

(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
23. Juli 2015 (23.07.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/106964 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01N 23/04 (2006.01) G06T 17/00 (2006.01)
G06T 15/00 (2011.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/000047

(22) Internationales Anmeldedatum:
14. Januar 2015 (14.01.2015)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2014 100 419.1
15. Januar 2014 (15.01.2014) DE

(71) Anmelder: VOLUME GRAPHICS GMBH [DE/DE];
Wieblinger Weg 92a, 69123 Heidelberg (DE).

(72) Erfinder: GÜNTHER, Thomas; Schönauer Str. 48, 69118
Heidelberg (DE). POLIWODA, Christoph; Neckarhauser
Str. 2, 68229 Mannheim (DE). REINHART, Christof;
Ziegelhäuser Landstr. 59, 69120 Heidelberg (DE).
DIERIG, Tobias; Wolfsbrunnensteige 2B, 69118
Heidelberg (DE).

(74) Anwalt: HÖSSLE, Markus; Hössle Patentanwälte,
Partnerschaft, Postfach 10 23 38, 70019 Stuttgart (DE).

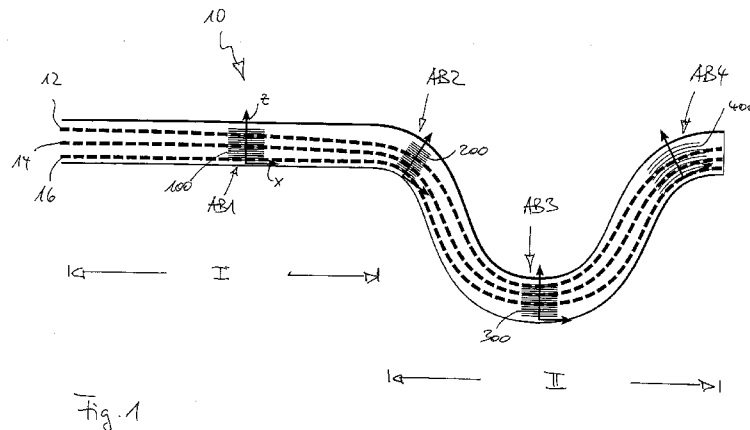
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, 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, 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).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR EXAMINING COMPONENTS WITH FIBER COMPOSITE FABRICS OR FIBER
COMPOSITE TEXTILES

(54) Bezeichnung : VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR UNTERSUCHUNG VON BAUTEILEN MIT
FASERVERBUNDGELEGEN ODER FASERVERBUNDGEWEBEN



(57) Abstract: The invention relates to the examination of components (10) having fiber composite fabrics or fiber composite
textiles, which comprise a number of thin layers (12, 14, 16) with partially different orientation, comprising a measuring unit for
executing a non-destructive measurement for ascertaining volumetric data of the component (10) and an evaluation unit for
evaluating the data ascertained from the component (10), wherein the evaluation by the evaluation unit comprises the selection of a
first analysis region (AB1, AB2, AB3, AB4) in the data ascertained from the component (10), the determination of a local coordinate
system of the first analysis region (AB1, AB2, AB3, AB4), the successive determination by layers of local material properties at
predetermined intervals in a direction perpendicular to the lateral extension of the analysis region (AB1, AB2, AB3, AB4), the
detection of layer boundaries along the detected material properties, and the averaging of the local material properties for each layer
(12, 14, 16) detected.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2015/106964 A1

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Die Erfindung betrifft die Untersuchung von Bauteilen (10) mit Faserverbundgelegen oder Faserverbundgeweben, die eine Anzahl von dünnen Lagen (12, 14, 16) mit teilweise unterschiedlicher Ausrichtung umfassen, mit einer Messeinrichtung zum Durchführen einer zerstörungsfreien Messung zur Erhebung von volumetrischen Daten des Bauteils (10) und mit einer Auswerteeinrichtung zur Auswertung der erhobenen Daten des Bauteils (10), wobei die Auswertung durch die Auswerteeinrichtung das Auswählen eines ersten Analysebereichs (AB1, AB2, AB3, AB4) in den erhobenen Daten des Bauteils (10), das Bestimmen eines lokalen Koordinatensystems des ersten Analysebereichs (AB1, AB2, AB3, AB4), das sukzessive schichtweise Ermitteln lokaler Materialeigenschaften in vorbestimmten Abständen in einer Richtung senkrecht zu der lateralen Erstreckung des Analysebereichs (AB1, AB2, AB3, AB4), das Detektieren von Lagengrenzen entlang der ermittelten Materialeigenschaften, und die Mittelung der lokalen Materialeigenschaften je detektierter Lage (12, 14, 16) umfasst.

5 **Vorrichtung und Verfahren zur Untersuchung von Bauteilen
mit Faserverbundgelegen oder Faserverbundgeweben**

Technisches Gebiet

10 [0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vor-
richtung und ein Verfahren zur Untersuchung von Bauteilen
mit Faserverbundgelegen oder Faserverbundgeweben.

Beschreibung des Standes der Technik

15 [0002] Die zerstörungsfreie Untersuchung von Objekten
bzw. Gegenständen (Material- bzw. Produktuntersuchung im
industriellen Bereich, medizinische Untersuchungen) ist be-
reits weit verbreitet. Es ist beispielsweise bekannt, unter
Verwendung von computertomographisch erhobenen Daten (CT-
Daten) die internen Strukturen von Bauteilen, zum Beispiel
faserverstärkten Leichtbauteilen im Spritzgussbereich, zu
20 untersuchen, um Aufschlüsse über die Faserverteilung und -
ausrichtung zu erhalten, da diese entscheidende Faktoren
für die mechanischen Eigenschaften des fertigen Teils dar-
stellen. Besonders das Schermodul und das Elastizitätsmodul
werden stark von der internen Faserstruktur beeinflusst.

25 [0003] Eine derartige Analyse von faserverstärkten
Bauteilen liefert unter anderem für jeden Raumpunkt im Da-
tensatz Werte für die lokale Faserorientierung und die Fa-
serdichte. Die lokale Orientierung kann hier beispielsweise
als 3D-Orientierung (Tensor 2. Stufe) vorliegen und direkt

visualisiert und ausgewertet werden. Es ist aber auch möglich, die 3D-Orientierung auf eine benutzerdefinierte Ebene zu projizieren oder mit einer spezifischen Referenzrichtung zu vergleichen. Die Ergebnisse können dann beispielsweise
5 als eine lokale Orientierungen darstellende Farbüberlagerung visualisiert werden. Diese Analyse eines interessierenden Bereichs des Bauteils mit einer bekannten nominalen Faserorientierung ermöglicht einen Vergleich der nominalen und der realen Orientierungen. Um die Verteilung der Faser-
10 orientierung längs einer vorgegebenen Koordinatenachse zu verstehen (z.B. senkrecht zur Oberfläche des Bauteils), ist es möglich, gemittelte Orientierungstensoren Schicht für Schicht in einer beliebigen Richtung zu berechnen.

