

(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  
2. September 2010 (02.09.2010)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2010/097076 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:

**G06F 17/50** (2006.01) **G06T 17/20** (2006.01)  
**G06T 17/00** (2006.01)

57, 80637 München (DE). **GROSSMANN, David**  
[DE/DE]; Radeberger Strasse 68, 01900 Großröhrsdorf  
(DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2010/000209

(74) **Gemeinsamer Vertreter: MTU AERO ENGINES GMBH**; Intellectual Property Management, Postfach 50 06 40, 80976 München (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:  
26. Februar 2010 (26.02.2010)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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.

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2009 010 374.0  
26. Februar 2009 (26.02.2009) DE

(71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): MTU AERO ENGINES GMBH** [DE/DE]; Dachauer Strasse 665, 80995 München (DE).

(72) **Erfinder; und**

(75) **Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHÖNENBORN, Harald** [DE/DE]; Montgelasweg 8, 85757 Karlsfeld (DE). **BARNER, Johannes** [DE/DE]; Hohenlohestrasse

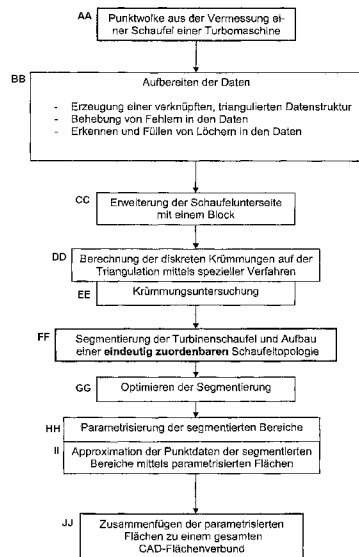
(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** METHOD FOR THE AUTOMATED GENERATION OF A SURFACE MODEL OF AN OBJECT

(54) **Bezeichnung :** VERFAHREN ZUM AUTOMATISIERTEN ERZEUGEN EINES FLÄCHENMODELLS EINES OBJEKTS

Fig. 1



AA... Point cloud from the measurement of a blade of a turbomachine  
BB... Processing the data; generating a linked, triangulated data structure; eliminating errors in the data; detecting and filling gaps in the data  
CC... Expanding the blade underside with a block  
DD... Calculating the discrete curvatures on the triangulation using special methods  
EE... Analyzing the curvatures  
FF... Segmenting the turbine blade and setting up a uniquely allocatable blade topology  
GG... Optimizing the segmenting  
HH... Parameterizing the segmented areas  
II... Approximating the point data of the segmented areas by way of parameterized surfaces  
JJ... Joining the parameterized surfaces into a total CAD surface composite

(57) **Abstract:** A method for the automated generation of a surface model of an object, in particular a blade of a turbomachine, comprises at least the following steps: measuring the surface of the object; providing the data obtained from the measurement in the form of an error-free point cloud, wherein the data is provided in the form of a triangulated point cloud; discretizing and analyzing curvatures of the triangulated point cloud; segmenting the triangulated point cloud on the basis of the results of the curvature analyses; setting up a uniquely allocatable object topology; and generating a parameterized surface model.

(57) **Zusammenfassung:** Ein Verfahren zum automatisierten Erzeugen eines Flächenmodells eines Objekts, insbesondere einer Schaufel einer Turbomaschine, umfasst wenigstens folgende Schritte: - Vermessen der Oberfläche des Objekts; - Bereitstellen der aus der Vermessung erhaltenen Daten in Form einer fehlerfreien Punktwolke, wobei die Daten in Form einer triangulierten Punktwolke bereitgestellt werden; - Diskretisierung und Untersuchung von Krümmungen der triangulierten Punktwolke; - Segmentierung der triangulierten Punktwolke auf Basis der Ergebnisse der Krümmungsuntersuchungen; - Aufbau einer eindeutig zuordenbaren Objekttopologie; und - Erzeugung eines parametrisierten Flächenmodells.

WO 2010/097076 A1



ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

## **Verfahren zum automatisierten Erzeugen eines Flächenmodells eines Objekts**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum automatisierten Erzeugen eines Flächenmodells eines Objekts, insbesondere einer Schaufel einer Turbomaschine, insbesondere einer Verdichter- und/oder Turbinenschaufel.

Die Schaufeln von Turbomaschinen sind fertigungs- oder betriebsbedingt alle leicht unterschiedlich. Diese Unterschiede sollen für analytische Untersuchungen wie FEM (Finite-Elemente-Methode) und CFD (Computational Fluid Dynamics, numerische Strömungsmechanik) zugänglich gemacht werden. Dafür ist es notwendig, die Ist-Geometrie der Schaufeln messtechnisch zu erfassen, entsprechend aufzubereiten und für die weiterverarbeitenden Programme (CAD-Systeme, Computer Aided Design) zur Verfügung zu stellen. Bislang ist kein etabliertes Verfahren bekannt, das diesen Bedarf vollständig abdeckt. Zudem sind die bekannten Verfahren meist nur interaktiv durchführbar.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren zu schaffen, mit dem ohne Zwischenschaltung eines Benutzers aus Messdaten ein Flächenmodell eines Objekts erstellt werden kann, das analytischen Untersuchungen zuführbar ist.

Gelöst wird diese Aufgabe durch ein Verfahren zum automatisierten Erzeugen eines Flächenmodells mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Vorteilhafte und zweckmäßige Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Das erfindungsgemäße Verfahren zum automatisierten Erzeugen eines Flächenmodells eines Objekts, insbesondere einer Schaufel einer Turbomaschine, umfasst wenigstens folgende Schritte:

- Vermessen der Oberfläche des Objekts;
- Bereitstellen der aus der Vermessung erhaltenen Daten in Form einer fehlerfreien Punktwolke, wobei die Daten in Form einer triangulierten Punktwolke bereitgestellt werden;
- Diskretisierung und Untersuchung von Krümmungen der triangulierten Punktwolke;
- Segmentierung der triangulierten Punktwolke auf Basis der Ergebnisse der Krümmungsuntersuchungen;
- Aufbau einer eindeutig zuordenbaren Objekttopologie; und
- Erzeugung eines parametrisierten Flächenmodells.

Grundlegende Techniken, die beim erfindungsgemäßen Verfahren eingesetzt werden können, sind in der Dissertation "Segmentierung und Approximation großer Punktwolken" von Wilhelm Wilke, TU Darmstadt (2002) beschrieben. Weitere grundlegende Informationen sind im „Handbook of Computer Aided Geometric Design“ von G. Farin, J. Hoschek und M.-S. Kim, Elsevier Science B. V. (2002) zu finden.

Gemäß der Erfindung werden auf der Basis von Messdaten mehrere Schritte automatisiert durchgeführt, um ein vollständiges und qualitativ hochwertiges (CAD-) Flächenmodell zu erhalten. Im Falle einer Beschaufelung einer Turbomaschine können anhand der automatisiert erstellten CAD-Modelle reale Geometrien dargestellt und nachgerechnet werden. Damit können z. B. Bauteilabweichungen und Beschädigungen schnell beurteilt werden.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung und aus der beigefügten Zeichnung, auf die Bezug genommen wird. In den Zeichnungen zeigen:

- Figur 1            ein Ablaufschema des erfindungsgemäßen Verfahrens;
- Figur 2            eine grafische Darstellung einer triangulierten Punktwolke in Form einer Triangulation und einer zusammenhangslosen Punktwolke
- Figuren 3a-3c    eine Bildfolge zur Illustration des iterativen Füllens eines Loches in der Triangulation;
- Figuren 4a, 4b   die Krümmungsabschätzung bei einer triangulierten Punktwolke;
- Figur 5            die Zerlegung (Segmentierung) eines Objekts in einzelne Bereiche;
- Figuren 6a, 6b   die Glättung der Ränder der segmentierten Bereiche
- Figuren 7a, 7b   den Aufbau einer eindeutig zuordenbaren Objektstruktur;
- Figur 8            die Vereinigung der parametrisierten Flächen zu einem Gesamt-Flächenverbund.

In **Figur 1** ist ein Ablaufschema des erfindungsgemäßen Verfahrens zum automatisierten Erzeugen eines CAD-Modells eines Objekts dargestellt. Als Objekt ist beispielhaft eine

Schaufel einer Turbomaschine gewählt, was jedoch nicht als Einschränkung des Verfahrens auf ein solches Objekt zu verstehen ist.

