

(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  
14. Januar 2021 (14.01.2021)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2021/005192 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation: *G06T 11/00* (2006.01) *G06T 17/20* (2006.01)
- (72) Erfinder: **OERTEL, Eric**; An der Wabe 27, 38104 Braunschweig (DE). **WEDEKIND, Markus**; Altstadttring 13, 38118 Braunschweig (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/069479
- (74) Anwalt: **GRAMM, LINS & PARTNER PATENT- UND RECHTSANWÄLTE PARTGMBB**; Freundallee 13a, 30173 Hannover (DE).
- (22) Internationales Anmeldedatum: 10. Juli 2020 (10.07.2020)
- (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, IT, 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, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 10 2019 118 667.6  
10. Juli 2019 (10.07.2019) DE
- (71) Anmelder: **GOM GMBH** [DE/DE]; Schmitzstraße 2, 38122 Braunschweig (DE).

(54) Title: METHOD FOR GENERATING SURFACE DATA AND DEVICE FOR THIS PURPOSE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ERZEUGUNG VON OBERFLÄCHENDATEN UND VORRICHTUNG HIERZU

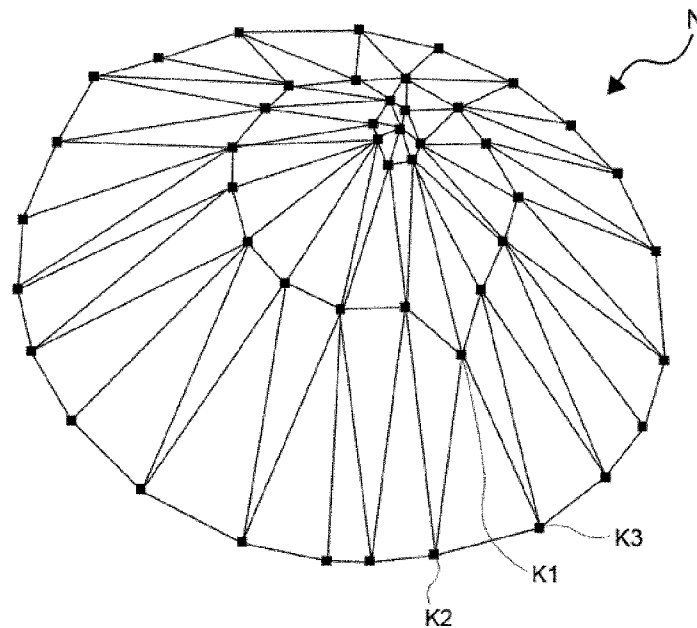


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method for generating surface data of an object (2) using projection images, which have been recorded via computed tomography measuring of the object (2) positioned in the beam path (6) between a radiation source (3) and a detector unit (5), comprising the steps of I) creating a first volume model with the projection images; II) generating a first surface network (N) with node points based on the volume model; characterised by III) optimising the surfaces of the surface network (N) with the aid of projection images recorded by the detector unit (5).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von Oberflächendaten eines Objektes (2) mit Projektionsbildern, die durch computertomografische Vermessung des in den Strahlengang (6) zwischen einer Strahlungsquelle (3) und einer



WO 2021/005192 A1

TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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).

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

---

Detektoreinheit (5) positionierten Objektes (2) erfasst wurden, mit den Schritten I) Erstellen eines ersten Volumenmodells mit den Projektionsbildern; II) Erzeugen eines ersten Oberflächennetzes (N) mit Knotenpunkten basierend auf dem Volumenmodell; gekennzeichnet durch: III) Optimieren der Oberflächen des Oberflächennetzes (N) unter Zuhilfenahme von mit der Detektoreinheit (5) erfassten Projektionsbildern.

**Verfahren zur Erzeugung von Oberflächendaten und Vorrichtung hierzu**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von Oberflächendaten eines Objektes mit Projektionsbildern, die durch computertomografische Vermessung des in den Strahlengang zwischen einer Strahlungsquelle und einer Detektoreinheit positionierten Objektes erfasst wurden, sowie eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete Vorrichtung.

Messeinrichtungen zur computertomografischen Vermessung eines Objektes kommen inzwischen verstärkt im industriellen Umfeld zur Prüfung von Werkstücken zum Einsatz.

Eine typische Messeinrichtung zur computertomografischen Vermessung eines Objektes beinhaltet dabei zumindest eine Strahlungsquelle (Quelle invasiver Strahlung, zum Beispiel eine Röntgenquelle), eine Positionierungsvorrichtung zur Positionierung und Bewegung des Objektes (Manipulationssystem, beispielsweise ein Drehtisch), und eine Detektoreinheit (beispielsweise ein Flat-Panel-Detektor).

Um ein Objekt computertomografisch zu vermessen, wird dieses beispielsweise mit Hilfe der Positionierungsvorrichtung im Strahlengang zwischen der Strahlungsquelle und der Detektoreinheit positioniert. Je nach Material und Materialstärke wird die invasive Strahlung der Strahlungsquelle unterschiedlich stark beim Durchdringen des Objektes abgeschwächt. Die Detektoreinheit erfasst Daten (Projektionsbilder), die ein zweidimensionales Abbild des Objektes repräsentieren. Das Objekt wird mit Hilfe der Positionierungsvorrichtung in eine andere Position gebracht und es werden weitere Daten aufgenommen. Zur Vermessung eines Objektes ist es üblich Daten in bis zu mehreren hundert unterschiedlichen Positionen des Objektes aufzunehmen, beispielsweise indem sich das Objekt auf einem Drehtisch befindet und zwischen den Aufnahmen um einen vorgegebenen Winkel rotiert.

