

(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. Mai 2013 (23.05.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/072033 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B23K 26/00 (2006.01) A61B 18/20 (2006.01)
A61C 1/00 (2006.01) B23K 26/04 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/004695

(22) Internationales Anmeldedatum:
12. November 2012 (12.11.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2011 118 540.6
15. November 2011 (15.11.2011) DE

(71) Anmelder: FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG
E. V. [DE/DE]; Hansastrasse 27c, 80686 München (DE).

(72) Erfinder: NOLL, Reinhard; Rotbendenstr. 2d, 52076
Aachen (DE). LENENBACH, Achim; Weidenweg 14,

52074 Aachen (DE). TULEA, Cristian;
Wirichsbongardstr. 65, 52065 Aachen (DE).

(74) Anwalt: GAGEL, Roland; Landsberger Str. 480a, 81241
München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, 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,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR CUTTING OR SEPARATING SOLID MATERIALS BY MATERIAL REMOVAL BY
MEANS OF ENERGETIC RADIATION

(54) Bezeichnung : VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUM SCHNEIDEN ODER TRENNEN VON FESTSTOFFEN
DURCH MATERIALABTRAG MITTELS ENERGETISCHER STRALUNG

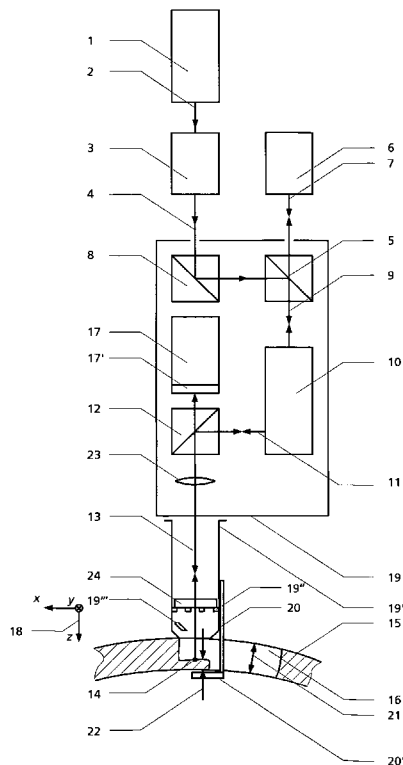


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method and a device for cutting or separating solid materials by means of energetic radiation. In a hand-held machining head (19) a machining beam (13) is guided via a dynamic beam deflecting unit (10) through a beam outlet opening, by means of which the machining beam (13) can be directed to a machining location. During the machining, images of an area of the solid material (15) comprising the machining location (14) are continuously taken during the machining by means of an image recording unit (17). An image evaluation and control unit determines from the images a wrong movement when the machining head (19) is guided manually and actuates the dynamic beam deflecting unit for the purpose of a beam position correction. The beam outlet opening is formed on one end of a tube (19') above which a shaft (20) protrudes that can be introduced into the kerf (16) on the solid material (15) and thereby facilitates lateral guidance of the tube (19') during machining. Using the proposed device and the associated method, narrow kerf width having a high quality can be produced when performing hand-guided cutting and separation procedures in solid materials.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Schneiden oder Trennen von Feststoffen mittels energetischer Strahlung. In einem handgeführten Bearbeitungskopf (19) wird ein Bearbeitungsstrahl (13) über eine dynamische Strahlableitenkeinheit (10) durch eine Strahlaustrittsöffnung geführt, durch die der Bearbeitungsstrahl (13) auf einen Bearbeitungsort (14) gerichtet werden kann. Durch eine Bilderfassungseinheit (17) werden während der Bearbeitung kontinuierlich Bilder eines den Bearbeitungsort (14) umfassenden Bereiches des Feststoffs (15) aufgenommen. Eine Bildauswerte- und Steuereinheit ermittelt aus den Bildern eine Fehlbewegung bei der manuellen Führung des Bearbeitungskopfes (19) und steuert die dynamische Strahlableitenkeinheit (10) zu einer Strahllagekorrektur an. Die Strahlaustrittsöffnung ist an einem Ende eines Tubus (19') ausgebildet, über den ein Schaft (20) hinausragt, der er sich in die Schnittfuge (16) am Feststoff (15) einführen lässt und dadurch eine laterale Führung des Tubus (19') während der Bearbeitung ermöglicht. Mit der vorgeschlagenen Vorrichtung und dem zugehörigen Verfahren können bei der Durchführung handgeführter Schnitt- und Trennvorgänge in Feststoffen schmale Schnittfugenbreiten mit hoher Qualität erzeugt werden.