Ausgangspunkt des Verfahrens sind Daten in Form einer Punktwolke, die aus einer Vermessung der Oberfläche einer Turbinenschaufel stammen (siehe **Figur 2**). Die Vermessung kann mithilfe eines optischen Verfahrens, wie in der DE 10 2005 054 373 A1 beschrieben, oder auch eines taktilen Verfahrens erfolgt sein. Die Messdaten werden eingelesen und aufbereitet, indem eine verknüpfte Datenstruktur erstellt wird und Fehler in den Daten behoben werden. Ergebnis ist eine Verlinkung der Daten in einer fehlerfreien Objektstruktur aus Punkten, Kanten und Dreiecken; einer fehlerfreien triangulierten Punktwolke.

Um eine "wasserdichte" Oberfläche zu garantieren, werden Löcher (Bereiche ohne Daten, hauptsächlich an den Schaufelkanten, beispielsweise Lücken) bei der Datenaufbereitung erkannt und mit einer aufspannenden und verfeinerten Triangulierung geschlossen. Abschließend erfolgt eine Glättung der auf diese Weise neu hinzugefügten Bereiche anhand der umgebenden Struktur, ohne dass zusätzliche Informationen über die Schaufelgeometrie, z. B. die Krümmung, benötigt werden. Insbesondere wird dafür eine Diskretisierung von geometrischen Flächen auf Mannigfaltigkeiten benutzt. Die Glättung erfolgt in mehreren Iterationsschritten und erreicht an den Rändern eine "beliebig" einstellbare Stetigkeit, wie in der Bildfolge der **Figuren 3a-c** beispielhaft dargestellt.

Im Falle der Vermessung einer Turbinenschaufel wird für spätere Berechnungen der Fuß der Schaufel mit einem triangulierten Block, welcher sich an der Gesamtstruktur der zugehörigen Scheibe orientiert, erweitert.

Anschließend werden, basierend auf speziell gewichteten Normalenvektoren der triangulierten Punktwolke, die Krümmungsbegriffe von parametrisierten 2-dimensionalen Mannigfaltigkeiten (topologische Flächen) diskretisiert und mit verschiedenen, der konkreten Objektgeometrie (hier: Schaufelgeometrie) angepassten Methoden abgeschätzt, wie in den **Figuren 4a, 4b** dargestellt. Insbesondere wird eine Glättung der diskreten Krümmungen durch eine lokale Approximation mittels Flächen 2. Ordnung erreicht. Die resultierenden Krümmungen werden im Hinblick auf eine krümmungsbasierte Segmentierung untersucht und verglichen.

Gemäß einem eigens hierfür entwickelten Algorithmus wird die triangulierte Punktwolke der Turbinenschaufel krümmungsbasiert und automatisch in deren Bestandteile bzw. bekannte Bereiche (z. B. Übergangsradius, Druckseite, Saugseite, etc.) zerlegt, wie in **Figur 5**

illustriert. In der Darstellung der **Figur 6a** sind die bekannten Bereiche dieses Beispiels einzeln bezeichnet: Schaufelspitze 10, Schaufelfläche 12, Schaufelkante 14 und Verrundung 16 am Schaufelfuß. Mithilfe des Algorithmus ist jedes Dreieck der triangulierten Punktwolke eindeutig einem dieser Bereiche zuordenbar. Der Algorithmus dient somit zum Aufbau einer eindeutig zuordenbaren Schaufeltopologie.

Die **Figuren 7a, 7b** zeigen am Beispiel einer Leitschaufel den Aufbau einer eindeutig zuordenbaren Objektstruktur (Objektopologie) mittels Festlegung von Punkten nach eindeutigen Kriterien. Entsprechendes ist grundsätzlich auch für andere Objekte mit bekannten Bereichen möglich, in die eine triangulierte Punktwolke zerlegbar ist.

Vor der Flächenrückführung werden im Rahmen einer Optimierung der Segmentierung die bekannten Bereiche an den Rändern geglättet (siehe **Figur 6b** in Bezug zu **Figur 6a**). Dafür wurden spezielle Funktionale entwickelt, welche mit der Projektion von approximierenden Kurven der diskreten Daten auf die Triangulation glatte Randpolygonzüge direkt auf der Triangulierung erzeugen. Die optimierten Bereiche werden mit geeigneten, topologieunabhängigen Verfahren parametrisiert. Dann erfolgt die Flächenrückführung der einzelnen Bereiche durch die Approximation der zugehörigen Punkte mittels parametrisierter Flächen aus der geometrischen Modellierung (CAGD, Computer Aided Geometric Design). Die Flächenapproximation wird durch die Zuordenbarkeit der Bereiche an die Geometrie und die gewünschte Oberflächenglätte speziell angepasst und erreicht eine sehr hohe Genauigkeit und Stabilität.

Abschließend erfolgt eine Vereinigung der parametrisierten Flächen zu einem Gesamt-Flächenverbund (CAD-Modell), wie in **Figur 8** dargestellt.

## Ansprüche

1. Verfahren zum automatisierten Erzeugen eines Flächenmodells eines Objekts, insbesondere einer Schaufel einer Turbomaschine, mit wenigstens folgenden Schritten
  - Vermessen der Oberfläche des Objekts;
  - Bereitstellen der aus der Vermessung erhaltenen Daten in Form einer fehlerfreien Punktwolke, wobei die Daten in Form einer triangulierten Punktwolke bereitgestellt werden;
  - Diskretisierung und Untersuchung von Krümmungen der triangulierten Punktwolke;
  - Segmentierung der triangulierten Punktwolke auf Basis der Ergebnisse der Krümmungsuntersuchungen;
  - Aufbau einer eindeutig zuordenbaren Objekttopologie; und
  - Erzeugung eines parametrisierten Flächenmodells.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die bei der Vermessung erhaltenen Daten im Rahmen einer Aufbereitung zu einer fehlerfreien Objektstruktur verlinkt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass im Rahmen einer Aufbereitung der bei der Vermessung erhaltenen Daten Löcher erkannt und mit einer aufspannenden und verfeinerten Triangulierung geschlossen werden.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die durch die Schließung der Löcher neu hinzugefügten Bereiche in mehreren Iterationsschritten anhand der umgebenden Struktur geglättet werden, ohne dass zusätzliche Informationen über die Schaufelgeometrie einbezogen werden.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass basierend auf speziell gewichteten Normalenvektoren der triangulierten Punktwolke die Krümmungsbegriffe von parametrisierten 2-dimensionalen Mannigfaltigkeiten diskretisiert, mittels der Approximation von Flächen zweiter Ordnung geglättet und mit der Objektgeometrie angepassten Methoden abgeschätzt werden.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die triangulierte Punktwolke krümmungsbasiert und automatisch in bekannte Bereiche segmentiert wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine eindeutig zuordenbare Objekttopologie aufgebaut wird.
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass im Rahmen einer Optimierung der Segmentierung die Bereiche an den Rändern mit speziellen Funktionalen, welche glatte Randpolygonzüge direkt auf der Triangulierung erzeugen, geglättet und mit topologieunabhängigen Verfahren parametrisiert werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass eine Flächenrückführung der Bereiche durch Approximation der zugehörigen Punkte mittels parametrisierter Flächen aus einer geometrischen Modellierung erfolgt.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die parametrisierten Flächen zu einem Gesamt-Flächenverbund, insbesondere einem CAD-Modell, zusammengefügt werden.