[0004] Zur Berechnung der lokalen Parameter wie Orientierung und Faserdichte werden für jeden Raumpunkt Datenwerte aus einer Umgebung um diesen Punkt herum verwendet. Diese Umgebung wird in Abhängigkeit der zu untersuchenden Struktur gewählt, üblicherweise so groß, dass durch diese immanente Mittelung die Einflüsse durch das in den Bilddaten
20 stets vorhandene Bildrauschen unterdrückt werden.

[0005] Um z.B. im Bereich Spritzguss von faserverstärkten Kunststoffen einen direkten Vergleich zwischen einer Simulation und realen Daten zu erhalten, ist es möglich, das für die Simulation verwendete spezifische Simulationsnetz direkt in die Visualisierungs-/Analyse-Software zu importieren. Die Analyse berechnet dann gemittelte Werte der lokalen Faserorientierung und auch das Faser/Matrix-Verhältnis für jede einzelne Netzzelle. Dies ermöglicht den direkten Vergleich zwischen berechneten und simulierten
25 Werten ohne Mapping-Fehler. Mit dem Simulationsnetz als Grundlage für eine Mittelung der lokalen Orientierungen
30

wird ein Vergleich der simulierten und gemessenen Orientierungen sehr genau.

[0006] Leichtbauteile, die hohen Beanspruchungen ausgesetzt sind, basieren auf faserverstärkten Verbundwerkstoffen in Form von Geweben bzw. Gelegen, die der Aufnahme der auftretenden hohen Verformungskräfte dienen. Dabei treten in teilweise komplex gekrümmten und gebogenen Geometrien drastische und komplexe Verzerrungen und Verformungen der Gewebe und ihrer Lagen auf.

10 [0007] Die bislang bekannten Verfahren eignen sich jedoch nicht für eine Untersuchung von Gewebe- und Gelegelagen, da diese Materialien im Unterschied zu den eingangs beschriebenen faserverstärkten Materialien im Spritzgussbereich eine Lagen- bzw. Gewebestruktur aufweisen und sich
15 die Materialeigenschaften von Lage zu Lage deutlich ändern. Zudem sind die Lagen in der Regel sehr dünn und ihre Positionen sind nicht von vornherein genau genug bekannt. Die im Stand der Technik beschriebene Methodik und die darin enthaltene Art der Mittelung führen bei der Analyse von Gewe-
20 ben und Gelegen zu fehlerhaften Ergebnissen.

Zusammenfassung der Erfindung

[0008] Erfindungsgemäß werden eine Vorrichtung zur Untersuchung von Bauteilen mit Faserverbundgelegen oder Faserverbundgeweben, die eine Anzahl von dünnen Lagen mit
25 teilweise unterschiedlicher Ausrichtung umfassen, mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sowie ein Verfahren zur Untersuchung von Bauteilen mit Faserverbundgelegen oder Faserverbundgeweben mit den Merkmalen des Patentanspruchs 7 vorgeschlagen.

[0009] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, charakteristische Eigenschaften in den Lagen eines Verbundbauteils zu berechnen, um auf dieser Grundlage eine automatische Erkennung unterschiedlicher Gelege- bzw. Gewebelagen zu erzielen.

[0010] Erfindungsgemäß wird zunächst eine zerstörungsfreie Messung zur Erhebung von volumetrischen Daten des zu untersuchenden Bauteils durchgeführt. Das Ziel dieser Messung ist die Bereitstellung eines Satzes von Bilddaten, auf deren Grundlage die weiteren Berechnungen durchgeführt werden können. Dabei kann es sich bspw. um mittels Computertomographie erhobene Daten handeln (CT-Datensätze). Die Berechnungen erfolgen bspw. auf der Grundlage der Grauwerte der erhobenen Daten.

[0011] Als nächstes erfolgen ein Auswählen eines ersten lokalen Analysebereichs in den erhobenen Daten des Bauteils und das Bestimmen eines lokalen Koordinatensystems in dem ersten lokalen Analysebereich. Hierzu kann bspw. eine Berechnung der Lagen- bzw. Oberflächennormalen herangezogen werden, bspw. aus der realen Bauteilgeometrie, einer Schätzung der Lagenstruktur, aus einem Simulationsmesh o.dgl. Ausgehend von der ermittelten Orientierung werden lokale Materialeigenschaften sukzessive und schichtweise in vorbestimmten Abständen in einer Richtung senkrecht zu der Erstreckung des Analysebereichs ermittelt. Die ermittelten Werte der lokalen Materialeigenschaften werden abgetastet, um Lagengrenzen entlang der ermittelten Materialeigenschaften zu detektieren. Schließlich werden die lokalen Materialeigenschaften je detektierter Lage gemittelt.

[0012] Die laterale Größe des Analysebereichs kann in Abhängigkeit von einer ermittelten Krümmung des Analysebe-

reichs gewählt werden. Bereiche ohne Krümmung oder mit nur geringer Krümmung können größer gewählt werden, während Bereiche starker Krümmung kleiner gewählt werden (sofern die Schichten innerhalb der Lagen selbst nicht oder nur wenig gekrümmt sind bzw. die Krümmung der Schichten innerhalb der Lagen sich deutlich von der Bauteilkrümmung unterscheidet). Im Falle einer Krümmung auch der Schichten zumindest in einem ähnlichen Maße wie die Bauteilkrümmung können die Analysebereiche größer gewählt werden. Die hier gewählten Begriffe „größer“ und „kleiner“ sind nicht als relative Begriffe zu verstehen, die sich an einem Maß orientieren, sondern im Sinne von „relativ große Bereiche“ und „relativ kleine Bereiche“ im Vergleich zu dem zu untersuchenden Bauteil. Sinn und Zweck besteht darin, die Messungenauigkeit der ausgewählten Analysebereiche möglichst klein zu halten. Die Wahl der Größe der Analysebereiche erschließt sich dem Fachmann in diesem Zusammenhang.

[0013] Das Detektieren von Lagengrenzen kann mittels Detektieren von Diskontinuitäten oder von Minima entlang der Profilkurve lokaler Materialeigenschaften erfolgen.

[0014] In dem Schritt der Mittelung der lokalen Materialeigenschaften je detektierter Lage können Bereiche um die detektierten Lagengrenzen von den Lagen selbst abweichend gewichtet werden. Im Extremfall (insbesondere im Falle sehr starker Diskontinuitäten) können diese Übergangs- bzw. Grenzbereiche vollständig ausgespart werden.

[0015] Materialeigenschaften im vorgenannten Sinne können in mathematischer Darstellung bspw. die mathematische Form von Skalaren, Vektoren und/oder Tensoren sein. Sie können Grauwerte, Standardabweichungen bzw. Varianzen, Orientierungen bzw. Strukturtenoren, Porosität u.a. sein.

[0016] Die erfindungsgemäße Mittelung kann bspw. eine Mittelwertbildung, eine Berechnung höherer Momente, eine Histogrammverteilung, eine Verteilungsberechnung o.dgl. sein.

5 [0017] Erfindungsgemäß wird somit eine automatische Trennung der Einzellagen des zu untersuchenden Bauteils im Originaldatensatz erzielt, gefolgt von einer Analyse der isolierten Einzellagen ebenfalls im Originaldatensatz.