Vorrichtung und Verfahren zum Schneiden oder Trennen
von Feststoffen durch Materialabtrag mittels
energetischer Strahlung

Technisches Anwendungsgebiet

5 Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Schneiden oder Trennen von Feststoffen unter Einsatz eines handführbaren Bearbeitungskopfes, mit dem ein Bearbeitungsstrahl, insbesondere ein Laserstrahl, auf einen Bearbeitungsort
10 auf dem Feststoff gerichtet wird. Mit einer derartigen Vorrichtung und dem zugehörigen Verfahren lassen sich beispielsweise Schnitte in plattenförmigen Feststoffen wie beispielsweise Blechen oder Keramikplatten erzeugen. Weitere beispielhafte Anwendungsgebiete der
15 Vorrichtung sind die Kraniotomie, die Wirbelsäulenthherapie oder der Abtrag von Hartgewebe für operative Eingriffe in der Human- oder Veterinärmedizin.

Stand der Technik

20 Mit maschinengeführten Vorrichtungen zum Abtragen und Schneiden mit Laserstrahlung sind hohe Genauigkeiten in der Schnittführung erzielbar, da der Bearbeitungsstrahl durch die Maschinenachsen sehr genau geführt werden kann. Für einige Anwendungen sind jedoch
25 handgeführte Systeme zum Schneiden mit Laserstrahlung erforderlich, wie sie beispielsweise aus dem Dokument von C. Schmid, „Handgeführte Lasermaterialbearbeitung mit Faserlasern“ in
„[http://www.bias.de/Events/Archive/Faserlaserseminar/Vo](http://www.bias.de/Events/Archive/Faserlaserseminar/Vortrag/6_Schmid.pdf)
30 rtraege/6 Schmid.pdf“ bekannt sind. Mit diesen Systemen

- 2 -

werden im Wesentlichen thermisch induzierte Schneid-
prozesse in technischen Werkstoffen (Metalle, Keramik,
Kunststoffe) durchgeführt, mit denen plattenförmige
Werkstücke durchgeschnitten werden. Durch die Hand-
5 führung werden Schnittbreiten erzeugt, die typischer-
weise deutlich größer als 1 mm sind. Es können daher
nicht die Schnittfugenqualitäten eines maschinengefüh-
rten Laserschneidprozess erreicht werden.

10 Die DE 195 19 150 A1 beschreibt ein Laserstrahl-
gerät sowie ein Verfahren zur Bearbeitung von Werk-
stücken, das einen handgeführten, mit einer Fokus-
sierungsoptik und einer dynamischen Strahlablenkeinheit
versehenen Bearbeitungskopf aufweist. Die Strahlablenk-
15 einrichtung bewegt den Laserstrahl dabei relativ zum
Werkstück, beispielsweise um eine bestimmte Fläche
abzutasten. In einer Ausgestaltung weist der Bearbei-
tungskopf ein Bildverarbeitungssystem auf, das mit
einer auf die Strahlablenkeinrichtung wirkenden Naht-
20 verfolgungseinrichtung versehen ist. Damit kann der
Laserstrahl so ausgelenkt werden, dass er im gewünsch-
ten Bearbeitungs- oder Nahtbereich wirkt, ohne den
Bearbeitungskopf nachführen zu müssen.

25 Aus der DE 10 2007 030 395 A1 sind ein Verfahren
und eine Vorrichtung zum Laserstrahlschweißen eines
Werkstücks bekannt, bei dem Markierungen entlang eines
Fügespaltes vor und hinter der Schweißstelle detektiert
und ausgewertet werden, um bei Abweichungen des Füge-
30 spaltes von der Soll-Position die Ist-Position zu
ermitteln und die Lage des bearbeitenden Laserfokus zu
korrigieren. Eine Positioniereinheit korrigiert die
Position des Laserbearbeitungskopfes auf den neuen

- 3 -

Sollwert. Alternativ wird die Fokusposition am Bearbeitungsort durch einen Laserscanner auf die neue Soll-Position eingestellt.