Fig. 1

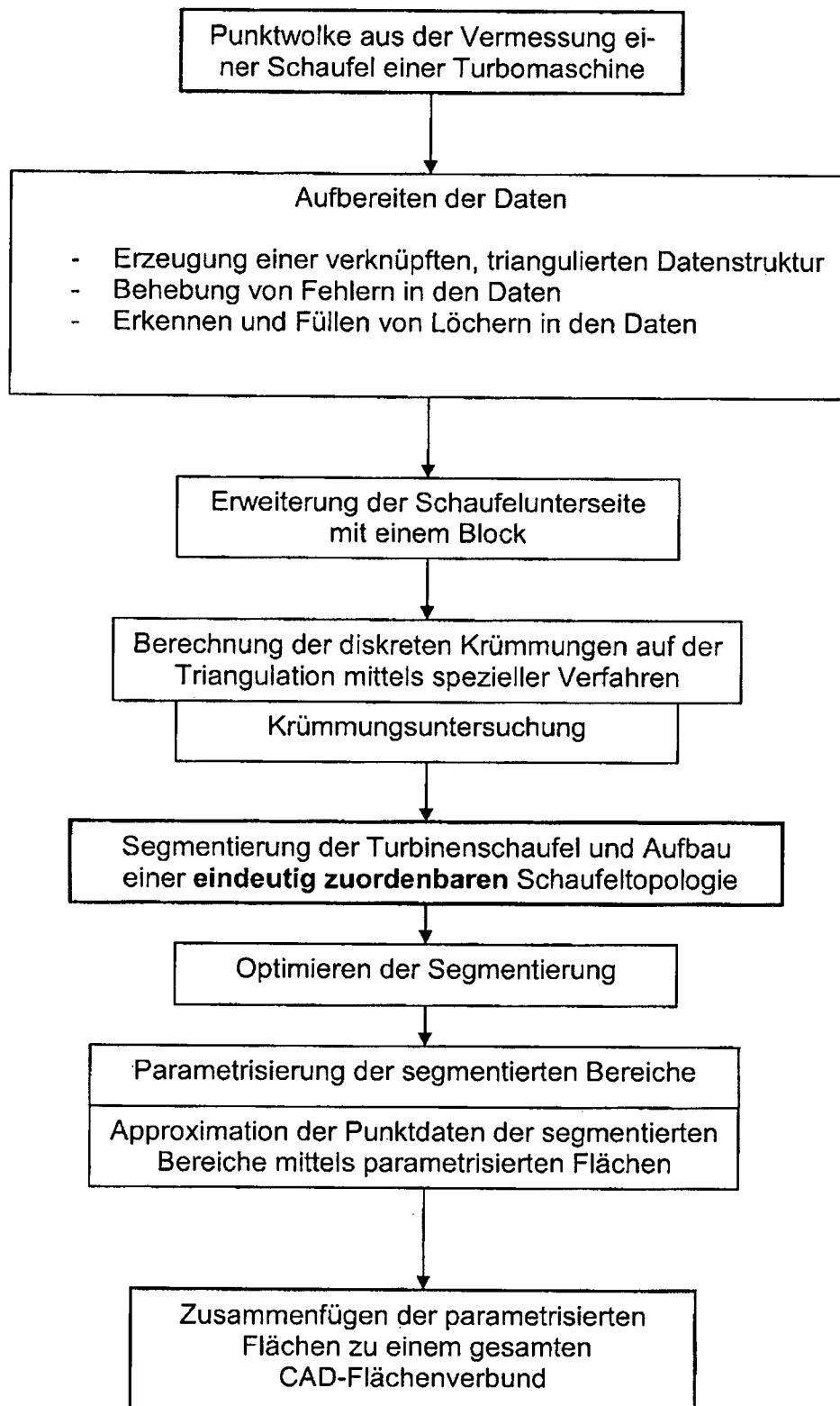


Fig. 2

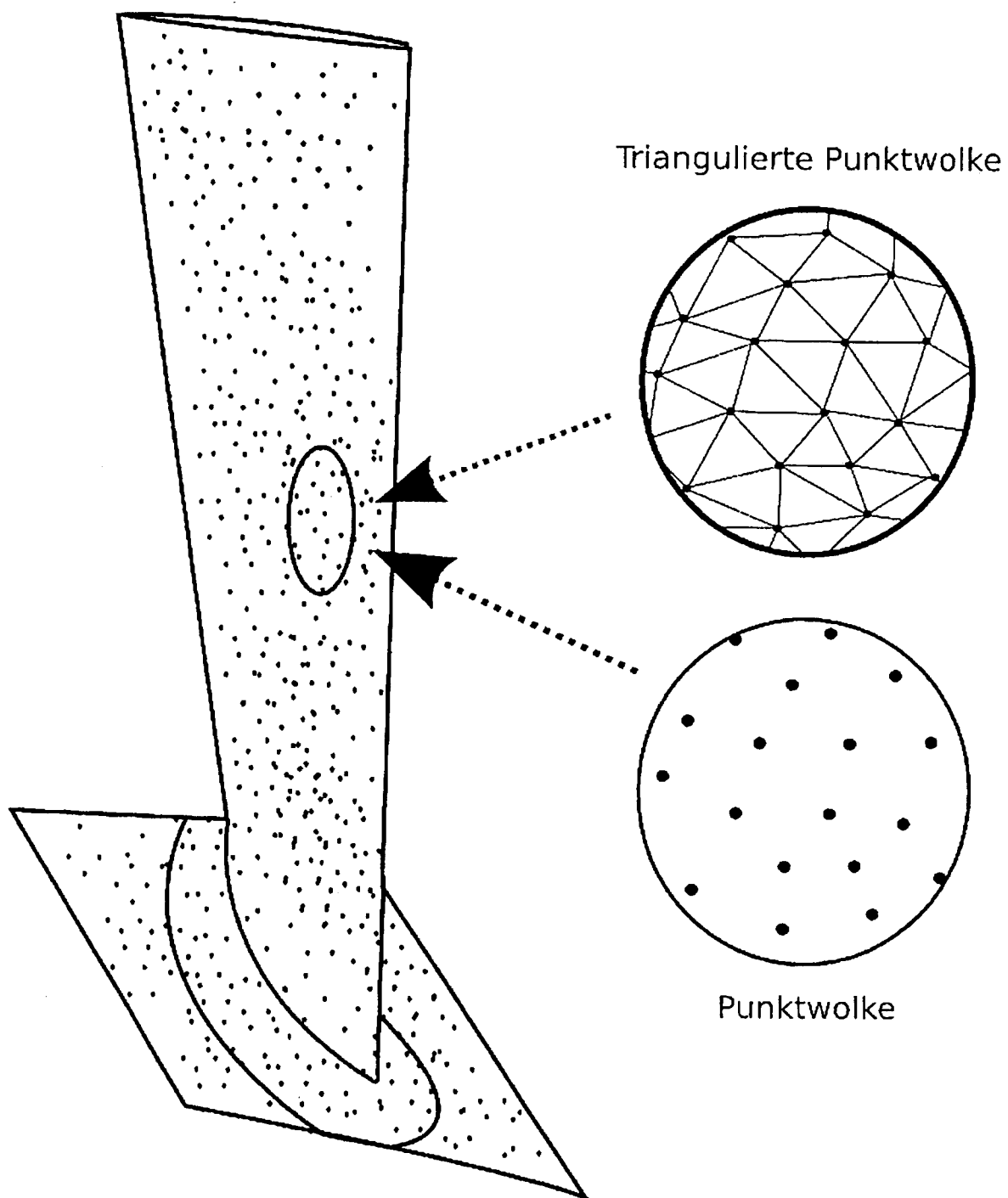


Fig. 3a

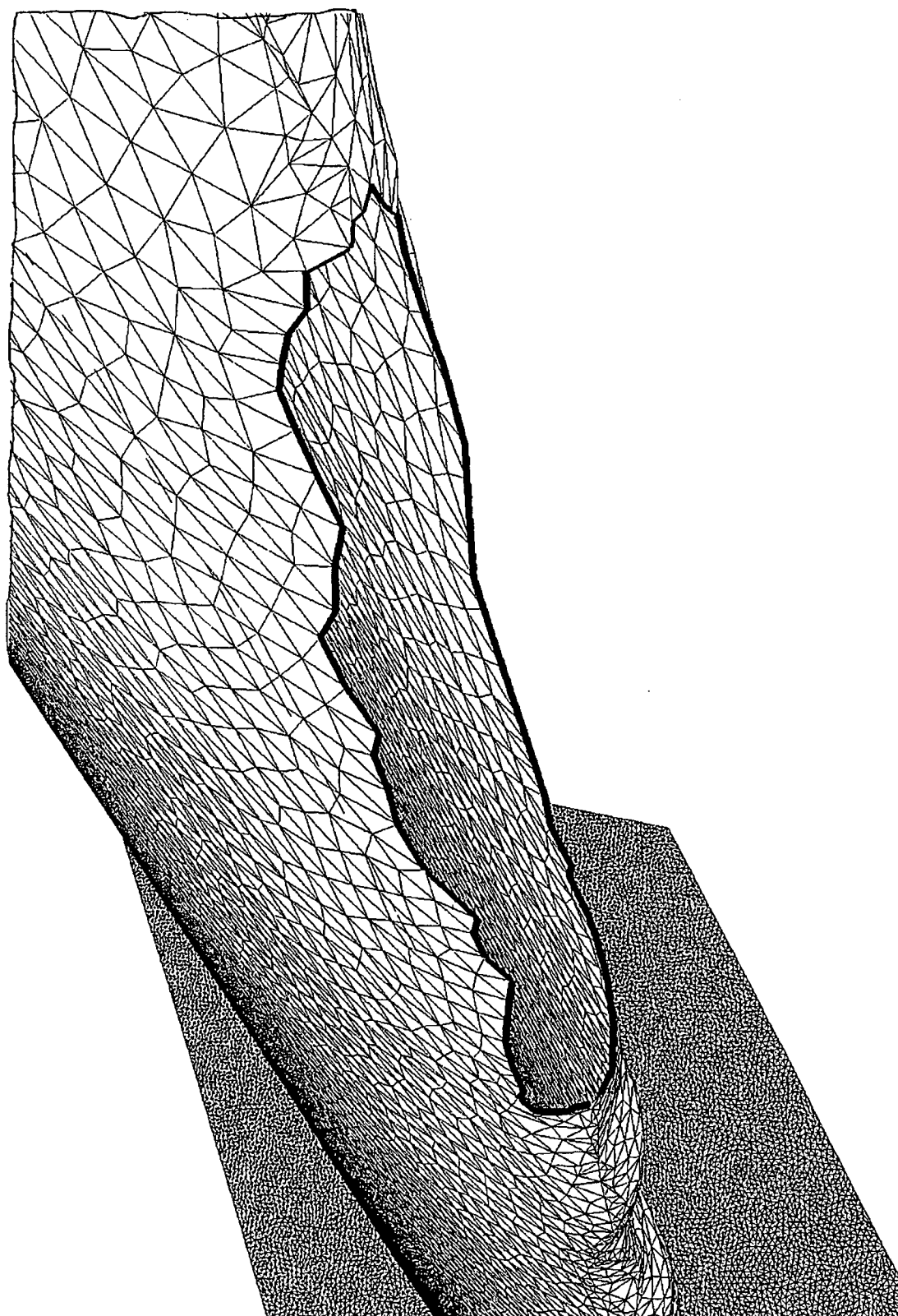


Fig. 3b

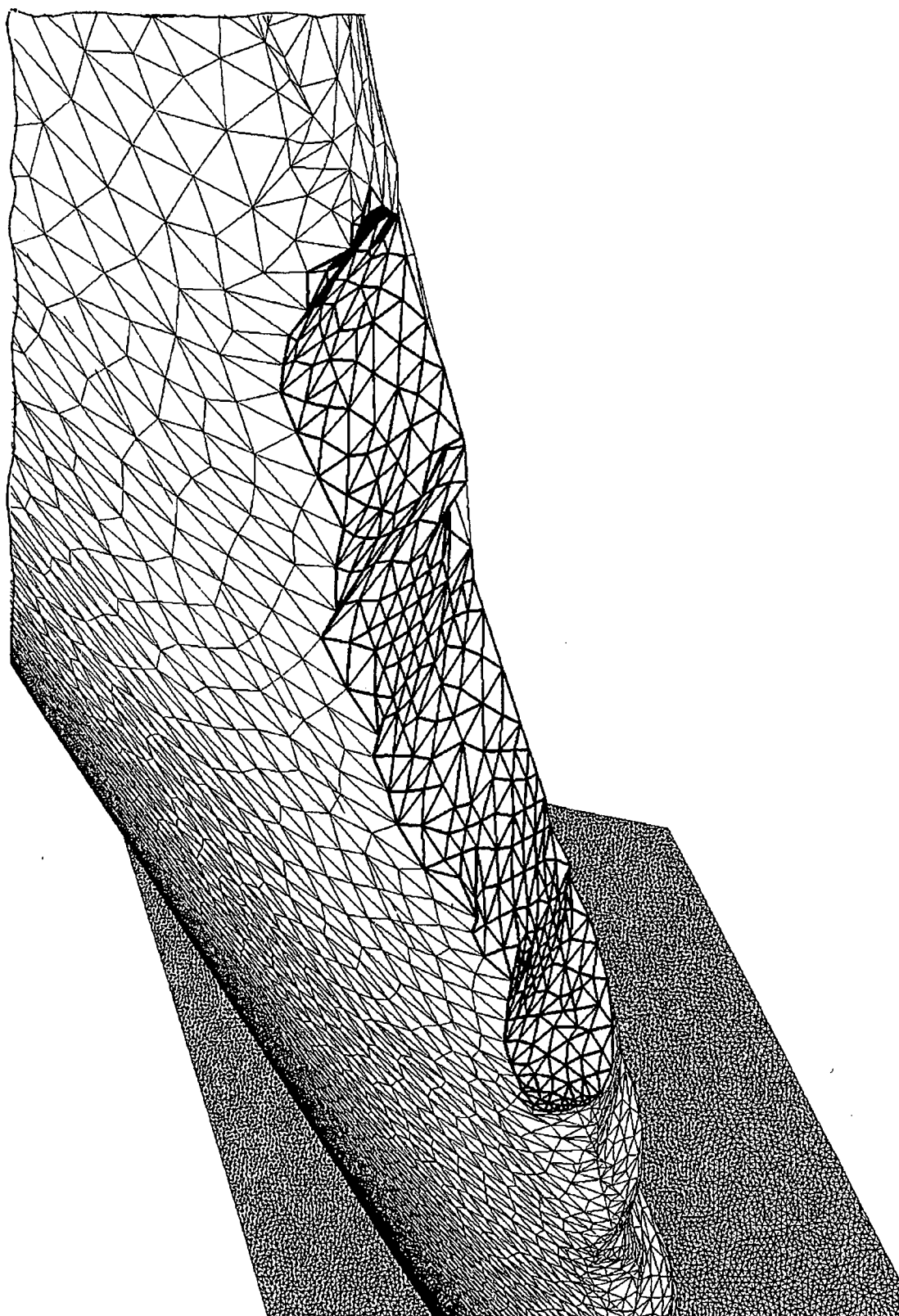