[0018] Die vorliegende Beschreibung deckt auch ein
10 Computerprogramm mit Programmcode ab, der dazu geeignet ist, ein erfindungsgemäßes Verfahren auszuführen, wenn das Computerprogramm auf einem Auswertungsrechner abläuft. Es werden sowohl das Computerprogramm selbst als auch abgespeichert auf einem computerlesbaren Medium (Computerprogrammprodukt) beansprucht.
15

[0019] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der beiliegenden Zeichnung.

[0020] Es versteht sich, dass die voranstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht
20 nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

25 [0021] Die Erfindung ist anhand eines Ausführungsbeispiels in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird im folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnung ausführlich beschrieben.

Kurzbeschreibung der Zeichnung

[0022]

Figur 1 zeigt eine stark schematisierte Schnittdarstellung durch ein Bauteil mit Gewebelagen unterschiedlicher Krümmung.

Figur 2 zeigt ein Bild mit einem stark vergrößerten Schnitt durch ein Bauteil mit einer Abfolge von (unkompaktierten) Gewebelagen.

Figur 3 zeigt ein Diagramm mit über die Bauteildicke aufgetragenem, gemäß der Erfindung bestimmtem Faservolumenanteil.

Figur 4 zeigt eine perspektivische Ansicht einer Schichtabfolge in Histogrammdarstellung basierend auf erfindungsgemäß bestimmten Messwerten.

Figur 5 zeigt eine Draufsicht-Histogrammdarstellung auf einen Bauteilausschnitt.

Figur 6 zeigt eine stark schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Untersuchung von Bauteilen.

Ausführliche Beschreibung

[0023] In den Figuren sind gleiche Elemente und auch Elemente mit gleicher Funktion mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet.

[0024] Figur 6 zeigt eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Untersuchung von Bauteilen mit einer Messeinrich-

tung 614 zum Durchführen einer zerstörungsfreien Messung an einem Bauteil 618. Die beispielhaft dargestellte Messeinrichtung 614 ist eine computertomographische Vorrichtung mit einer Röntgenquelle 620. Das Prüfobjekt bzw. Bauteil 5 618 ist auf einem sogenannten Manipulator oder Drehtisch 622 angeordnet, mittels welchem das Bauteil 618 in verschiedenen Richtungen von der Röntgenstrahlung der Röntgenquelle 620 durchstrahlt werden kann. Die aus dem Bauteil 618 austretende Strahlung wird von einem Detektor 624 aufgenommen. Röntgenquelle 620, Drehtisch 622 und Detektor 624 10 können im Sinne der eingezeichneten Pfeile verfahren und/oder rotiert werden.

[0025] Die Vorrichtung 610 umfasst darüber hinaus in an sich bekannter Art und Weise eine Auswerteeinrichtung 15 614 zum Auswerten der von dem Detektor 624 gelieferten Messdaten. Zur Ausgabe der ausgewerteten Daten ist eine Ausgabe-/Eingabevorrichtung 616 vorgesehen, die in üblicher Weise mindestens einen Bildschirm 630, eine Tastatur 632 und ggf. eine Cursorsteuerung (Maus) 634 aufweist. Der die 20 Auswerteeinrichtung 614 darstellende Rechner kann zudem so ausgestaltet sein, dass über ihn auch die Steuerung der Messeinrichtung 610 erfolgen kann.

[0026] Figur 1 veranschaulicht das erfindungsgemäße Vorgehen am Beispiel einer Schnittdarstellung eines im wesentlichen flächigen Bauteils 10 mit Gewebelagen 12, 14, 25 16, wobei das Bauteil 10 Bereiche unterschiedlicher Krümmung aufweist. Der Schnitt entspricht einer Analyseebene des Bauteils senkrecht zu den Gewebelagen.

[0027] Das Bauteil 10 umfasst einen in der Darstellung 30 der Figur links liegenden im wesentlichen ebenen Abschnitt I und einen sich rechts davon daran anschließenden Ab-

schnitt II, der einen im wesentlichen U-förmigen Querschnitt aufweist, wodurch verschiedene Bereiche unterschiedlicher Krümmung entstehen.

5 [0028] Das Bauteil 10 umfasst mehrere Gewebelagen 12, 14, 16, die im wesentlichen parallel zueinander verlaufen. Zur Veranschaulichung sind drei Gewebelagen dargestellt; es können jedoch auch mehr als drei Lagen vorliegen. Die Zwischenräume zwischen den Gewebelagen sind - ebenfalls aus Gründen der Veranschaulichung - stark überhöht dargestellt.

10 [0029] In dem im wesentlichen ebenen Abschnitt I liegt grundsätzlich eine geringe Krümmung der Gewebelagen 12, 14, 16 vor, so dass in diesem Abschnitt ein lokaler Analysebereich AB1 relativ groß (im Sinne der Lagenlateralerstreckung) gewählt werden kann.

15 [0030] Anhand des gewählten Analysebereichs erfolgt die weitere erfindungsgemäße Analyse des Lagenaufbaus des Bauteils in der Auswerteeinrichtung 614. Bei dem Analysebereich handelt es sich um einen Volumenbereich, der einen Ausschnitt aus den erhobenen volumetrischen Daten darstellt
20 und durch eine Ausdehnungsgröße und ein aufgesetztes lokales Lagenkoordinatensystem definiert wird, wobei das Lagenkoordinatensystem eine Lateralrichtung x definiert, die sich an dem Verlauf der Lagen, üblicherweise im wesentlichen parallel zur Oberfläche des Bauteils, orientiert, und
25 eine Axialrichtung z . Die Axialrichtung z verläuft in dem dargestellten Ausführungsbeispiel im wesentlichen senkrecht zu der Lateralrichtung x .

[0031] Selbstverständlich sind auch andere Lagenkoordinatensysteme als das beschriebene kartesische System
30 denkbar, insbesondere bspw. in Zusammenhang mit einem Ana-

lysebereich, der gekrümmte Lagen aufweist, wie dies nachfolgend noch beschrieben wird.

[0032] In dem Analysebereich AB1 werden erfindungsgemäß senkrecht zu der Axialrichtung z (bzw. parallel zu der Lateralrichtung x) Analyseschichten 100 definiert, die im wesentlichen parallel zueinander verlaufen. Die Analyseschichten 100 werden mit einer vorbestimmten oder festlegbaren Schichtdicke gewählt, bspw. abhängig von der Voxelisierung (d.h. dem volumetrischen Gitter aus der Aufnahme der volumetrischen Daten). Bspw. kann die Schichtdicke einer halben Voxelauflösung entsprechen. Zur Erzielung guter Auswertungsergebnisse sollte die Schichtdicke jedoch so gewählt sein, dass sich mindestens zwei bis drei Schichtdicken pro Gewebe- bzw. Gelegelage des Bauteils ergeben.