Aus den Projektionsbildern kann mit Hilfe eines Rekonstruktionsalgorithmus ein Volumendatensatz berechnet werden, der das Objekt dreidimensional beschreibt.

Die Volumendaten setzen sich dabei aus einer Vielzahl einzelner Volumenelemente zusammen, die häufig auch als Voxel bezeichnet werden. In jedem Voxel kann unter anderem auch die Information über eine Materialdichte dieses Volumenelementes gespeichert sein. Die unterschiedlichen Dichtedaten, die in jedem Voxel gespeichert sind, werden beispielsweise durch unterschiedliche Grauwerte dargestellt.

Um in der Messtechnik übliche Auswertemethoden einsetzen zu können, wie beispielsweise Form- und Maßanalysen oder Soll-Ist-Vergleiche, ist es vorteilhaft die Volumendaten in Oberflächendaten umzuwandeln. Beispielsweise können unterschiedliche Materialien eines Objekts dabei als separate Oberflächennetze (STL-Netze) dargestellt werden. So lassen sich auch interne Strukturen für die Analyse nutzen.

Zur Erstellung der Oberflächendaten sind bereits Verfahren, wie der Marching Cube Algorithmus bekannt.

Beispielsweise unter der Annahme, dass unterschiedliche Materialien zu unterschiedlichen Abschwächungen der invasiven Strahlung führen und damit zu anderen Messwerten in den einzelnen Volumenelementen, kann die Oberfläche als die Grenze zwischen entsprechenden Bereichen definiert werden. Selbst bei einfachen Messobjekten, die aus einem einheitlichen Material bestehen, können die Oberflächen als die Grenzflächen vom Material des Messobjektes zum Umgebungsmaterial (Luft) bestimmt werden.

Als Oberflächendaten seien im Folgenden die Daten zu verstehen, die Oberflächen eines Objektes beschreiben, beispielsweise polygonale Oberflächennetze. Als Oberflächen des Objektes können nicht nur die Grenzflächen zwischen dem Objekt und der Umgebung, beispielsweise Luft, verstanden werden, sondern auch Grenzflächen innerhalb des Objektes zwischen unterschiedlichen Dichtebereichen, also zum Beispiel unterschiedlichen Materialien.

Bei herkömmlichen Verfahren kommt es bei der Erzeugung von Oberflächendaten basierend auf den Volumendaten häufig zu sogenannten Treppenartefakten. Das

heißt selbst in der Realität ebene Materialgrenzen weisen eine treppenförmige Struktur auf, da der Berechnung die Volumenelemente des Voxel-Modells zugrunde liegen.

5 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es ein verbessertes Verfahren zu schaffen, um aus den Messdaten einer computertomografischen Messung Oberflächendaten zu erzeugen.

10 Diese Aufgabe wird mit einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und einer Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 8 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

15 Es wird vorgeschlagen bei der Oberflächenfindung nicht nur die Volumendaten zu verwenden, sondern auch die Projektionsbilder für die Berechnung der Oberflächenpunkte mit einzubeziehen.

Das Verfahren umfasst die folgenden Schritte:

- 20 I) Erstellen eines ersten Volumenmodells mit den Projektionsbildern;
- II) Erzeugen eines ersten Oberflächennetzes mit Knotenpunkten basierend auf dem Volumenmodell;
- III) Optimieren der Oberflächen des Oberflächennetzes unter Zuhilfenahme von mit der Detektoreinheit erfassten Projektionsbildern.

25 Der Schritt III) kann dabei mehrfach ausgeführt werden um die Oberflächendaten weiter zu optimieren. Bevorzugt wird er so oft wiederholt bis ein vordefiniertes Abbruchkriterium erreicht ist.

Vorteilhafterweise umfasst der Schritt III) dabei die folgenden Schritte:

30

- a) Festlegen von Hilfspunkten zu einem Knotenpunkt des Oberflächennetzes
- b) Erneute Rekonstruktion an den Hilfspunkten auf Basis der Projektionsbilder
- c) Auswerten der Rekonstruktion an den Hilfspunkten und Erzeugung einer angepassten Position des Knotenpunktes des Oberflächennetzes

Der Schritt III) wird für eine beliebig definierte Menge an Knotenpunkten des Oberflächennetzes wiederholt. Die definierte Menge, kann dabei nur einen, mehrere oder auch alle Knotenpunkte des Oberflächennetzes umfassen.

5

Auch ist es unerheblich, ob die Schritte a) bis c) erst für einen Knotenpunkt mehrfach oder bis zum Abbruchkriterium durchgeführt werden und erst dann der Verfahrensschritt III) für einen weiteren Knotenpunkt gestartet wird, oder ob eine Ausführung wechselnd für verschiedene Knotenpunkte oder sogar gleichzeitig erfolgt.

10

Zur Vorbereitung wird in Schritt I) ein Volumenmodell in Form eines 3D-Rasters an Grauwerten aus den Projektionsbildern einer computertomografischen Vermessung rekonstruiert. Die computertomografische Vermessung kann dabei als reale Messung durchgeführt werden. Es ist aber auch denkbar die computertomografische Vermessung rechnergestützt zu simulieren.