Fig. 3c

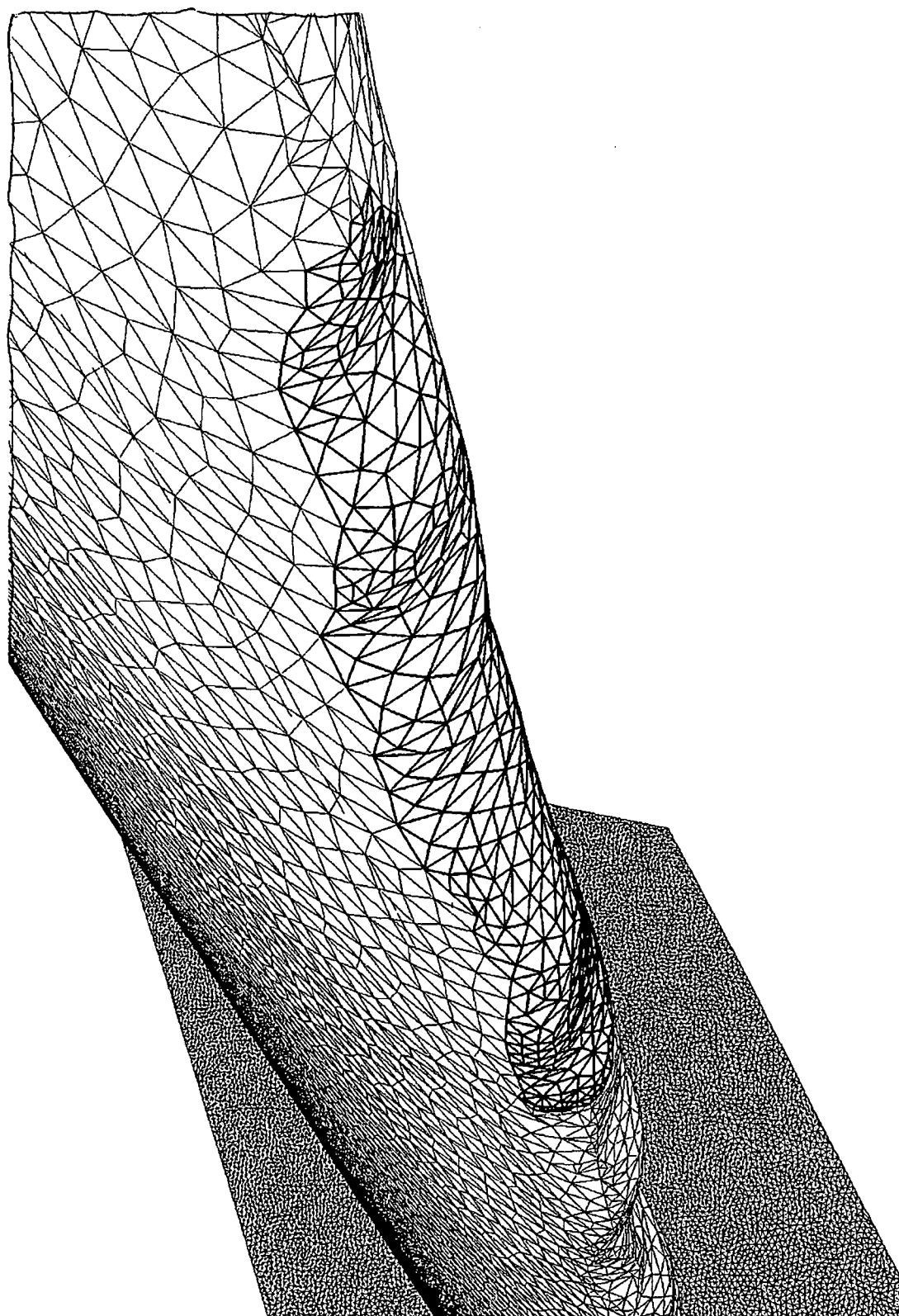


Fig. 4a

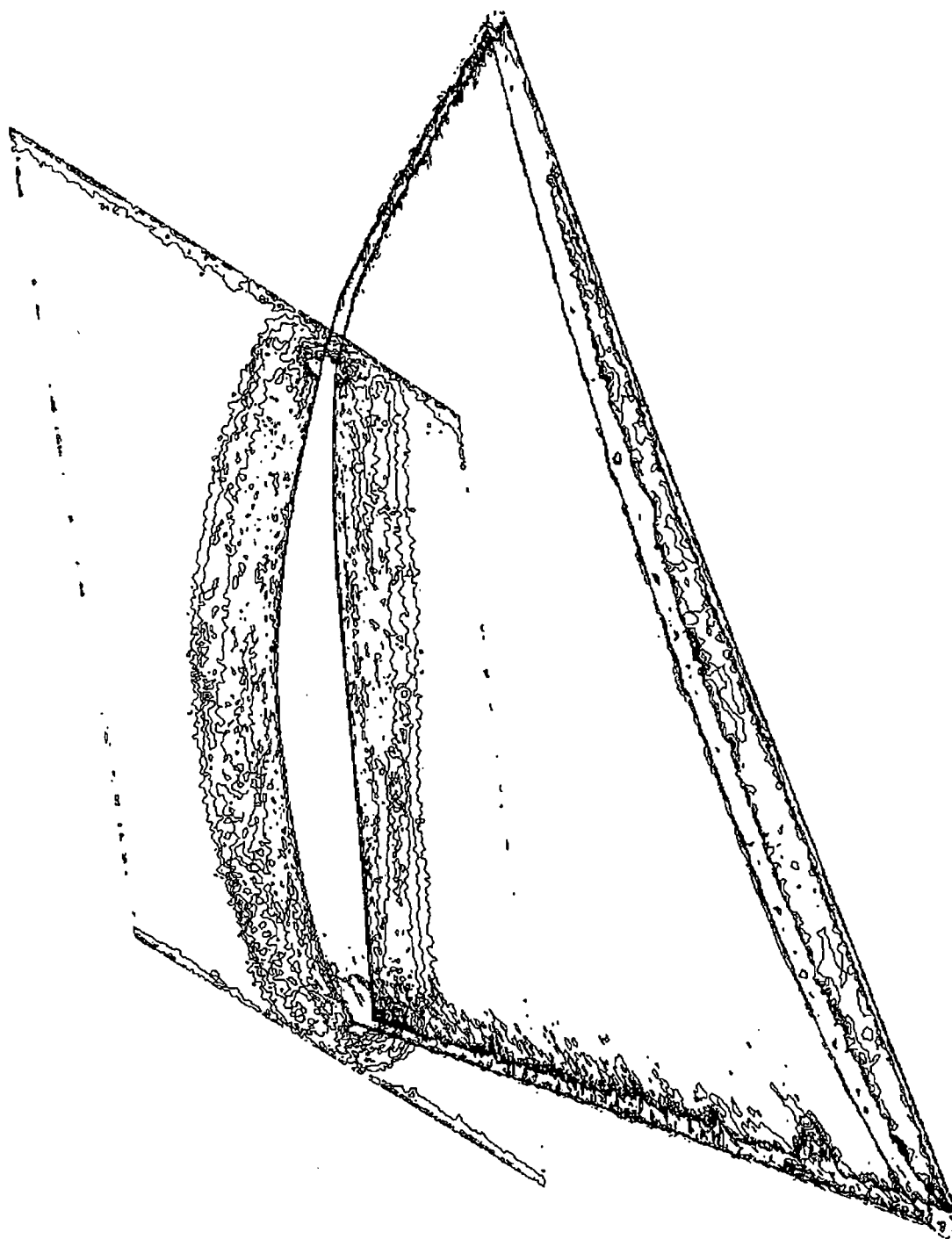


Fig. 4b

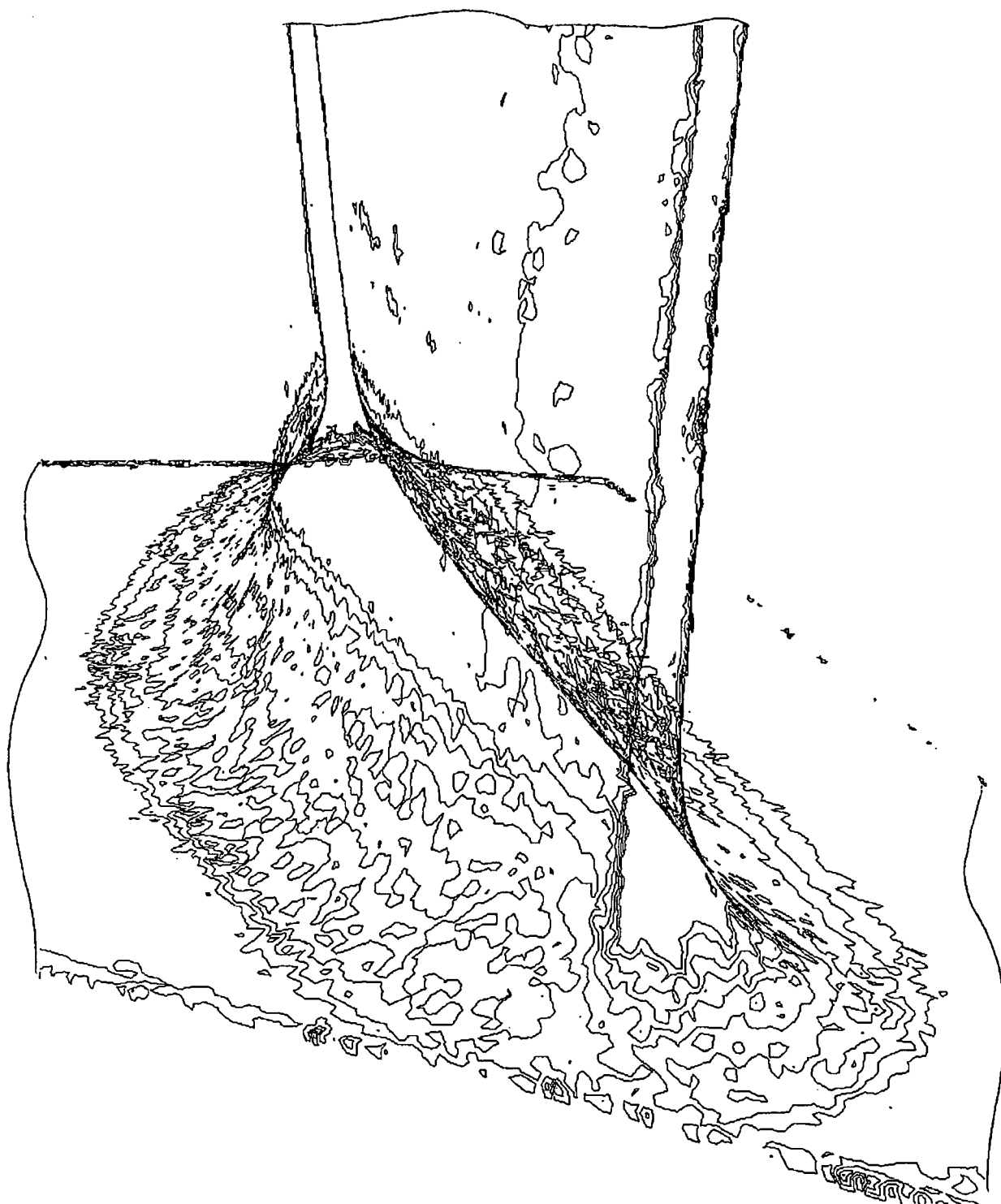


Fig. 5

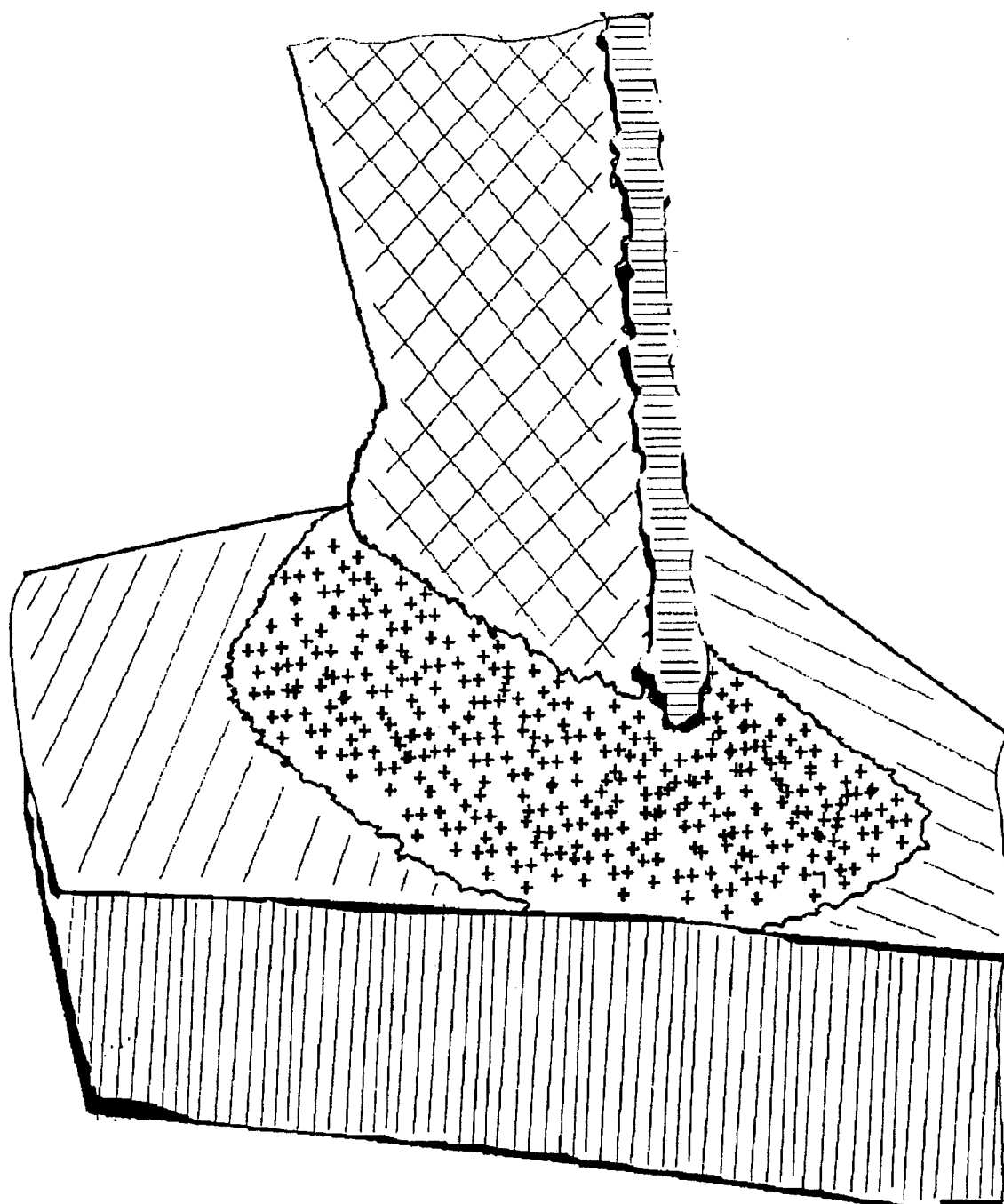