[0033] Die Analyseschichten werden daraufhin sukzessive in z-Richtung auf die lokalen Materialeigenschaften in der Analyseschicht abgetastet bzw. untersucht. Die je Analyseschicht ermittelten Materialeigenschaften ergeben ein Materialeigenschaftsprofil entlang der z-Richtung, anhand dessen mit einem Materialübergang bzw. einer Materialänderung ermittelt werden können. Anhand dieser Stellen können Lagegrenzen (potenzielle Grenzebenen zwischen aneinandergrenzenden Lagen des Bauteils) detektiert werden. Eventuell vorhandenes "A-Priori-Wissen", also unabhängig von der zu verarbeitenden Messung vorliegende Kenntnisse über die Struktur des zu untersuchenden Bauteils wie z.B. Lagenanzahl, Lagendicke oder dergleichen, kann hierbei zur Stabilisierung der Detektion der Lagengrenzen verwendet werden. Innerhalb der so ermittelten Lagengrenzen werden dann zur Bildung einer detektierten Lage die sogenannten lokalen Materialeigenschaften durch Mittelwertbildung gemittelt.

[0034] Dieses Vorgehen ist beispielhaft anhand der Figuren 2 und 3 gezeigt. Figur 2 zeigt ein Schnittfoto einer stark vergrößerten Aufnahme eines Bauteils mit einer Abfolge von Gewebelagen. Zur besseren Veranschaulichung handelt es sich um ein unkompaktiertes Bauteil, d.h. ein Bauteil, dessen Gewebelagen nicht unter starkem Druck verpresst wurden. Bei der Darstellung der Figur 2 könnte es sich bspw. um einen dem ersten Analysebereich AB1 der Darstellung der Figur 1 entsprechenden Ausschnitt aus einem Bauteil handeln. Figur 3 veranschaulicht ein zugehöriges Materialeigenschaftsprofil, das über die Bauteildicke (bzw. Analysebereichdicke) in z-Richtung aufgetragen ist. Die Ordinate des Diagramms zeigt in abstraktem Maß den jeweils ermittelten Faservolumenanteil pro Analyseschicht als Messwert aufgetragen. Unschwer zu erkennen ist aus dem Diagramm die resultierende periodische Schwankung, die mit ihren Maxima bzw. Minima sehr deutlich Stellen hohen Faservolumenanteils und Stellen geringen Faservolumenanteils wiedergibt, so dass aus dieser Messung an den Stellen des geringsten Faservolumenanteils auf Zwischenräume zwischen Gewebelagen geschlossen werden kann.

[0035] Durch Wahl mehrerer aneinandergrenzender Analysebereiche kann auf diese Art und Weise ein gesamtes Bauteil schnittebenenweise abgetastet, die entsprechenden lokalen Materialeigenschaften lagenweise ermittelt und so eine Trennung der Lagen über das gesamte Bauteil erzielt werden. Das Ergebnis kann bspw. eine die jeweilige spezifische Lagenorientierung des Bauteils wiedergebende Histogrammdarstellung des gesamten Bauteils sein. Eine derartige Darstellung ist beispielhaft in Figur 5 wiedergegeben, die eine Draufsicht auf ein aus Gewebematten zusammengesetztes Bauteil mit darüber gelegtem lokalem Richtungshistogramm

zeigt. Je (in diesem Fall: quadratischem) Analysebereich ist ein Richtungshistogramm (für eine Schicht) dargestellt, bei dem es sich um eine Polardarstellung der Häufigkeit der ermittelten Richtungsverteilungen handelt. Je ausgedehnter eine Histogrammdarstellung ist, desto ausgeprägter ist die Richtungserhebung. Eine punktförmige bzw. kreisförmige Erscheinung deutet auf ein sehr hohes Maß an Homogenität des Richtungsergebnisses hin, während eine Ellipsendarstellung auf eine zugehörige Richtungsorientierung hinweist, die desto ausgeprägter ist, je länger die Hauptachse der Ellipse ist. Eine kreuzförmige Darstellung weist auf das Vorliegen zweier (Haupt-)Richtungen hin, eine sternförmige Erscheinung auf entsprechend mehr Richtungen, wobei die zugehörigen Achsen die jeweilige Orientierung angeben. Unter der Histogrammdarstellung ist als Unterlegung ein CT-Schnittbild des Bauteils erkennbar. Eine derartige Darstellung ermöglicht einem geübten Betrachter ein sehr schnelles Erfassen der ermittelten Faserorientierungen.

[0036] Figur 4 zeigt in perspektivischer Ansicht eine ähnliche Histogrammdarstellung einer ganzen Abfolge von Analyseschichten, die dem Betrachter wiederum Aufschluss über das Maß der ermittelten Richtung(en) und deren Homogenität je Analyseschicht ermitteln.

[0037] In der Darstellung der Figur 1 sind beispielhaft noch drei weitere Analysebereiche AB2, AB3 und AB4 herausgegriffen (zur Analyse des gesamten Bauteils wird der gesamte Bauteilschnitt in aneinandergrenzende Analysebereiche geeigneter Größe aufgeteilt).

[0038] Diese exemplarische Auswahl an weiteren Analysebereichen dient zur Veranschaulichung der Wahl der Größe der einzelnen Analysebereiche. So liegt bspw. der zweite

Analysebereich AB2 in einem Bauteilabschnitt größerer Krümmung, weshalb die laterale Ausdehnung des Analysebereichs AB2 und dessen Analyseschichten 200 deutlich kleiner gewählt ist als bspw. diejenige des zuvor besprochenen ersten Analysebereichs AB1. Der dritte Analysebereich AB3 liegt wieder in einem Bereich geringerer Lagenkrümmung, weshalb die Größe dieses dritten Analysebereichs AB3 dessen Analyseschichten 300 wieder in einer Größenordnung vergleichbar derjenigen des ersten Analysebereichs AB1 gewählt ist. Der vierte Analysebereich AB4 liegt in einem Abschnitt, in dem zwar eine hohe Lagenkrümmung vorliegt, das Koordinatensystem jedoch durch die Wahl gekrümmter Analyseschichten 400 an diese Krümmung angepasst ist, weshalb ein größerer "Zusammenfassungsbereich" möglich ist, so dass der Analysebereich AB4 trotz der gekrümmten Bauteilform an dieser Stelle vergleichsweise groß gewählt ist.

[0039] Da sich im realen Bauteil keine idealen Lagenverhältnisse einstellen, sondern sehr häufig eine Lagen-drift, d.h. eine herstellungsbedingte Verschiebung der Lagen gegeneinander, zu beobachten ist, die dazu führt, dass sich die einzelnen Gewebe- bzw. Gelegelagen in jeder Erstreckungsrichtung des Bauteils mit einer geänderten Orientierung präsentieren können, ist des weiteren erfindungsgemäß eine Bearbeitung benachbarter Analysebereiche vorgesehen. Eine Berücksichtigung der aneinandergrenzenden Analysebereiche bspw. durch Interpolation oder Extrapolation, Berücksichtigung von Glattheit, Stetigkeit der Lagenstruktur oder ähnlicher modellhafter Annahmen oder auch gezieltes Nachmessen von Detailbereichen bzw. Übergangsbereichen führt zu einer erheblichen Stabilisierung der Einzelergebnisse. Damit wird die Trennung der Lagen über das gesamte Bauteil noch detailgetreuer. Auch in diesem Zusammenhang

kann das voranstehend bereits erwähnte A-Priori-Wissen über die grundsätzliche Struktur des Bauteils in die Berechnung mit einfließen.