- 5 Die EP 1 848 389 B1 beschreibt ein Verfahren zur Erstellung eines Ablationsprogramms für die Ablation von Material von einer Oberfläche eines Körpers, insbesondere von der Cornea des Auges, um durch Bearbeitung mit Laserstrahlung die Fehlsichtigkeit des
10 Auges korrigieren zu können. Bei dem Verfahren wird mittels OCT die Restdicke der Cornea bestimmt, um durch den Laserabtrag eine Restdicke der Cornea nicht zu unterschreiten.
- 15 Die DE 10 2006 030 130 B3 beschreibt ein Verfahren zur Bearbeitung eines Werkstücks mittels eines Energiestrahls, bei dem ein Bearbeitungskopf mit einem optischen System eingesetzt wird, das mehrere strahlpositionierende Zusatzachsen aufweist, die den Laserstrahl geeignet formen bzw. positionieren. Die DE 10
20 2008 056 695 A1 befasst sich mit einem Laserbearbeitungskopf zur Bearbeitung eines Werkstücks mittels eines Laserstrahls, bei dem eine Kamera zur Beobachtung des Arbeitsbereiches des zu bearbeitenden Werkstücks am
25 Bearbeitungskopf eingesetzt wird. Aus der DE 100 05 592 C1 ist schließlich ein hand- und maschinenführbares Laserwerkzeug zur Bearbeitung von Werkstücken bekannt, bei dem ein durch eine Düse auf die Bearbeitungsstelle senkrecht fallender Gas- oder Flüssigkeitsstrahl das
30 durch den Laserstrahl aufgeschmolzene Material des Werkstücks aus der Schnittfuge herausbefördert.

- 4 -

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine Vorrichtung zum Schneiden oder Trennen von Feststoffen mittels energetischer Strahlung mit einem handgeführten Bearbeitungskopf anzugeben, mit denen
5 geringere Schnittfugenbreiten erzielbar sind.

Darstellung der Erfindung

Die Aufgabe wird mit der Vorrichtung und dem Verfahren gemäß den Patentansprüchen 1 und 15 gelöst.
10 Vorteilhafte Ausgestaltungen der Vorrichtung sowie des Verfahrens sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche oder lassen sich der nachfolgenden Beschreibung sowie dem Ausführungsbeispiel entnehmen.

15 Die vorgeschlagene Vorrichtung umfasst einen handführbaren Bearbeitungskopf, in dem ein Bearbeitungsstrahl über eine dynamische Strahlablenkeinheit durch eine Strahlaustrittsöffnung geführt wird, durch die der Bearbeitungsstrahl mit dem Bearbeitungskopf auf einen
20 Bearbeitungsort auf einen Feststoff gerichtet werden kann. Mit einer in oder an dem Bearbeitungskopf angeordneten Bilderfassungseinheit werden während einer Bearbeitung kontinuierlich Bilder des den Bearbeitungsort umfassenden Bereiches des Feststoffs aufgenommen.
25 Eine Bildauswerte- und Steuereinheit der Vorrichtung ermittelt aus den Bildern eine Fehlbewegung bei der manuellen Führung des Bearbeitungskopfes und steuert die dynamische Strahlablenkeinheit zu einer Strahllagekorrektur des Bearbeitungsstrahls an, mit der die
30 durch den Bediener verursachte Fehlbewegung zumindest teilweise kompensiert wird.

- 5 -

Der handgeführte Bearbeitungskopf weist einen Tubus auf, an dessen Ende die Strahlaustrittsöffnung ausgebildet ist. Dieser Tubus ist so bemessen, dass er den Bearbeitungsstrahl auf dem Weg zum Bearbeitungsort
5 weitestgehend abschirmt, erstreckt sich im Falle eines fokussierten Laserstrahls als Bearbeitungsstrahl daher bis nahe an den Fokus des Laserstrahls. Am Ende des Tubus, d.h. im Bereich der Strahlaustrittsöffnung, ist ein Schaft mit dem Tubus verbunden, der über den Tubus
10 hinausragt. Der Schaft ist vorzugsweise lateral und gegen eine Drehbewegung um seine Längsachse fixiert und derart ausgebildet, dass er sich in eine bereits durch die Bearbeitung erzeugte Schnittfuge am Feststoff
einführen lässt. Damit kann der Tubus und somit der
15 handgeführte Bearbeitungskopf während der weiteren Bearbeitung über diesen Schaft lateral geführt werden, indem der Schaft während der weiteren Bearbeitung in der Schnittfuge geführt wird.