Fig. 6a

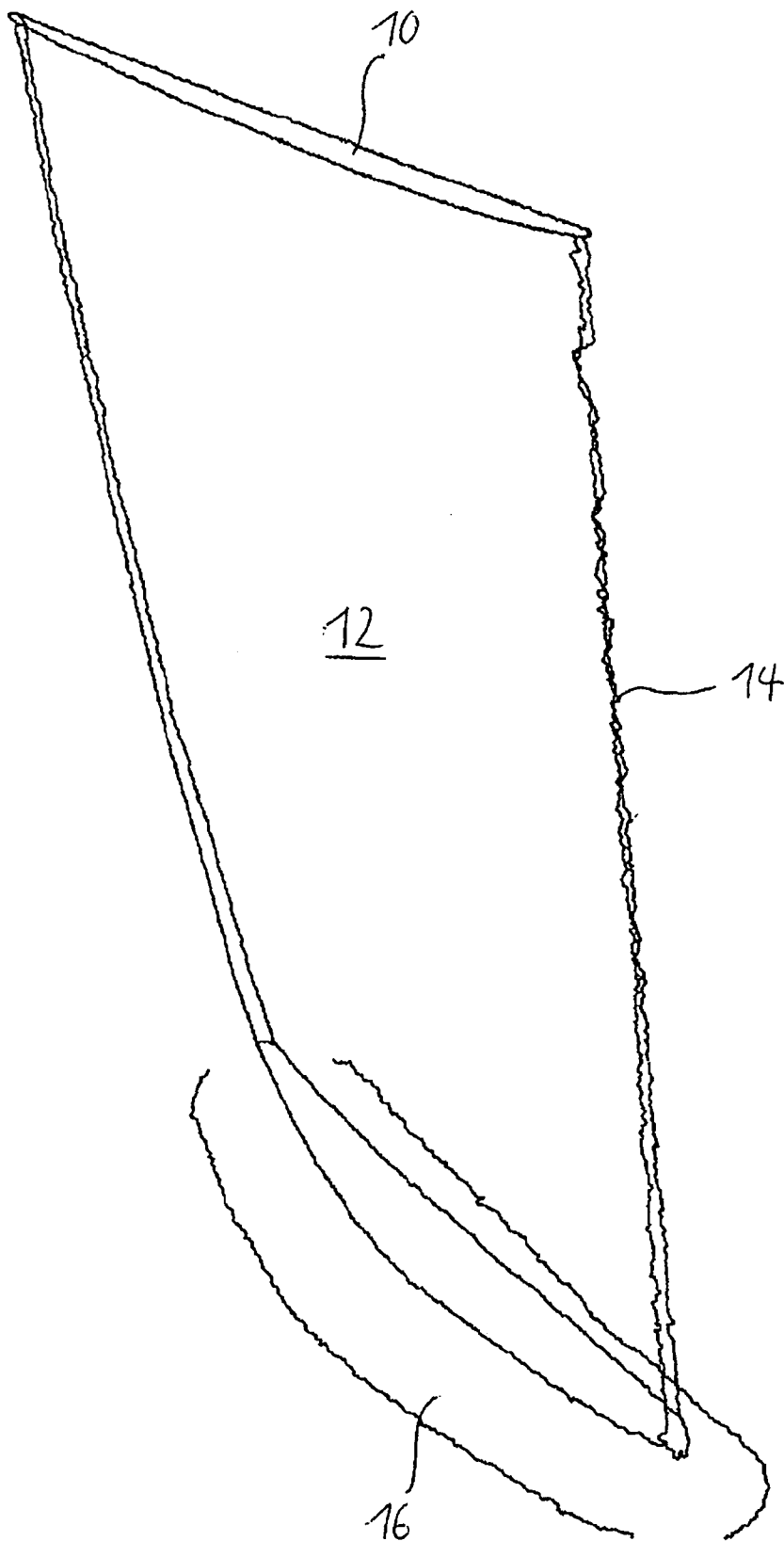


Fig. 6b

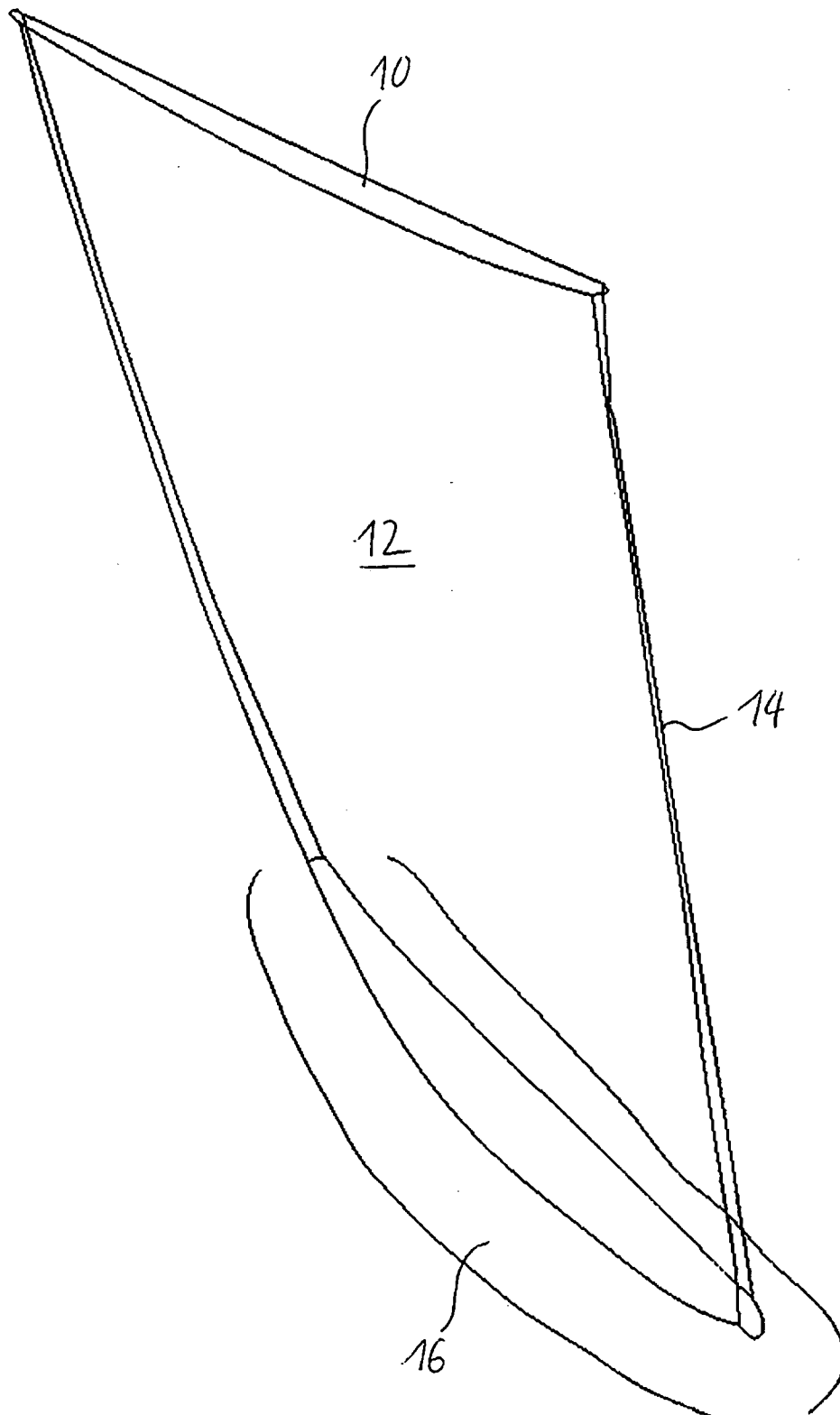
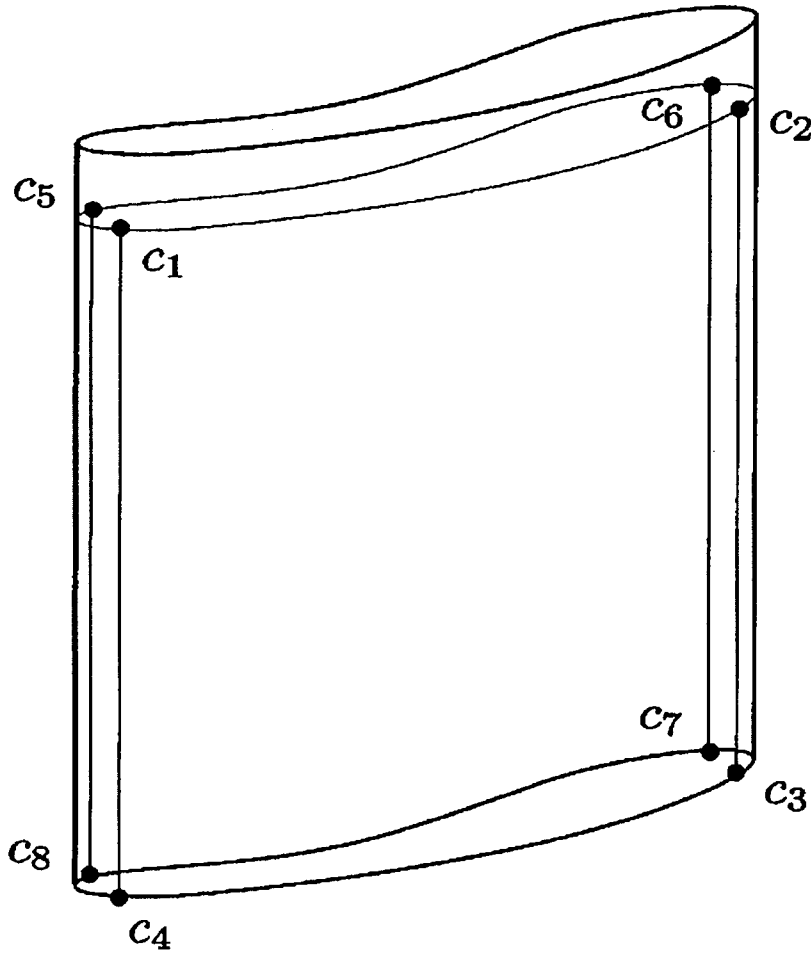


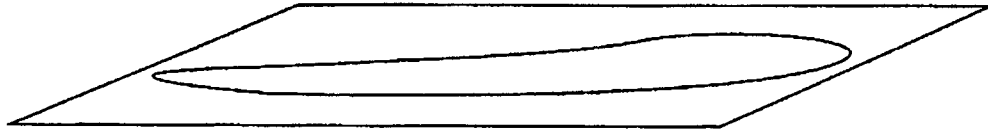