15

Beispielsweise kann zum Erstellen des Volumenmodells die Methode der gefilterten Rückprojektion (filtered back-projection (FBP)) zum Einsatz kommen. In den einzelnen Voxeln des Volumenmodells können dann Grauwerte gespeichert sein, die die Dichte des Materials widerspiegeln.

20

In Schritt II) werden mit Hilfe eines geeigneten Volumenimportverfahrens basierend auf dem Volumenmodell aus Schritt I) erste Oberflächendaten bestimmt. Die Oberflächendaten sind vorteilhafterweise ein Oberflächennetz, das eine polygonale Oberfläche darstellt. Häufig wird dazu eine Vielzahl von Dreiecken verwendet, die an Knotenpunkten  $K_i$  aneinander treffen. Das Verfahren ist aber nicht auf die Verwendung von Dreiecken eingeschränkt.

25

Ein Beispiel für ein mögliches Volumenimportverfahren ist der Marching Cube Algorithmus.

30

In Schritt III) werden die Oberflächendaten durch eine Veränderung der Positionen  $P(K_i)$  einer oder mehrerer Knotenpunkte  $K_i$  optimiert. Zur Bestimmung der veränderten Knotenpunktposition  $P'(K_i)$  werden zu einem Knotenpunkt  $K_i$  Hilfspunkte  $H_j$

( $K_i$ ) außerhalb der Oberflächendaten definiert. An diesen dreidimensionalen Hilfspunkten  $H_j(K_i)$  wird die Dichte des Materials, bzw. eines die Dichte repräsentierenden Grauwertes bestimmt und daraus eine neue Position  $P'(K_i)$  für einen Knotenpunkt festgelegt.

5

Bereits bekannt sind Verfahren, die die Dichte bzw. den Grauwert an einem Punkt, also beispielsweise einem Hilfspunkt, aus den Dichte- bzw. Grauwerten von benachbarten Knotenpunkten interpolieren. Diese benachbarten Knotenpunkte und ihre Dichte- bzw. Grauwerte stammen dabei beispielsweise aus einem Marching Cube Verfahren. Dabei pflanzen sich Ungenauigkeiten, die bei der Erstellung des Volumenmodells in Schritt I, sowie des Volumenimportverfahrens in Schritt II) vorhanden sind, weiter fort. Das erfindungsgemäße Verfahren setzt daher an dieser Stelle an den ausgewählten Hilfspunkten  $H_j(K_i)$  auf eine Rekonstruktion auf Basis der Messdaten, das heißt die Dichte- bzw. Grauwerte werden direkt an den Hilfspunkten  $H_j(K_i)$  aus den Messdaten (Projektionsbildern) berechnet, beispielsweise mittels gefilterter Rückprojektion (FBP).

10

15

Üblicherweise wird diese Rekonstruktion einen höheren Rechenaufwand und damit einen höheren Zeitaufwand hervorrufen, als eine Interpolation der Dichte- bzw. Grauwerte von benachbarten Knotenpunkten, dafür liefert die direkte Rekonstruktion aber in der Regel genauere Werte. Beispielsweise können bei der Rekonstruktion die im Interpolationsverfahren üblichen Annahmen, wie beispielsweise die Annahme einer linearen Dichteänderung entfallen.

20

25

Die verwendeten Hilfspunkte  $H_j(K_i)$  können auf verschiedene Weise definiert werden.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Hilfspunkte  $H_j(K_i)$  eines Knotenpunktes  $K_i$  entlang einer Normalen-Richtung des Knotenpunktes  $K_i$  gewählt werden. Beispielsweise kann eine Anzahl von  $n$  Hilfspunkten gewählt werden, die beispielsweise ein  $m$ -faches einer Voxellänge vom Knotenpunkt entfernt liegen.  $M$  kann dabei nicht nur ganzzahlige Werte annehmen.

30

Statt der Auswahl der Hilfspunkte entlang einer Normalen-Richtung, können die Hilfspunkte aber auch entlang einer anderen Funktionskurve gewählt werden. Selbst eine freie Wahl der Hilfspunkte in einem Umgebungsvolumen des Knotenpunktes ist denkbar. Diese freie Wahl kann dabei sowohl manuell durch einen Anwender erfolgen als auch automatisiert beispielsweise über eine geeignete computerimplementierte Zufallsfunktion.

Ist die Rekonstruktion an den Hilfspunkten  $H_j$  ( $K_i$ ) erfolgt, so kann auf Basis der damit vorliegenden Grau- bzw. Dichtewerte an den Hilfspunkten  $H_j$  ( $K_i$ ) eine neue Position  $P'(K_i)$  für den zu gehörenden Knotenpunkt  $K_i$  bestimmt werden.

Durch die Änderung der Position eines Knotenpunktes ändert sich entsprechend auch das Oberflächennetz.

Zur Beschleunigung des Verfahrens ist es in einer Ausführungsform vorgesehen einen zusätzlichen Schritt zwischen den Schritten II) und III) durchzuführen, in dem das erste Oberflächennetz voroptimiert wird, indem an gewählten Hilfspunkten die Dichte- bzw. Grauwerte basierend auf den Dichte- und Grauwerten von benachbarten Knotenpunkten interpoliert werden, die im Volumenimportverfahren ermittelt wurden. Damit werden geänderte Positionen für die Knotenpunkte des Oberflächennetzes zu bestimmt. Nach der Voroptimierung wird dann der Verfahrensschritt III) auf die voroptimierten Oberflächendaten angewendet.