20 Durch die dynamische Strahllagekorrektur werden bei der Handführung verursachte Fehlbewegungen des Bedieners, wie beispielsweise Zitterbewegungen, vollständig oder zumindest teilweise kompensiert, so dass eine geringere Schnittfugenbreite und somit höhere
25 Schnittfugenqualität erreicht werden. Dadurch wird bei Verwendung eines Kurzpulslasers zur Erzeugung des Bearbeitungsstrahls, bspw. eines ps-Lasers, eine hohe Prozesseffizienz erreicht, die ohne eine derartige Strahllagekorrektur nicht möglich wäre. Der Bediener
30 führt den handführbaren Bearbeitungskopf dabei mit der Hand und wird von der Bildauswerte- und Steuereinheit als Assistenzsystem unterstützt. Durch das automatische Ausgleichen von Zitterbewegungen bei der Handführung

- 6 -

kann eine schmale präzise Schnittfuge im Feststoff sowohl in ebener als auch in gekrümmter Platten-geometrie erzielt werden, deren makroskopischer Verlauf durch die Handführung bestimmt wird. Die Zitter-
5 bewegungen der Hand während der Bearbeitung würden sonst zu unkontrollierten Positionsschwankungen des Einwirkorts des Bearbeitungsstrahls auf den Feststoff führen.

10 Mit dem vorgeschlagenen Bearbeitungskopf kann der Bearbeitungsstrahl mit sehr hoher Genauigkeit relativ zu der von ihm erzeugten dünnen Schnittfuge geführt werden. Dies wird dadurch gewährleistet, dass der am Tubus parallel zu Tubusachse montierte dünner Schaft
15 während des Bearbeitungsprozesses in der Schnittfuge geführt wird. Der Durchmesser des Schaftes ist so dimensioniert, dass er mit geringem Spiel in der Fuge bewegt werden kann. Während des Schneidprozesses ist die werkseitige Frontfläche des Tubus auf das Werkstück
20 aufgesetzt und der Schaft wird in Schnittrichtung gegen die Schnittkante gedrückt. Durch die Schaftführung erhält der Benutzer eine haptische Rückkopplung wie sie mechanischen Bearbeitungsprozessen z.B. durch Stichsägen oder Fräsen zueigen ist. Das bedeutet, die
25 Vorwärtsbewegung des Bearbeitungskopfes erfolgt wie bei diesen mechanischen Bearbeitungswerkzeugen zeitgleich und ortsgenau mit der Vorwärtsbewegung der Schnittkante. Der Bearbeitungskopf kann aufgrund des mechanischen Widerstandes des zu schneidenden Werkstoffes
30 nie über das Ende des aktuellen Schnittes hinausbewegt werden. Zudem wird durch die Führung des Schafts in der Schnittfuge eine Fehlpositionierung des Bearbeitungskopfes in der Werkstücksebene und senkrecht zur

- 7 -

Schnitttrichtung sowie eine Verkipfung des Handstücks bzw. Bearbeitungskopfes zur Flächennormalen des Werkstücks deutlich eingeschränkt.

5 Die Bildauswerte- und Steuereinrichtung kann hierbei in einer Ausgestaltung so ausgeführt sein, dass sie einen Verlauf einer durch den Bediener vorab gesetzten Schnittmarkierung auf dem Feststoff erkennt und die Strahllagekorrektur jeweils unabhängig von der
10 Bewegung des handgeführten Bearbeitungskopfes so durchführt, dass der Bearbeitungsstrahl der Schnittmarkierung auf dem Werkstück folgt. Dies kann selbstverständlich nur innerhalb der durch die dynamische Strahlablenkeinheit möglichen maximalen
15 Korrektur erfolgen. Eine Zitterbewegung wird in dieser Alternative jedoch problemlos ausgeglichen. Auch eine durch ungenaue Führung des Bearbeitungskopfes verursachte Abweichung wird in dieser Alternative kompensiert, solange diese Abweichung eine bestimmte
20 Größe nicht überschreitet, die von der dynamischen Strahlablenkeinheit nicht mehr kompensierbar ist.