Fig. 7a



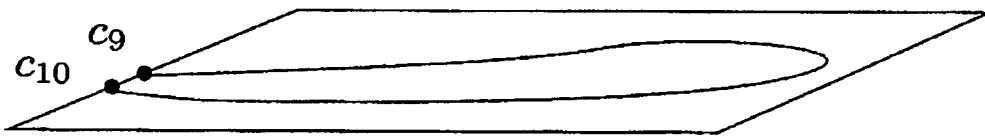
$$\begin{array}{ll}
 c_1 = \{c_t, c_s^1, c_e^1\} & c_5 = \{c_t, c_s^2, c_e^1\} \\
 c_2 = \{c_t, c_s^1, c_e^2\} & c_6 = \{c_t, c_s^2, c_e^2\} \\
 c_3 = \{c_f, c_s^1, c_e^2\} & c_7 = \{c_f, c_s^2, c_e^2\} \\
 c_4 = \{c_f, c_s^1, c_e^1\} & c_8 = \{c_f, c_s^2, c_e^1\}
 \end{array}$$

Fig. 7b

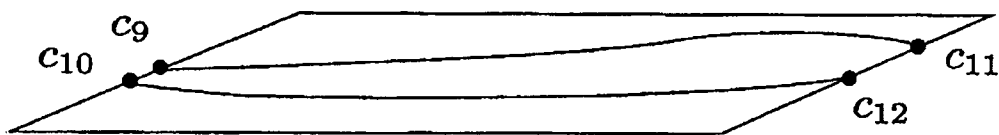
(1)



(2)



(3)