Vorteilhafterweise kann das Verfahren auch verwendet werden, um Objektoberflächen in Schnittbildern zu bestimmen. Dazu kann in einem Zwischenschritt das in Schritt I erstellte erste Volumenmodell mit einer Ebene geschnitten werden. Das durch den Schnitt entstandene Volumenmodell tritt dann für die weitere Ausführung des Verfahrens an die Stelle des ursprünglichen ersten Volumenmodells, so dass danach mit Schritt II fortgefahren werden kann.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von nicht einschränkenden Ausführungsbeispielen mit den beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Es zeigt:

Figur 1 – Schematische Darstellung einer Teils einer Objektoberfläche vor einer Optimierung;

Figur 2 – Schematische Darstellung einer Teils einer Objektoberfläche nach einer Optimierung;

5 Figur 3 – Veranschaulichung der Positionsänderung eines Knotenpunktes im Zuge der Optimierung;

Figur 4 – Schematische Darstellung einer beispielhaften Vorrichtung zur computertomografischen Vermessung eines Objektes und zum Erzeugen von Oberflächendaten.

10

Figur 1 zeigt ein beispielhaftes Oberflächennetz  $N$  eines Ausschnittes eines Objektes. Das Objekt sei zur Vereinfachung aus einem Material, so dass die in diesem Beispiel zu bestimmende Oberfläche, die Grenzfläche von Objektmaterial zu Luft ist. Das Verfahren ist aber auch auf Grenzflächen zwischen anderen Materialien anwendbar.

15

Dargestellt ist ein kegelförmiger Oberflächenbereich, der aus dem Objekt herausragt. Das Kegellinnere besteht also aus dem Material des Objektes.

20

Das dargestellte Oberflächennetz  $N$  veranschaulicht eine Oberfläche, die mit einem Volumenimportverfahren aus Messdaten (Projektionsbildern) einer computertomografischen Vermessung erzeugt wurde.

25

Die Oberfläche wird mit Hilfe einer Vielzahl von Dreiecken beschrieben, die an Knotenpunkten  $K_i$  aneinander treffen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind in der Figur 1 nur beispielhaft drei der Knoten  $K_1$ ,  $K_2$  und  $K_3$  mit einer Kennzeichnung versehen. Die Knotenpunkte  $K_1$ ,  $K_2$  und  $K_3$  befinden sich dabei an einer Position  $P(K_1)$ ,  $P(K_2)$ ,  $P(K_3)$ .

30

Die Auswahl der Knotenpunkte dient hier nur der Veranschaulichung und ist nicht einschränkend zu verstehen.

Figur 2 zeigt eine schematische Darstellung des kegelförmigen Oberflächenbereiches, nachdem eine iterative Oberflächenoptimierung unter zur Hilfenahme der

Projektionsbilder stattgefunden hat. Infolge der Durchführung des Verfahrens befinden sich die Knotenpunkte K1, K2 und K3 nicht mehr an der ursprünglichen Positionen P(K1), P(K2), P(K3) aus Figur 1, sondern an den veränderten Positionen P'(K1), P'(K2) und P'(K3) und daher hier mit den Bezeichnungen K1', K2' und K3' versehen.

Die Durchführung des Optimierungsschrittes wird in Figur 3 veranschaulicht.

Für den Knotenpunkte K1 wurde eine Normalen-Richtung bestimmt, die durch den Pfeil N1 veranschaulicht wird. Entlang einer Geraden G1, die in Normalen-Richtung verläuft, werden Hilfspunkte H1 (K1), H2 (K1), H3 (K1), H4 (K1), H5 (K1) und H6 (K1) festgelegt. Da in dieser Figur nur auf den Knotenpunkt K1 Bezug genommen wird, seien die Hilfspunkte vereinfacht nur mit H1 bis H6 bezeichnet.

An diesen Hilfspunkten H1 bis H6 werden mit Hilfe eines beliebigen Rekonstruktionsalgorithmus aus den Projektionsbildern einer computertomografischen Vermessung Werte bestimmt, die die Dichte des Materials des Objektes an diesen Punkten repräsentieren.

Anhand der ermittelten Dichte aller dieser Hilfspunkte kann dann eine optimierte Position P'(K1) bestimmt werden.

Beispielsweise sei angenommen, dass die Hilfspunkte H1 und H2 sich im Inneren des Objektes befinden, da sie in negativer Richtung entlang der Normalen G1 liegen.

Die Hilfspunkte H5 und H6 seien als außerhalb des Objektes angenommen. Damit kann beispielsweise das Maximum der Dichte an den beiden Punkten H1 und H2 als die Dichte des Objektmaterials angenommen werden, und das Minimum der Dichte der Hilfspunkte H5 und H6 als die Dichte der Umgebung.

Damit können Schwellwerte definiert werden, die den inneren und äußeren Bereich kennzeichnen.

Die ermittelten Dichte-Werte an den Hilfspunkten H3 und H4 können jetzt genutzt werden eine Position entlang der Normalen zu definieren, an der der Materialübergang angenommen wird. Diese ermittelte Position wird dem Knotenpunkt K1 als seine veränderte Position P'(K1) zugewiesen, und der Knotenpunkt ist in seiner neuen Position mit K1' in der Figur gekennzeichnet.