[0040] Die erfindungsgemäße Festlegung des aufgesetz-
5 ten lokalen Koordinatensystems zur Ausrichtung der Analyse-
schichten kann ausgehend von einem ersten Scanergebnis des
Bauteils zur Bestimmung der groben Lagenerstreckungsrich-
tung erfolgen. Alternativ kann das lokale Koordinatensystem
ausgehend von einer initialen Schätzung der Lagenstruktur,
10 von Daten aus einem sogenannten Simulationsmesh usw. an die
reale Struktur angepasst/adaptiert werden (adaptives Koor-
dinatensystem).

[0041] Der Analysebereich wird so gewählt, dass es
sich für die spätere Berechnung der Materialeigenschaften
15 um einen sinnvollen Integrationsbereich handelt. Dies be-
trifft insbesondere auch die Größe, d.h. die laterale Aus-
dehnung, des Analysebereichs. Die Größe kann auch in Wech-
selwirkung mit dem adaptiven Koordinatensystem festgelegt
werden (im Sinne einer Optimierungsberechnung basierend auf
20 der Achsenfestlegung und der Größenausdehnung).

5

Patentansprüche

1. Vorrichtung (610) zur Untersuchung von Bauteilen (618, 10) mit Faserverbundgelegen oder Faserverbundgeweben, die eine Anzahl von dünnen Lagen (12, 14, 16) mit teilweise unterschiedlicher Ausrichtung umfassen, mit einer Messeinrichtung (612) zum Durchführen einer zerstörungsfreien Messung zur Erhebung von volumetrischen Daten des Bauteils (618, 10) und mit einer Auswerteeinrichtung (614) zur Auswertung der erhobenen Daten des Bauteils (618, 10), wobei die Auswertung durch die Auswerteeinrichtung (614) das Auswählen eines ersten Analysebereichs (AB1, AB2, AB3, AB4) in den erhobenen Daten des Bauteils (618, 10), das Bestimmen eines lokalen Koordinatensystems des ersten Analysebereichs (AB1, AB2, AB3, AB4), das sukzessive schichtweise Ermitteln lokaler Materialeigenschaften in vorbestimmten Abständen in einer Richtung senkrecht zu der lateralen Erstreckung des Analysebereichs (AB1, AB2, AB3, AB4), das Detektieren von Lagengrenzen entlang der ermittelten Materialeigenschaften, und die Mittelung der lokalen Materialeigenschaften je detektierter Lage (12, 14, 16) umfasst.

2. Vorrichtung (610) nach Anspruch 1, bei der die Auswerteeinrichtung (614) zum Bestimmen eines lokalen Koordinatensystems eine Lagen- oder Oberflächennormalen bestimmt.

3. Vorrichtung (610) nach Anspruch 1 oder 2, bei der die Auswerteeinrichtung (614) die Größe des lokalen Analysebe-

reichs (AB1, AB2, AB3, AB4) abhängig von einer Krümmung des lokalen Analysebereichs (AB1, AB2, AB3, AB4) wählt.

4. Vorrichtung (610) nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
5 bei der die Auswerteeinrichtung (614) aus dem sukzessiven schichtweisen Ermitteln lokaler Materialeigenschaften eine Profilkurve lokaler Materialeigenschaften erstellt.

5. Vorrichtung (610) nach Anspruch 4, bei der die Auswerteeinrichtung (614) zum Detektieren von Lagengrenzen Diskontinuitäten entlang der Profilkurve lokaler Materialeigenschaften detektiert.

6. Vorrichtung (610) nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
15 wobei die Auswerteeinrichtung (614) bei der Mittelung der lokalen Materialeigenschaften je detektierter Lage (12, 14, 16) Bereiche um die detektierten Lagengrenzen von den Lagen selbst abweichend gewichtet.

20 7. Verfahren zur Untersuchung von Bauteilen (10, 618) mit Faserverbundgelegen oder Faserverbundgeweben, die eine Anzahl von dünnen Lagen (12, 14, 16) mit teilweise unterschiedlicher Ausrichtung umfassen, mit den folgenden Schritten:

- 25 - Durchführen einer zerstörungsfreien Messung zur Erhebung von volumetrischen Daten des Bauteils (10, 618),
 - Auswählen eines ersten Analysebereichs (AB1, AB2, AB3, AB4) in den erhobenen Daten des Bauteils 10, 618),
 - Bestimmen eines lokalen Koordinatensystems des
30 ersten Analysebereichs (AB1, AB2, AB3, AB4),
 - sukzessives schichtweises Ermitteln lokaler Materialeigenschaften in vorbestimmten Abständen in einer Rich-

tung senkrecht zu der lateralen Erstreckung des Analysebereichs (AB1, AB2, AB3, AB4),

- Detektieren von Lagengrenzen entlang der ermittelten Materialeigenschaften,
- 5 - Mittelung der lokalen Materialeigenschaften je detektierter Lage (12, 14, 16).

8. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem der Schritt des Bestimmens eines lokalen Koordinatensystems das Bestimmen
10 einer Lagen- oder Oberflächennormalen umfasst.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, bei dem eine Wahl der Größe des lokalen Analysebereichs (AB1, AB2, AB3, AB4) abhängig von einer Krümmung des lokalen Analysebereichs
15 (AB1, AB2, AB3, AB4) erfolgt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, bei dem aus dem sukzessiven schichtweisen Ermitteln lokaler Materialeigenschaften eine Profilkurve lokaler Materialeigen-
20 schaften erstellt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem das Detektieren von Lagengrenzen mittels Detektieren von Diskontinuitäten entlang der Profilkurve lokaler Materialeigenschaften er-
25 folgt.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, bei dem in dem Schritt der Mittelung der lokalen Materialeigenschaften je detektierter Lage (12, 14, 16) Bereiche um die
30 detektierten Lagengrenzen von den Lagen (12, 14, 16) selbst abweichend gewichtet werden.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12, bei dem das Ergebnis eines Analysebereichs (AB1, AB2, AB3, AB4) unter Berücksichtigung des Ergebnisses mindestens eines angrenzenden Analysebereiches (AB1, AB2, AB3, AB4) angepasst
5 wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem die Anpassung des Ergebnisses durch Interpolation oder Extrapolation erfolgt.