$$(2) \quad c_9 = \{c_f, c_b^i, c_r\}$$

$$c_{10} = \{c_f, c_b^i, c_r\}$$

$$(3) \quad c_9 = \{c_f, c_b^i, c_r^1\}$$

$$c_{10} = \{c_f, c_b^i, c_r^2\}$$

$$c_{11} = \{c_f, c_b^i, c_r^1\}$$

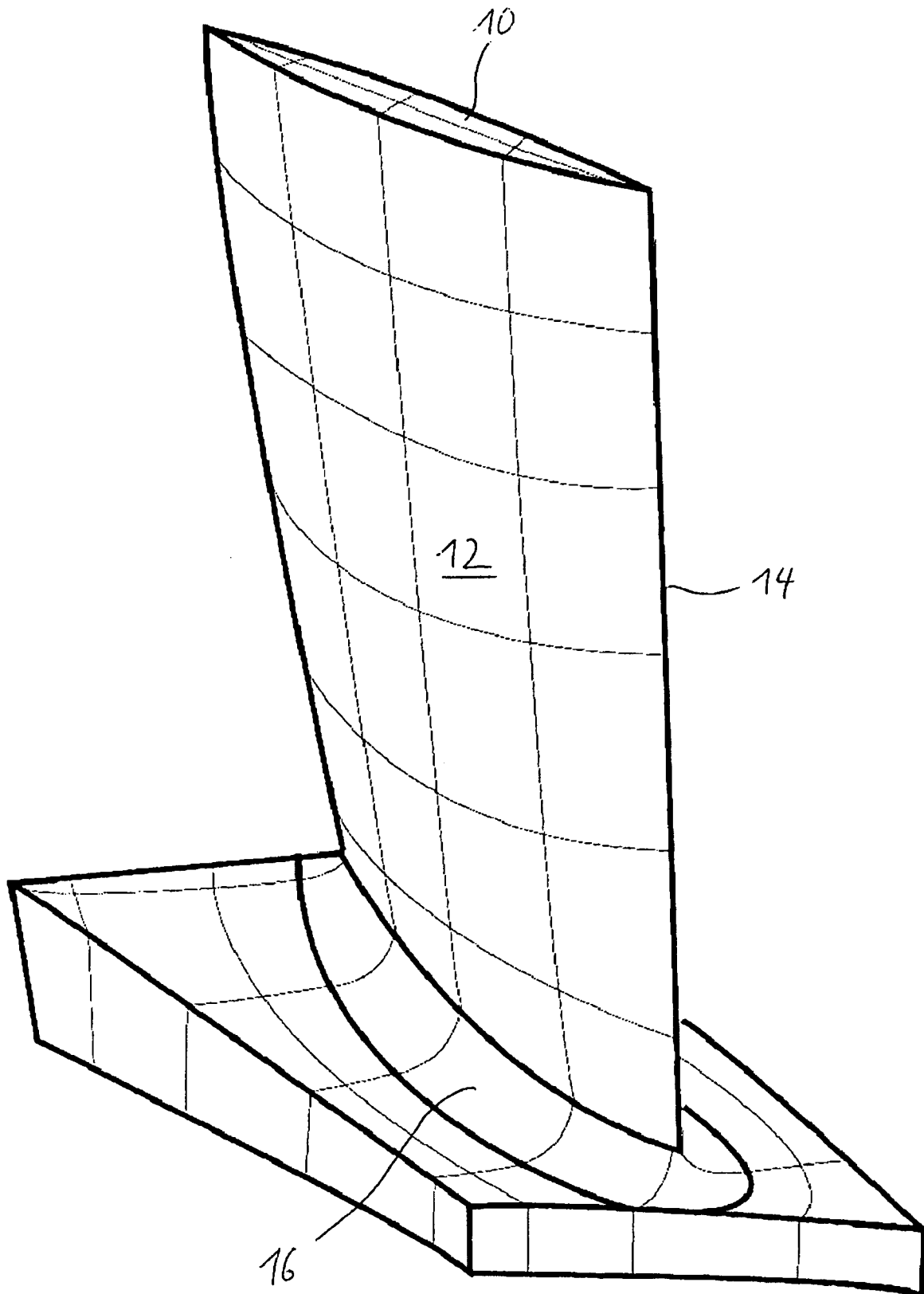
$$c_{12} = \{c_f, c_b^i, c_r^2\}$$

---

Bezeichnung für die jeweiligen Bereiche:

$c_t$  ... Schaufelspitze  
 $c_s^{1,2}$  ... Schaufelseiten  
 $c_e^{1,2}$  ... Schaufelkanten  
 $c_f$  ... Verrundung  
 $c_r^{1,2}$  ... Schaufelfuss  
 $c_b^i$  ... Schaufelblock

Fig. 8



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/DE2010/000209

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G06F17/50 G06T17/00 G06T17/20  
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)

G06T G06F

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 practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                                                                            | Relevant to claim No. |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| X         | WILHELM WILKE: "Segmentierung und Approximation grosser Punktwolken"<br>INTERNET CITATION<br>26 September 2002 (2002-09-26), page 201PP, XP007913954<br>Retrieved from the Internet:<br>URL:http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/255/<br>[retrieved on 2010-07-15]<br>cited in the application | 1-3,5-10              |
| Y         | * abstract<br>* Kapitel 2, 4-7<br>-----<br>-/--                                                                                                                                                                                                                                               | 4                     |

☒ 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 document 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.

\*Z\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

21 July 2010

Date of mailing of the international search report

03/08/2010

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5618 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Gao, Miao

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/DE2010/000209

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Relevant to claim No. |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Y         | <p>ALEXANDRA BAC ET AL: "A Multistep Approach to Restoration of Locally Undersampled Meshes"</p> <p>23 April 2008 (2008-04-23), ADVANCES IN GEOMETRIC MODELING AND PROCESSING; [LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE], SPRINGER BERLIN HEIDELBERG, BERLIN, HEIDELBERG, PAGE(S) 272 - 289 , XP019088500</p> <p>ISBN: 978-3-540-79245-1</p> <p>* abstract</p> <p>* Abschnitt 6</p> | 4                     |
| A         | <p>LIEPA P: "Filling holes in meshes"</p> <p>SYMPOSIUM ON GEOMETRY PROCESSING ACM NEW YORK, NY, USA, 23 June 2003 (2003-06-23), pages 200-206, XP002592845</p> <p>Retrieved from the Internet:<br/>URL: <a href="http://portal.acm.org/citation.cfm?id=882397">http://portal.acm.org/citation.cfm?id=882397</a></p> <p>[retrieved on 2010-07-19]</p> <p>* abstract</p>        | 1-4                   |
| A         | <p>BERND HAMANN: "Curvature Approximation for Triangulated Surfaces"</p> <p>, 1993, pages 139-153, XP002592846</p> <p>Retrieved from the Internet:<br/>URL: <a href="http://www.idav.ucdavis.edu/publications/print_pub?pub_id=266">http://www.idav.ucdavis.edu/publications/print_pub?pub_id=266</a></p> <p>[retrieved on 2010-07-19]</p> <p>* abstract</p>                  | 1,5                   |
| A         | <p>HUANG J ET AL: "Combinatorial manifold mesh reconstruction and optimization from unorganized points with arbitrary topology"</p> <p>COMPUTER AIDED DESIGN, ELSEVIER PUBLISHERS BV., BARKING, GB LNKD-DOI:10.1016/S0010-4485(01)00079-3, vol. 34, no. 2, 1 February 2002 (2002-02-01), pages 149-165, XP004322747</p> <p>ISSN: 0010-4485</p> <p>the whole document</p>      | 1-10                  |

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2010/000209

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G06F17/50 G06T17/00 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 G06F

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, INSPEC

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile                                                                                                                                                                                                                                              | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| X          | WILHELM WILKE: "Segmentierung und Approximation grosser Punktwolken"<br>INTERNET CITATION<br>26. September 2002 (2002-09-26), Seite 201PP, XP007913954<br>Gefunden im Internet:<br>URL: <a href="http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/255/">http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/255/</a><br>[gefunden am 2010-07-15]<br>in der Anmeldung erwähnt | 1-3, 5-10          |
| Y          | * Zusammenfassung<br>* Kapitel 2, 4-7                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 4                  |

☒ 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\* älteres Dokument, 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 anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

21. Juli 2010

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

03/08/2010

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

Gao, Miao



| C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                    |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Kategorie*                                            | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Betr. Anspruch Nr. |
| Y                                                     | <p>ALEXANDRA BAC ET AL: "A Multistep Approach to Restoration of Locally Undersampled Meshes"</p> <p>23. April 2008 (2008-04-23), ADVANCES IN GEOMETRIC MODELING AND PROCESSING; [LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE], SPRINGER BERLIN HEIDELBERG, BERLIN, HEIDELBERG, PAGE(S) 272 - 289 , XP019088500</p> <p>ISBN: 978-3-540-79245-1</p> <p>* Zusammenfassung</p> <p>* Abschnitt 6</p>                             | 4                  |
| A                                                     | <p>-----</p> <p>LIEPA P: "Filling holes in meshes"</p> <p>SYMPOSIUM ON GEOMETRY PROCESSING ACM NEW YORK, NY, USA, 23. Juni 2003 (2003-06-23), Seiten 200-206, XP002592845</p> <p>Gefunden im Internet:</p> <p>URL:<a href="http://portal.acm.org/citation.cfm?id=882397">http://portal.acm.org/citation.cfm?id=882397</a></p> <p>[gefunden am 2010-07-19]</p> <p>* Zusammenfassung</p>                            | 1-4                |
| A                                                     | <p>-----</p> <p>BERND HAMANN: "Curvature Approximation for Triangulated Surfaces"</p> <p>, 1993, Seiten 139-153, XP002592846</p> <p>Gefunden im Internet:</p> <p>URL:<a href="http://www.idav.ucdavis.edu/publications/print_pub?pub_id=266">http://www.idav.ucdavis.edu/publications/print_pub?pub_id=266</a></p> <p>[gefunden am 2010-07-19]</p> <p>* Zusammenfassung</p>                                       | 1,5                |
| A                                                     | <p>-----</p> <p>HUANG J ET AL: "Combinatorial manifold mesh reconstruction and optimization from unorganized points with arbitrary topology"</p> <p>COMPUTER AIDED DESIGN, ELSEVIER PUBLISHERS BV., BARKING, GB LNKD-</p> <p>DOI:10.1016/S0010-4485(01)00079-3, Bd. 34, Nr. 2,</p> <p>1. Februar 2002 (2002-02-01), Seiten 149-165, XP004322747</p> <p>ISSN: 0010-4485</p> <p>das ganze Dokument</p> <p>-----</p> | 1-10               |