In einer weiteren Ausgestaltung ist die Bildauswerte- und Steuereinheit so ausgebildet, dass
25 sie eine Zitterbewegung bei der manuellen Führung des Bearbeitungskopfes aus den Bildern erkennt und die dynamische Strahlablenkeinheit so ansteuert, dass die Zitterbewegung durch die Strahllagekorrektur zumindest teilweise kompensiert wird. Bei dieser Ausgestaltung
30 erkennt die Vorrichtung vorzugsweise die Richtung der jeweils momentan auszuführenden Schnittkontur und damit aus den Bildern eine eventuell zu kompensierende Abweichung. Die Richtung der jeweils momentan

auszuführenden Schnittkontur kann bspw. durch die momentane Drehlage des Bearbeitungskopfes um die Achse des Bearbeitungsstrahls oder eine dazu parallele Achse in Bezug auf den Feststoff erkannt werden. In dieser

5 Ausführung besitzt der Bearbeitungskopf eine vorzugsweise für den Bediener durch eine Markierung gekennzeichnete Vorzugsrichtung, in die der Bearbeitungskopf ausgerichtet wird. In dieser Richtung erfolgt der Schneidprozess solange, bis sich die Drehlage des

10 Bearbeitungskopfes verändert. Die Bilderfassungseinheit erkennt eine geänderte Drehlage relativ zur alten Schnittgeometrie und ermittelt eine Scannerbewegung, welche die beiden Schnittgeometrien vor und nach Richtungsänderung an den Schnittgrenzen stetig zusammenfügt. In einer Ausgestaltung des Bearbeitungskopfes

15 mit Tubus und daran befestigtem Schaft, der in der Schnittfuge geführt wird, kann der Schaft auch mit einem oder mehreren Sensoren versehen sein, die eine Krafteinwirkung auf den Schaft durch eine vom Bediener

20 ausgeführte Vorschubbewegung und somit die gewünschte Richtung erfassen. Ein Beispiel für derartige Sensoren sind Dehnungsmessstreifen im Schaft. Selbstverständlich bestehen auch noch andere Möglichkeiten, eine Zitterbewegung durch die Bildauswertung zu erkennen und

25 dann entsprechend durch eine Strahllagekorrektur zumindest teilweise zu kompensieren.

Vorzugsweise ist die Bildauswerte- und Steuerungseinheit so ausgebildet, dass sie bei Erreichen eines

30 maximal möglichen Korrekturwertes der Strahllagekorrektur ein für den Bediener erkennbares Signal abgibt und die Bearbeitung unterbricht. Die dynamische Strahlablenkeinheit ist aufgrund der Konstruktion des

- 9 -

Bearbeitungskopfes auf einen bestimmten Ablenkbereich beschränkt, so dass sie keine über diesen Ablenkbereich hinausgehende Strahllagekorrektur durchführen kann. Wird durch die Bildauswerteeinrichtung eine größere
5 Abweichung erkannt, so wird dem Bediener die Überschreitung dieses Bereiches durch ein Signal angezeigt, so dass er darüber informiert ist. Die Bearbeitung kann dann wieder aufgenommen werden, sobald der Bediener den Bearbeitungskopf wieder in den korrigierbaren Bereich
10 eingebracht hat.

Als Bearbeitungsstrahl wird bei der vorgeschlagenen Vorrichtung und dem vorgeschlagenen Verfahren vorzugsweise ein Laserstrahl eingesetzt. Der Bearbeitungskopf umfasst dabei in bekannter Weise eine
15 Fokussieroptik zur Fokussierung des Laserstrahls auf den Bearbeitungsort. Auch weitere optische Elemente, insbesondere Umlenkelemente, können selbstverständlich für die Strahlführung im Bearbeitungskopf erforderlich sein. In einer bevorzugten Ausgestaltung ist auch eine
20 Einrichtung zur Verstellung der Fokuslage bzw. des Fokusabstandes vorgesehen, die zur Erzeugung des optimalen Materialabtrags angesteuert wird. Bei Verringerung der Restschichtdicke des Feststoffes durch
25 den Materialabtrag kann dann die Fokuslage nachgeführt werden. Die vorgeschlagene Vorrichtung sowie das vorgeschlagene Verfahren sind nicht auf den Einsatz von Laserstrahlung beschränkt. Es können hierbei auch
andere Bearbeitungsstrahlen, beispielsweise Elektronen-
30 oder Ionenstrahlen zum Einsatz kommen, deren Strahllage in gleicher Weise korrigiert werden kann.