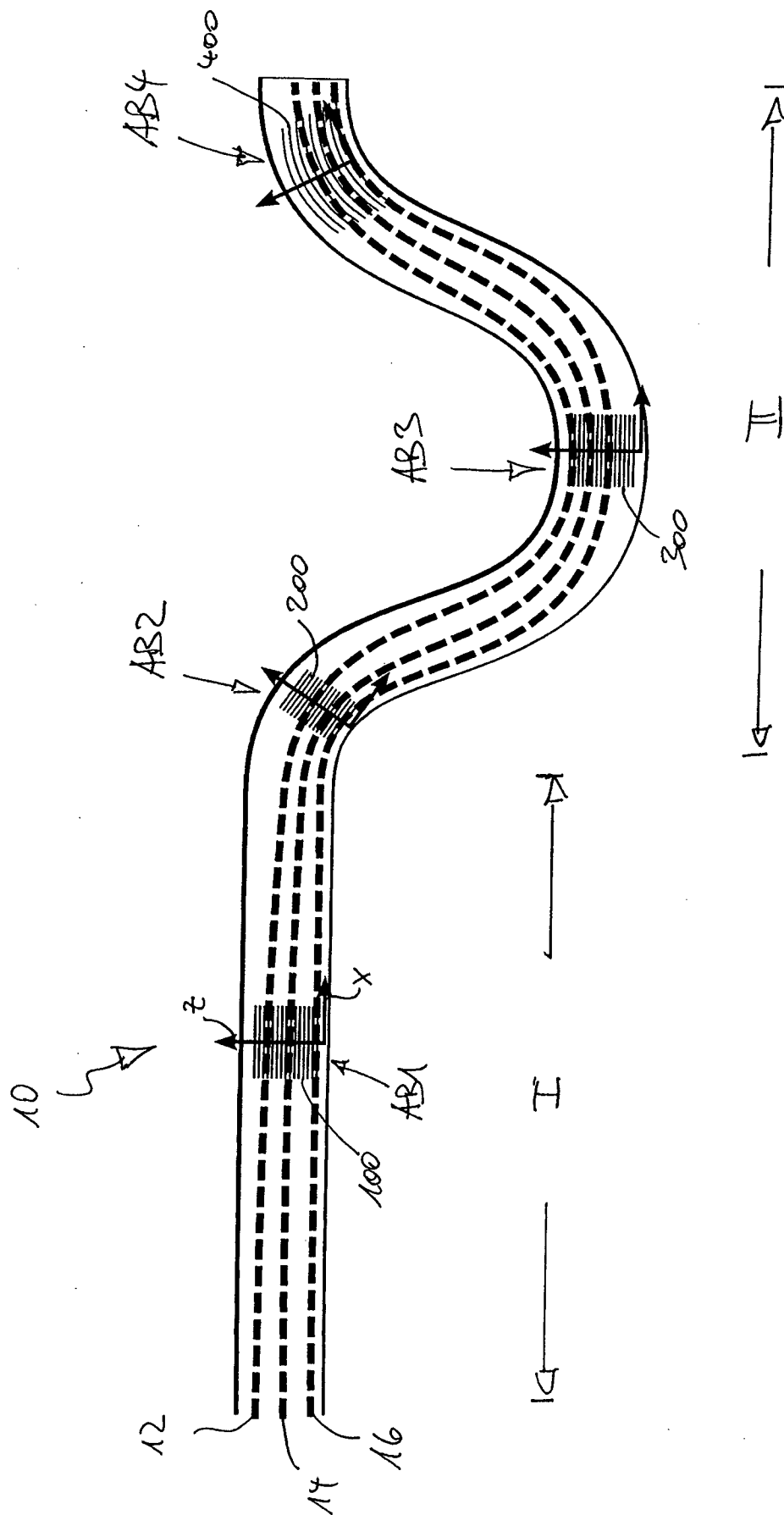
10 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 14, wobei die lokalen Materialeigenschaften Skalare, Vektoren und/oder Tensoren sind.

15 16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei die lokalen Materialeigenschaften aus der Gruppe umfassend Grauwert, Standardabweichung, Varianz, Orientierung, Strukturtensor, Porosität u.a. ausgewählt sind.

20 17. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 16, wobei die Mittelung aus der Gruppe umfassend Mittelwertbildung, Berechnung höherer Momente, Histogrammverteilung, Verteilungsberechnung u.a. ausgewählt ist.

25 18. Computerprogramm mit Programmcodemitteln, um alle Schritte eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 7 bis 17 durchzuführen, wenn das Computerprogramm auf einem Computer oder einer entsprechenden Recheneinheit oder einer Vorrichtung nach einem Ansprüche 1 bis 6 ausgeführt wird.

30 19. Computerprogramm nach Anspruch 18, das auf einem computerlesbaren Datenträger gespeichert ist.



