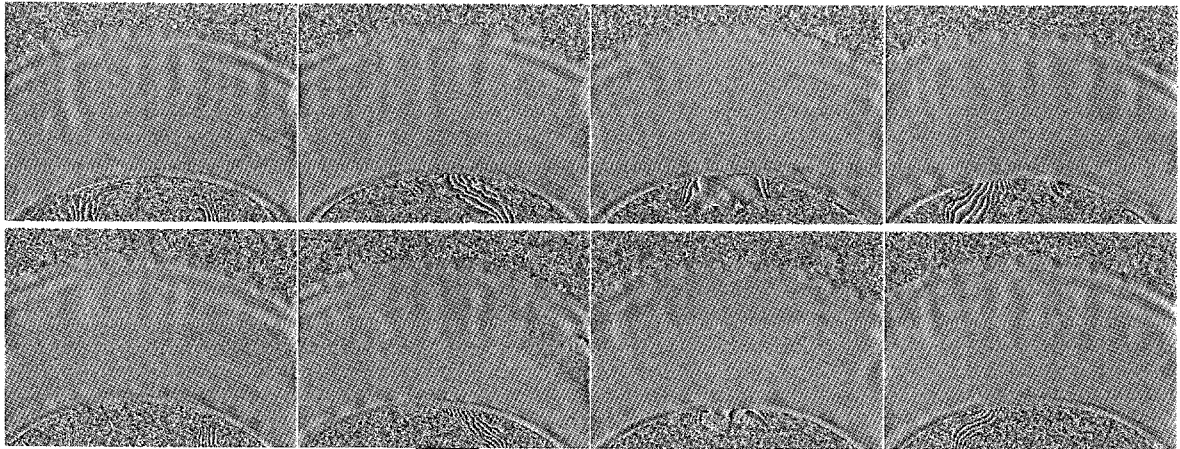


Fig. 11b

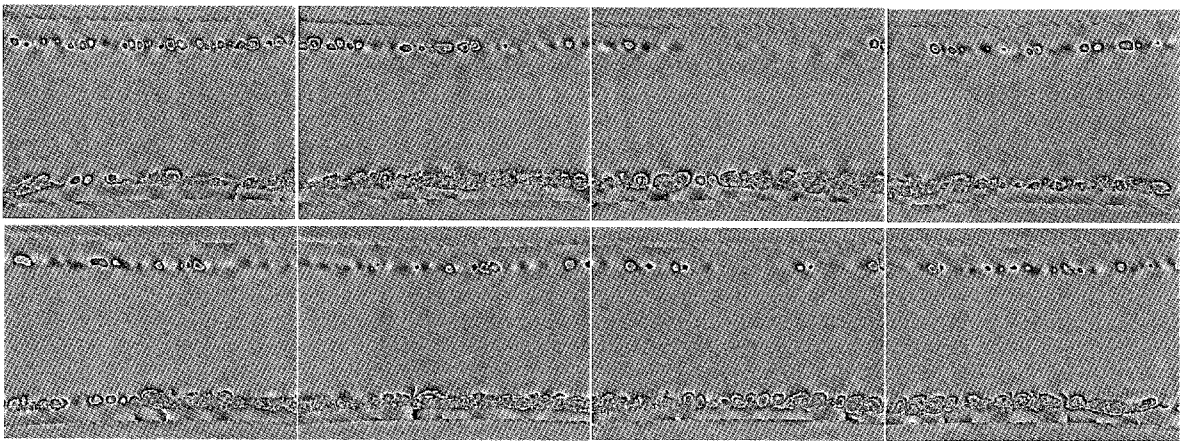