Zur Veranschaulichung der Änderung der Oberfläche durch die Oberflächenoptimierung nach Schritt III) des Verfahrens, sind in Figur 3 beispielhaft die Verbindungslinien von Knotenpunkt K1 zu benachbarten Knotenpunkten K2 und K3 durchgezogen dargestellt. Nachdem die Position des Knotenpunktes K1 optimiert wurde, ergeben sich für diese optimierte Position (K1') die gestrichelt dargestellten Verbindungslinien zu den benachbarten Knotenpunkten K2 und K3.

Figur 4 zeigt einen schematischen Aufbau einer beispielhaften Ausführungsform einer Vorrichtung 1 zur computertomografischen Vermessung eines Objektes 2 und zur Durchführung eines Verfahrens zur Erzeugung von Oberflächendaten eines Objektes 2.

Die Vorrichtung 1 hat eine Strahlungsquelle 3 (Quelle invasiver Strahlung, zum Beispiel eine Röntgenquelle), eine Positionierungsvorrichtung 4 zur Positionierung und Bewegung des Objektes 2 (Manipulationssystem, beispielsweise ein Drehtisch), und eine Detektoreinheit 5 (beispielsweise ein Flat-Panel-Detektor).

Um ein Objekt 2 computertomografisch zu vermessen, wird dieses beispielsweise mit Hilfe der Positionierungsvorrichtung 4 im Strahlengang 6 zwischen der Strahlungsquelle 3 und der Detektoreinheit 5 positioniert. Es werden mit Hilfe der Detektoreinheit 5 Projektionsbilder in unterschiedlichen Positionen des Objektes 2 aufgenommen, beispielsweise indem das Objekt 2 mit Hilfe des Drehtisches 4 zwischen den Aufnahmen um einen vorgegebenen Winkel gedreht wird.

Des Weiteren ist eine Auswerteeinheit 7 vorhanden. Die Auswerteeinheit 7 ist zur Ausführung geeigneter Programmmittel geeignet, um ein Verfahren zur Erzeugung von Oberflächendaten eines Objektes 2 mit Projektionsbildern, die durch computertomografische Vermessung des in den Strahlengang 6 zwischen der

Strahlungsquelle 3 und der Detektoreinheit 5 positionierten Objektes 2 erfasst wurden auszuführen.

5 Die hier dargestellte Ausführungsform mit einer getrennten Auswerteeinheit 7 ist beispielhaft. Es sind weitere Ausführungsformen möglich. Beispielsweise kann die Auswerteeinheit 7 auch in die Vorrichtung 1 integriert sein. Vorteilhafterweise ist die Auswerteeinheit 7 in eine Steuereinheit, die zur Steuerung der computertomografischen Vermessung geeignet ist, integriert.

**Patentansprüche:**

1. Verfahren zur Erzeugung von Oberflächendaten eines Objektes (2) mit Projektionsbildern, die durch computertomografische Vermessung des in den Strahlengang (6) zwischen einer Strahlungsquelle (3) und einer Detektoreinheit (5) positionierten Objektes (2) erfasst wurden, mit den Schritten

I) Erstellen eines ersten Volumenmodells mit den Projektionsbildern;

II) Erzeugen eines ersten Oberflächennetzes (N) mit Knotenpunkten basierend auf dem Volumenmodell;

gekennzeichnet durch:

III) Optimieren der Oberflächen des Oberflächennetzes (N) unter Zuhilfenahme von mit der Detektoreinheit (5) erfassten Projektionsbildern.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Optimieren der Oberflächen (Schritt III) mehrfach ausgeführt wird, bis ein vordefiniertes Abbruchkriterium erreicht ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Optimieren der Oberflächen unter zur Hilfenahme der Projektionsbilder (Schritt III), die folgenden Schritte umfasst

a) Festlegen von Hilfspunkten zu einem Knotenpunkt des Oberflächennetzes (N);

b) Erneute Rekonstruktion an den Hilfspunkten auf Basis der Projektionsbilder;

c) Auswerten der Rekonstruktion an den Hilfspunkten und Erzeugung einer angepassten Position des Knotenpunktes des Oberflächennetzes (N).

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Verfahrensschritte a) bis c) für mehr als einen Knotenpunkt des Oberflächennetzes (N) durchgeführt werden.
- 5 5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt a) die Hilfspunkte des Knotenpunktes entlang einer Normalen-Richtung des Knotenpunktes oder entlang einer Funktionskurve gewählt werden.
6. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt  
10 a) die Hilfspunkte des Knotenpunktes frei im Raum gewählt werden.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass nach Schritt II) eine Voroptimierung des Oberflächennetzes (N) stattfindet, bei der Dichte- bzw. Grauwerte an Hilfspunkten aus den  
15 Dichte- bzw. Grauwerten benachbarter Knotenpunkte interpoliert werden und erst dann in Schritt III) die Oberflächenoptimierung unter Zuhilfenahme der Projektionsbilder erfolgt.
8. Vorrichtung zur computertomografischen Vermessung eines Objektes (2)  
20 mit einer Strahlungsquelle (3), einer Detektoreinheit (5) und einer Auswerteeinheit (7), wobei die Vorrichtung zur Erfassung von Projektionsbildern des in den Strahlengang (6) zwischen der Strahlungsquelle (3) und der Detektoreinheit (5) positionierten Objektes (2) eingerichtet ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinheit (7) zur Durchführung eines Verfahrens  
25 nach einem der Ansprüche 1 bis 7 eingerichtet ist.