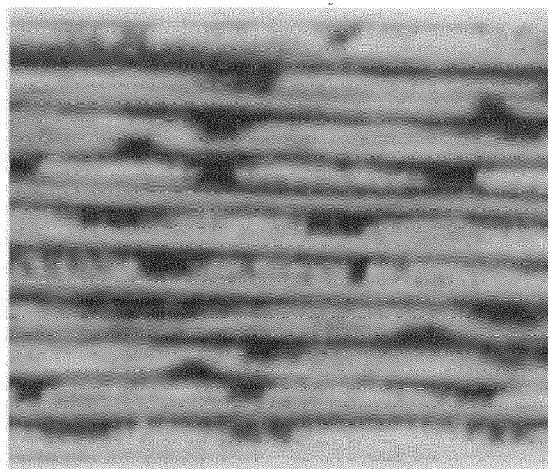


Fig. 2

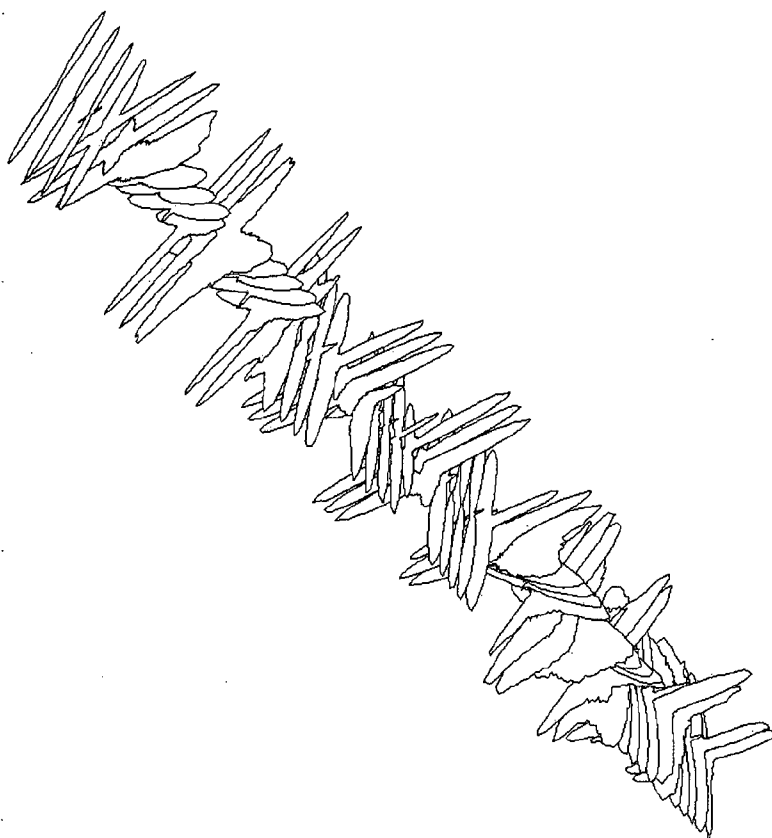


Fig. 4

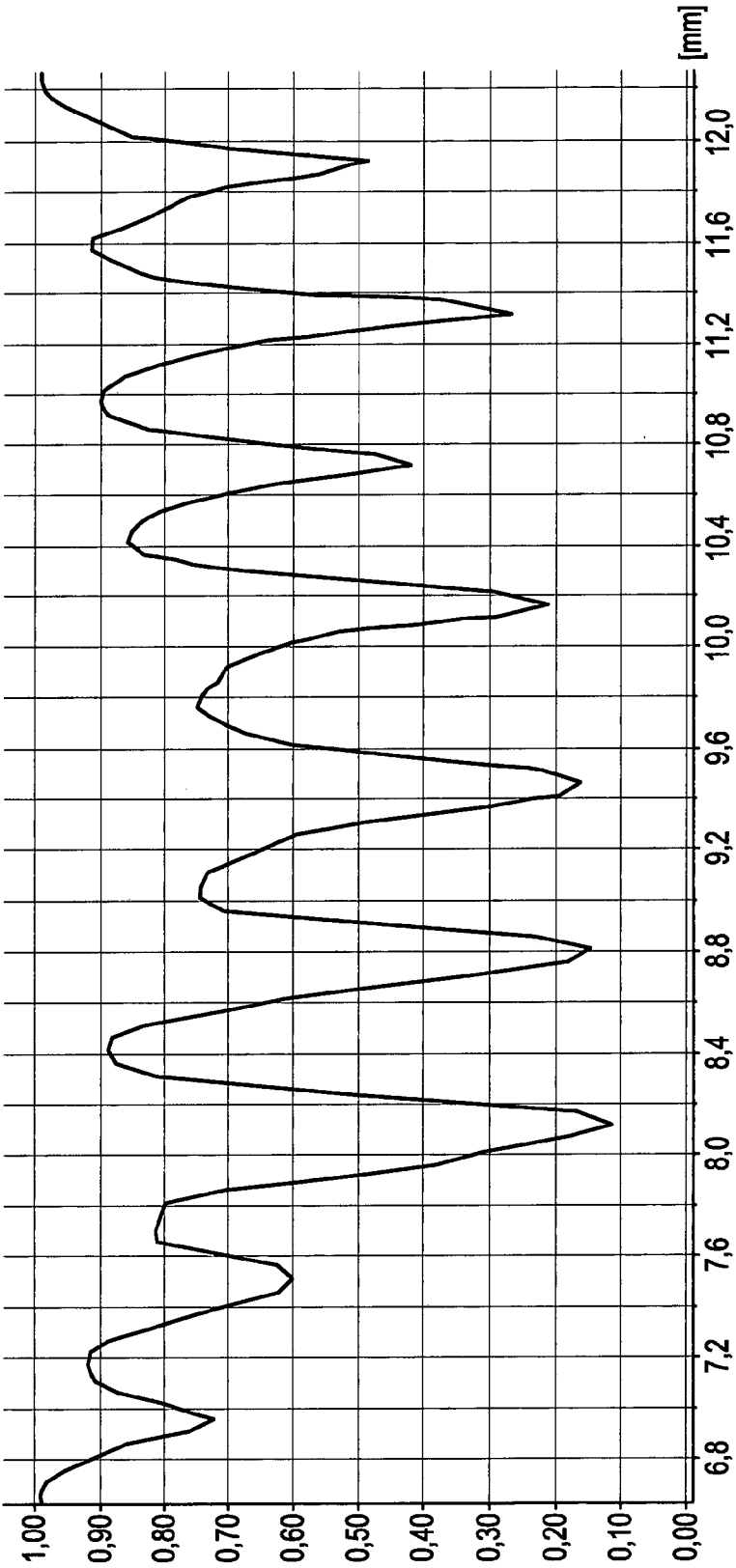


Fig. 3

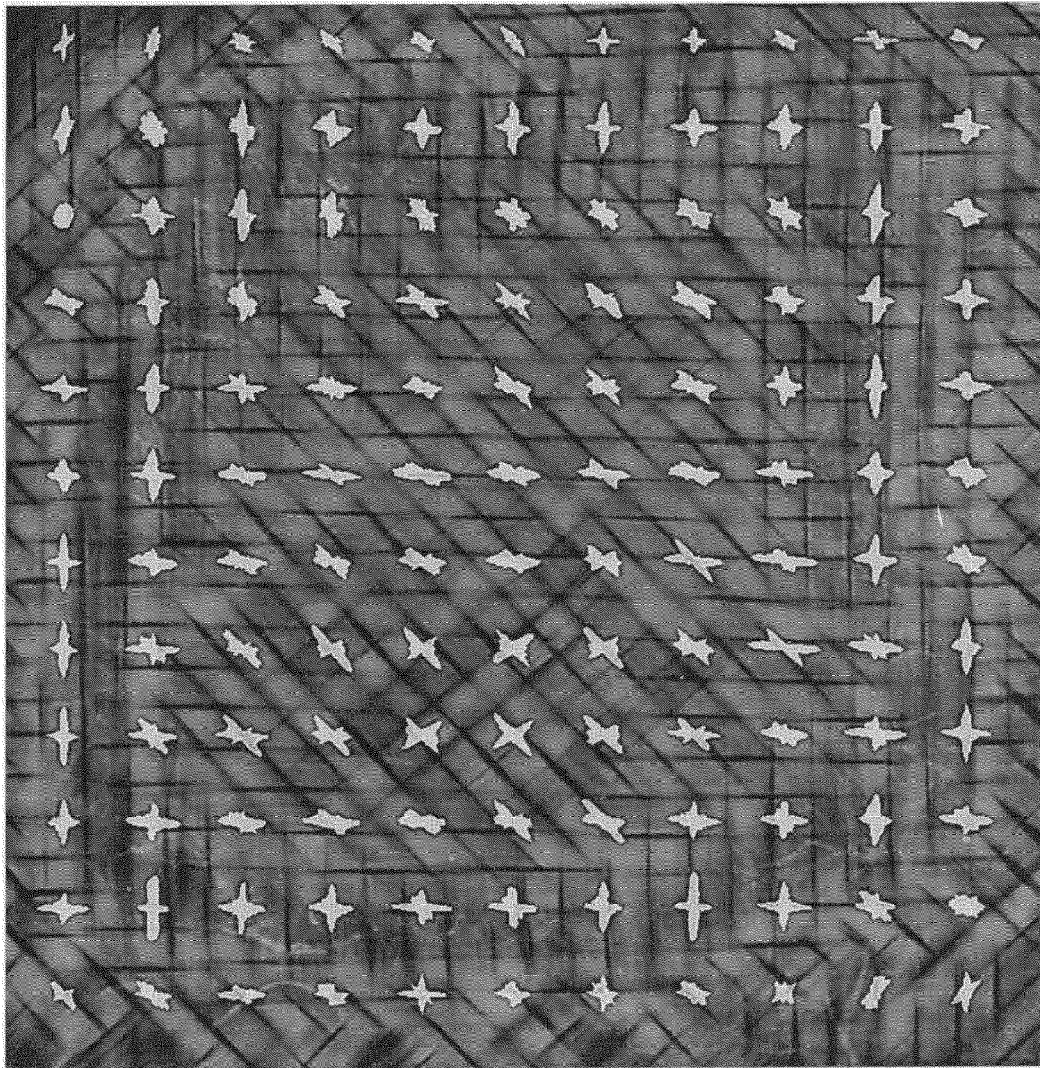


Fig. 5

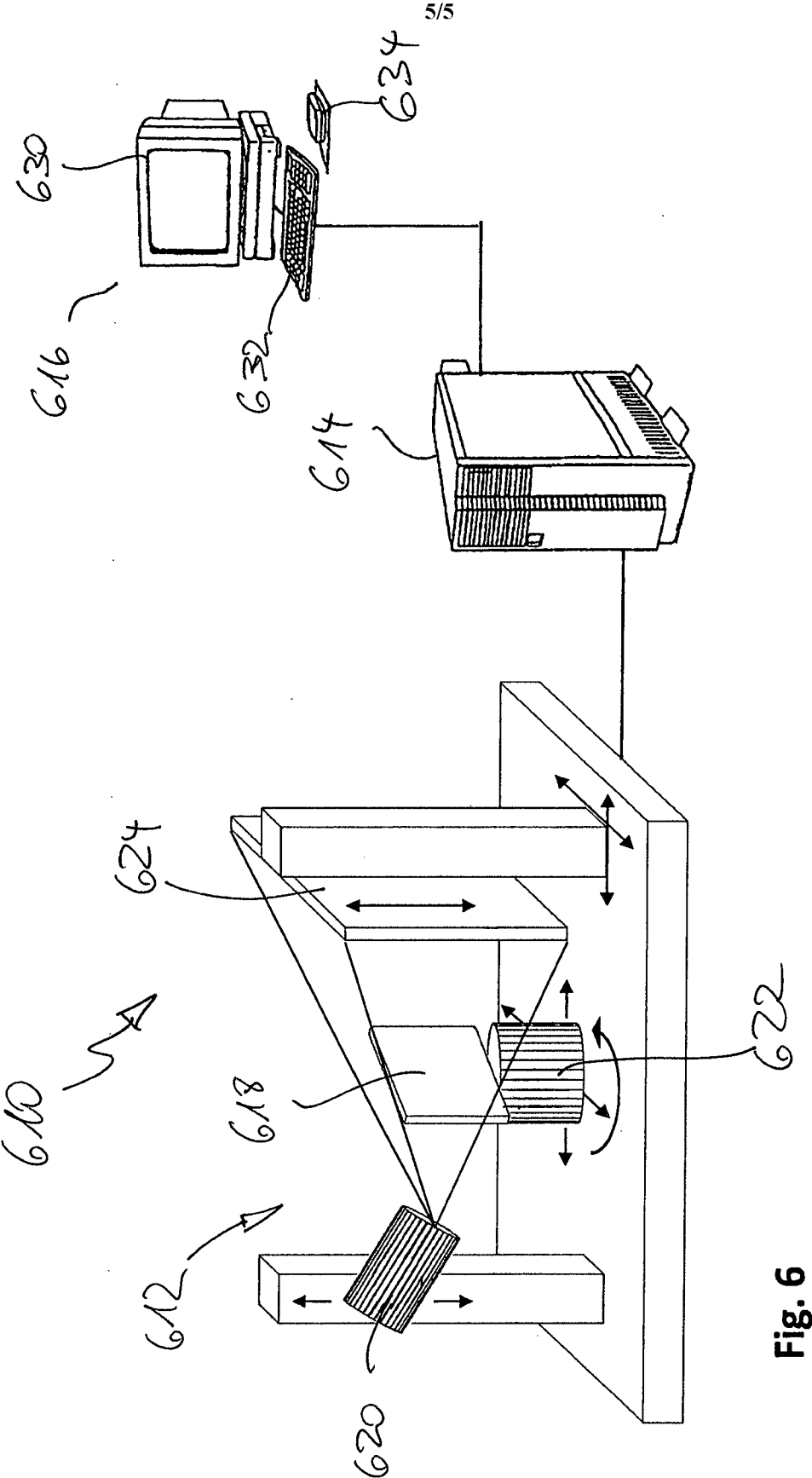


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/000047

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01N23/04 G06T15/00 G06T17/00
ADD.

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)
G01N G06T

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 028 910 A (KIRCHNER THEODORE E [US] ET AL) 22 February 2000 (2000-02-22) column 5, line 41 - column 14, line 62; figures 1a, 1b, 2, 3, 7a, 7b -----	1-19
A	DE 10 2008 046698 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 18 March 2010 (2010-03-18) the whole document ----- -/--	1-19



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"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)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

31 March 2015

Date of mailing of the international search report

10/04/2015

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Zwerger, Markus

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/000047

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	HASSLER U ET AL: "Computed tomography for analysis of fibre distribution in carbon fibre preforms", INSIGHT (NON-DESTRUCTIVE TESTING AND CONDITION MONITORING), BRITISH INSTITUTE OF NON- DESTR. TEST., NORTHAMPTON, GB, vol. 50, no. 6, 1 June 2008 (2008-06-01), pages 312-315, XP002560085, ISSN: 1354-2575, DOI: 10.1784/INSI.2008.50.6.312 the whole document -----	1-19
A	GENNADIY NIKISHKOV ET AL: "Finite element mesh generation for composites with ply waviness based on X-ray computed tomography", ADVANCES IN ENGINEERING SOFTWARE, vol. 58, 1 April 2013 (2013-04-01), pages 35-44, XP055107407, ISSN: 0965-9978, DOI: 10.1016/j.advengsoft.2013.01.002 the whole document -----	1-19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/000047

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6028910	A	22-02-2000	NONE