Fig. 11c

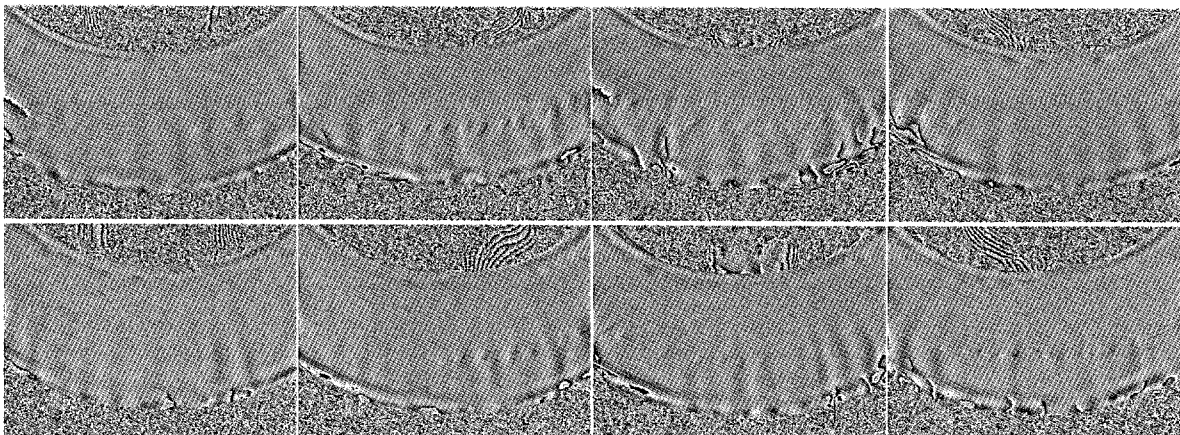
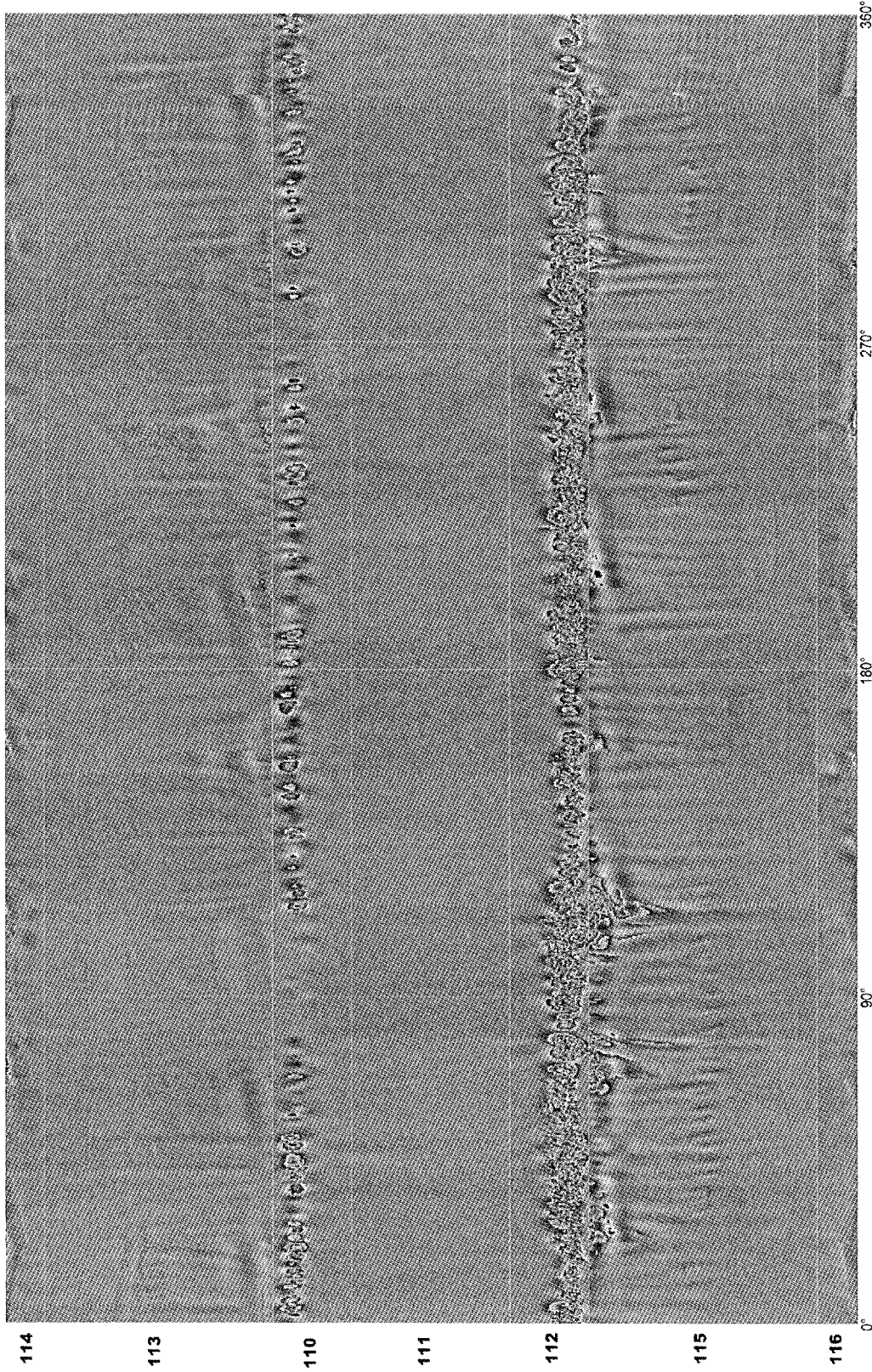