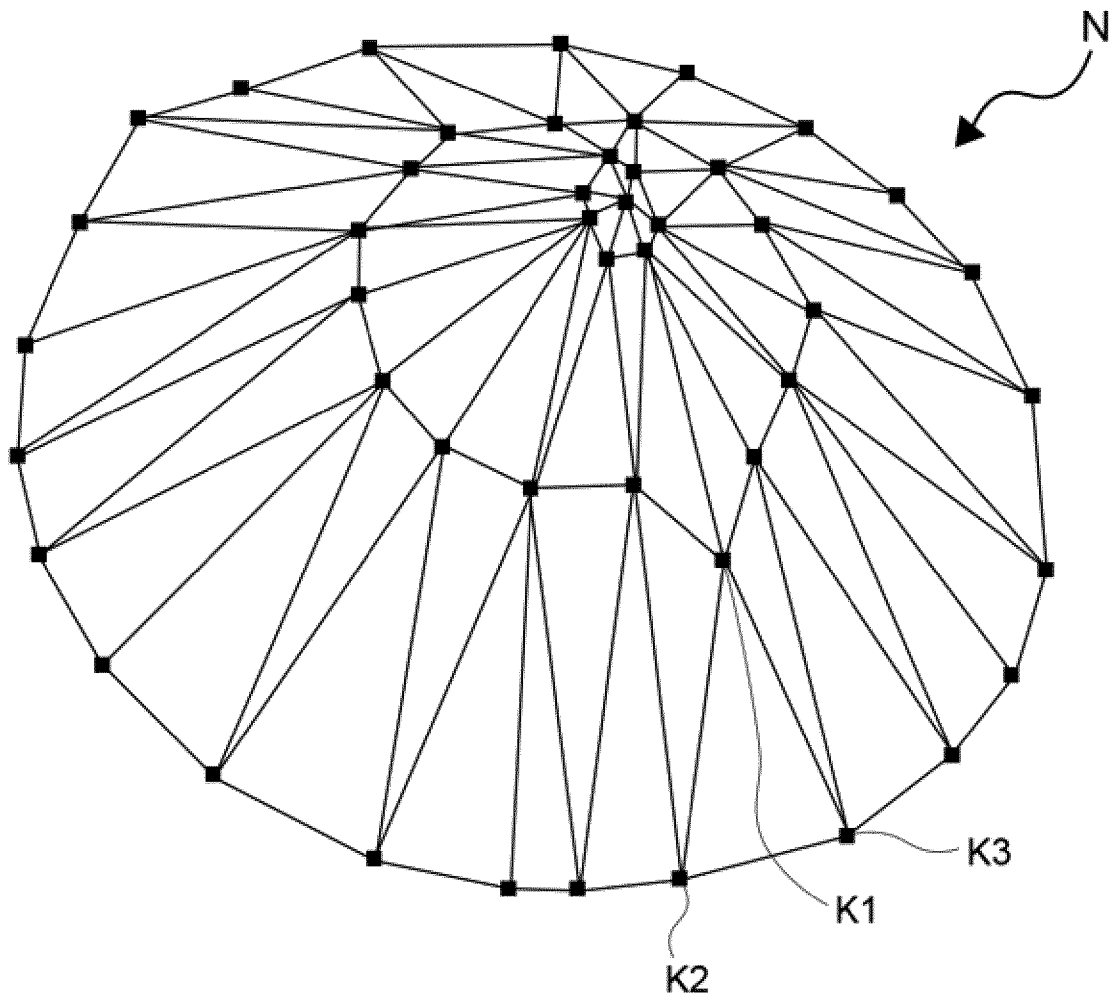


Fig. 1

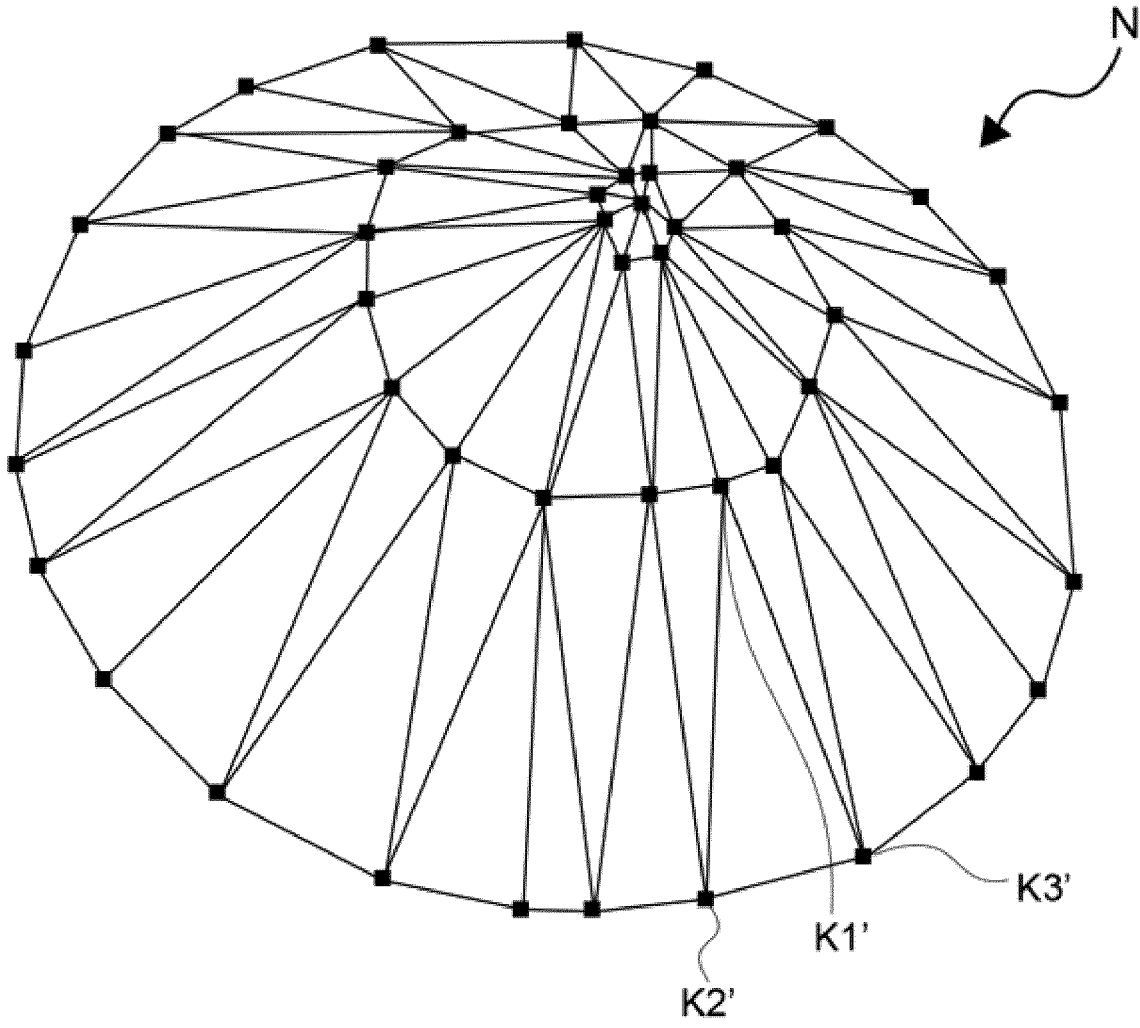


Fig. 2

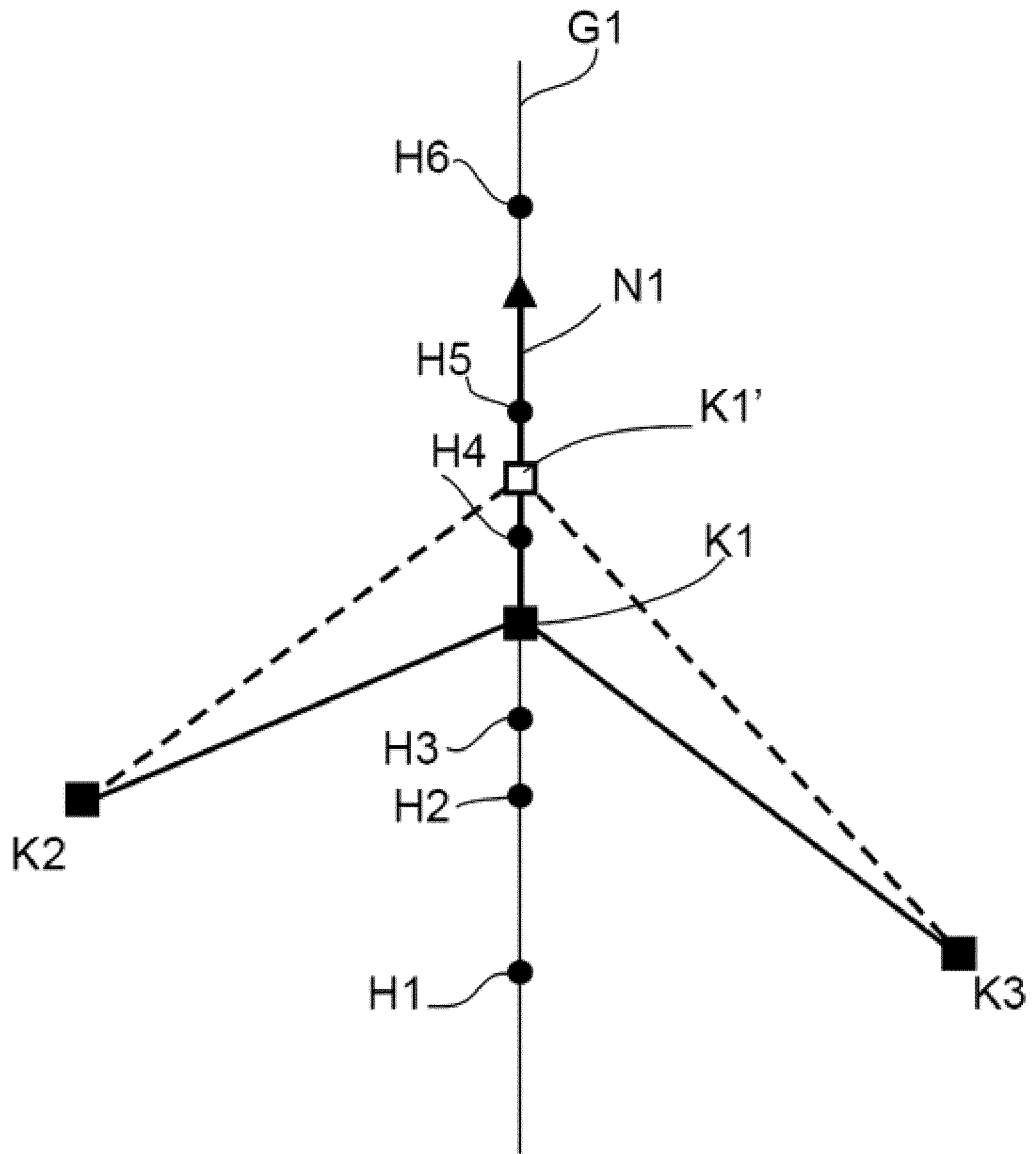


Fig. 3

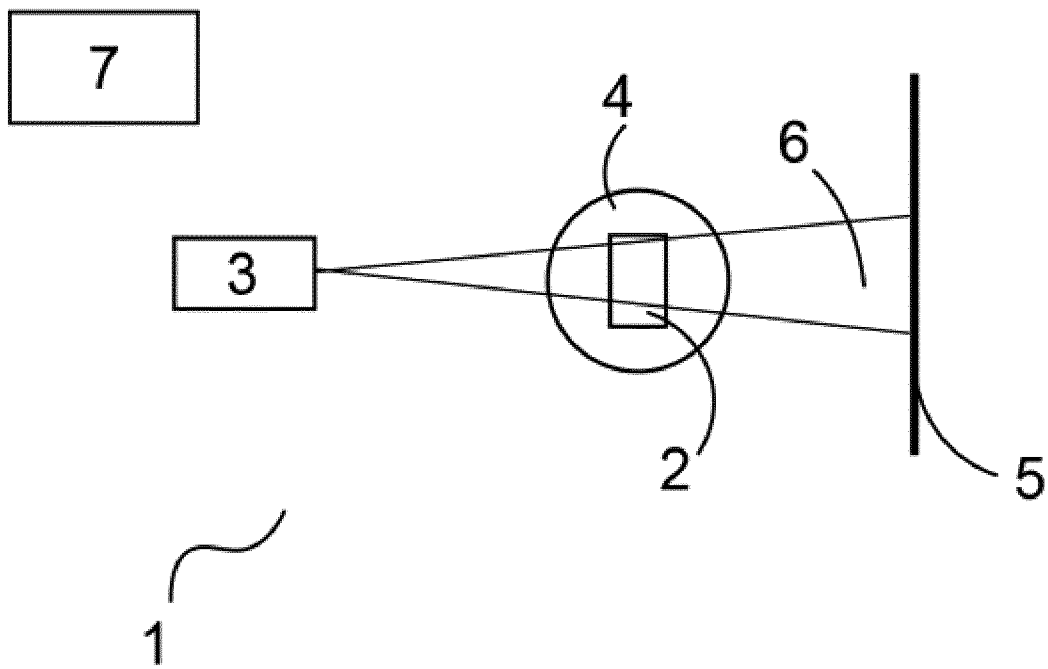


Fig. 4

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/069479

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> <i>G06T 11/00</i> (2006.01)i; <i>G06T 17/20</i> (2006.01)i  According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>  Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) 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, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	YUKIE NAGAI ET AL. "Accurate surface extraction on CT volume using analytical gradient of FDK formula" <i>9TH CONFERENCE ON INDUSTRIAL COMPUTED TOMOGRAPHY</i> , Padova, Italy, 13 February 2019 (2019-02-13), pages 1-8 XP055730296	1,2,7,8
A	the whole document	3-6