DE 102008046698 A1	18-03-2010	DE 102008046698 A1	18-03-2010
		EP 2335058 A1	22-06-2011
		ES 2458096 T3	29-04-2014
		WO 2010028789 A1	18-03-2010

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G01N23/04 G06T15/00 G06T17/00
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G01N G06T

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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 6 028 910 A (KIRCHNER THEODORE E [US] ET AL) 22. Februar 2000 (2000-02-22) Spalte 5, Zeile 41 - Spalte 14, Zeile 62; Abbildungen 1a, 1b, 2, 3, 7a, 7b -----	1-19
A	DE 10 2008 046698 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 18. März 2010 (2010-03-18) das ganze Dokument ----- -/--	1-19



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



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

31. März 2015

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

10/04/2015

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

Zwerger, Markus

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	HASSLER U ET AL: "Computed tomography for analysis of fibre distribution in carbon fibre preforms", INSIGHT (NON-DESTRUCTIVE TESTING AND CONDITION MONITORING), BRITISH INSTITUTE OF NON- DESTR. TEST., NORTHAMPTON, GB, Bd. 50, Nr. 6, 1. Juni 2008 (2008-06-01), Seiten 312-315, XP002560085, ISSN: 1354-2575, DOI: 10.1784/INSI.2008.50.6.312 das ganze Dokument -----	1-19
A	GENNADIY NIKISHKOV ET AL: "Finite element mesh generation for composites with ply waviness based on X-ray computed tomography", ADVANCES IN ENGINEERING SOFTWARE, Bd. 58, 1. April 2013 (2013-04-01), Seiten 35-44, XP055107407, ISSN: 0965-9978, DOI: 10.1016/j.advengsoft.2013.01.002 das ganze Dokument -----	1-19

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/000047

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6028910 A	22-02-2000	KEINE	

DE 102008046698 A1	18-03-2010	DE 102008046698 A1	18-03-2010
		EP 2335058 A1	22-06-2011
		ES 2458096 T3	29-04-2014
		WO 2010028789 A1	18-03-2010