Fig. 12



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/053121

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
G01B 11/16 (2006.01)i; G01B 11/24 (2006.01)i; G01M 17/02 (2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01B; G01M		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	US 2017160079 A1 (TAKEBUCHI TARO [JP]) 08 June 2017 (2017-06-08) paragraph [0024] - paragraph [0043]; figure 1	20-23 24
A	EP 1284409 A1 (MAEHNER BERNWARD [DE]) 19 February 2003 (2003-02-19) cited in the application paragraph [0001] - paragraph [0017]; claim 1; figures 1-6	1-24
A	DE 10333802 B4 (STEINBICHLER OPTOTECHNIK GMBH [DE]) 08 September 2005 (2005-09-08) cited in the application paragraph [0032] - paragraph [0051]; figures 1-5	1-24
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 08 April 2019		Date of mailing of the international search report 17 April 2019
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Beyfuß, Martin Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/053121

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2017160079	A1	08 June 2017	CN	106415197	A	15 February 2017
				EP	3171128	A1	24 May 2017
				JP	6289283	B2	07 March 2018
				JP	2016006386	A	14 January 2016
				US	2017160079	A1	08 June 2017
				WO	2015194506	A1	23 December 2015
EP	1284409	A1	19 February 2003	NONE			
DE	10333802	B4	08 September 2005	DE	10333802	A1	24 February 2005
				EP	1500917	A2	26 January 2005
				US	2005109091	A1	26 May 2005

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/053121

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G01B11/16 G01B11/24 G01M17/02 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G01B G01M		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2017/160079 A1 (TAKEBUCHI TARO [JP]) 8. Juni 2017 (2017-06-08)	20-23
A	Absatz [0024] - Absatz [0043]; Abbildung 1 -----	24
A	EP 1 284 409 A1 (MAEHNER BERNWARD [DE]) 19. Februar 2003 (2003-02-19) in der Anmeldung erwähnt Absatz [0001] - Absatz [0017]; Anspruch 1; Abbildungen 1-6 -----	1-24
A	DE 103 33 802 B4 (STEINBICHLER OPTOTECHNIK GMBH [DE]) 8. September 2005 (2005-09-08) in der Anmeldung erwähnt Absatz [0032] - Absatz [0051]; Abbildungen 1-5 -----	1-24
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist		"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 8. April 2019		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 17/04/2019
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Beyfuß, Martin

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/053121

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung	
US 2017160079	A1	08-06-2017	CN 106415197 A	15-02-2017
			EP 3171128 A1	24-05-2017
			JP 6289283 B2	07-03-2018
			JP 2016006386 A	14-01-2016
			US 2017160079 A1	08-06-2017
			WO 2015194506 A1	23-12-2015

EP 1284409	A1	19-02-2003	KEINE	

DE 10333802	B4	08-09-2005	DE 10333802 A1	24-02-2005
			EP 1500917 A2	26-01-2005
			US 2005109091 A1	26-05-2005