A	Christoph Heinzl ET AL. "Reproducible Surface Extraction for Variance Comparison in 3D Computed Tomography" <i>9th European Conference on NDT - September 2006 - Berlin (Germany) (ECNDT 2006)</i> , Berlin, Germany, November 2006 (2006-11), pages 1-8, Retrieved from the Internet: <a href="https://www.ndt.net/article/ecndt2006/doc/We.3.3.4.pdf">https://www.ndt.net/article/ecndt2006/doc/We.3.3.4.pdf</a> [retrieved on 2020-09-14] XP055730501 the whole document	1-8
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input 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>"&amp;" document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search <b>14 September 2020</b>		Date of mailing of the international search report <b>24 September 2020</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Werling, Alexander</b>  Telephone No.

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
 INV. G06T11/00 G06T17/20  
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole )  
 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, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	YUKIE NAGAI ET AL: "Accurate surface extraction on CT volume using analytical gradient of FDK formula", 9TH CONFERENCE ON INDUSTRIAL COMPUTED TOMOGRAPHY, 13. Februar 2019 (2019-02-13), Seiten 1-8, XP055730296, Padova, Italy	1,2,7,8
A	das ganze Dokument ----- -/--	3-6



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	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
14. September 2020	24/09/2020

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  Werling, Alexander
--	---

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>Christoph Heinzl ET AL: "Reproducible Surface Extraction for Variance Comparison in 3D Computed Tomography", 9th European Conference on NDT - September 2006 - Berlin (Germany) (ECNDT 2006), November 2006 (2006-11), Seiten 1-8, XP055730501, Berlin, Germany Gefunden im Internet: URL:<a href="https://www.ndt.net/article/ecndt2006/doc/We.3.3.4.pdf">https://www.ndt.net/article/ecndt2006/doc/We.3.3.4.pdf</a> [gefunden am 2020-09-14] das ganze Dokument</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-8