- 10 -

In einer bevorzugten Ausgestaltung weist die Vorrichtung in oder an dem handführbaren Bearbeitungskopf eine Messeinrichtung auf, die während der Bearbeitung eine Restschichtdicke des Feststoffs am

5 Bearbeitungsort misst. Die Messeinrichtung ist dabei vorzugsweise so ausgebildet, dass sie bei Erreichen einer vorgebbaren Soll-Restschichtdicke oder bei vollständiger Durchtrennung des in der Regel plattenförmigen Feststoffs mit ebener oder gekrümmter

10 Plattengeometrie ein für den Bediener erkennbares Signal abgibt und/oder automatisch die Bearbeitung unterbricht. Die Restdickenmessung kann zur Steuerung der Einrichtung zur Verstellung der Fokuslage sowie vor allem zur Steuerung des Materialabtrags verwendet

15 werden, um eine definierte Restdicke zu erzeugen. Als Messeinrichtung für die Inline-Restdickenmessung zur Bestimmung der Restdicke des durchzutrennenden Materials während des Schneidvorgangs kann beispielsweise ein OCT-Sensor (OCT: Optical Coherence Tomography)

20 graphy) eingesetzt werden. Es sind selbstverständlich auch andere Sensoren, beispielsweise ein taktiler Sensor oder ein Ultraschallsensor, möglich. Auch ein optischer Sensor auf der Basis einer Transmissionsmessung kann bei geeigneten Werkstoffen eingesetzt

25 werden.

Eine Restdickenmessung kann auch z.B. durch Kombination einer taktilen Gesamtdickenmessung des Feststoffes mit einem zweiten z.B. optischen Mess-

30 verfahren zur Ermittlung der Schnitttiefe durchgeführt werden. Eine Messung der Gesamtdicke des Feststoffes kann z.B. über den Schaft in Kombination mit dem weiter unten beschriebenen plattenförmigen Element realisiert

- 11 -

werden, das in einer vorteilhaften Ausgestaltung der Vorrichtung in axialer Richtung durch einen Federmechanismus nach oben gezogen wird, so dass das Element beim Trennvorgang stets an der Unterseite des Feststoffes anliegt. Die Dehnung der Feder hängt dabei von der Dicke des Feststoffes ab und kann zum Beispiel mit einem Dehnungsmessstreifen gemessen werden. Die Schnitttiefe kann beispielsweise mit einem optischen Messverfahren, OCT oder mit chromatischen Sensoren, gemessen werden. Die Restdicke erhält man dann durch Differenzbildung. Diese Technik bietet sich vor allem bei Werkstoffen wie bspw. Aluminium an, die auch in geringer Dicke keine ausreichende Transparenz für eine optische Transmissionsmessung aufweisen.

15
Damit ermöglichen die vorgeschlagene Vorrichtung und das vorgeschlagene Verfahren die Durchführung handgeführter Schnitt- oder Trennvorgänge mit schmalen Schnittfugenbreiten und definierter Schnittfugentiefe in Feststoffen mit dem Bearbeitungsstrahl, insbesondere mit gepulster Laserstrahlung.

Der Abtrag des Materials mit dem Bearbeitungsstrahl erfolgt vorzugsweise in einem strömenden Fluid, insbesondere einem Gasstrom oder einer strömenden Flüssigkeit, mit dem das abgetragene Material und thermische Energie aus dem Wechselwirkungsbereich herausgetragen wird. Durch den Abtrag im strömenden Fluid sind beispielsweise hohe Laserpuls-Repetitionsfrequenzen ohne Übersprecheffekte aufeinander folgender Pulse erreichbar sowie hohe mittlere Laserleistungen einsetzbar. Ein besonderer Vorteil besteht darin, dass thermische Einflüsse auf das abzutragende Material

- 12 -

durch das strömende Fluid weitgehend reduziert oder vollständig ausgeschlossen werden. Gerade bei der Laserbearbeitung lässt sich durch die Beaufschlagung des Bearbeitungsortes mit einer Flüssigkeitsströmung
5 Laserstrahlung hoher mittlerer Leistung einsetzen, ohne das Material um den Bearbeitungsort thermisch zu schädigen. Die Bearbeitung erfolgt dabei in der Flüssigkeit bzw. unter der Flüssigkeitsoberfläche, da die Flüssigkeit den Bearbeitungsort vollständig
10 bedeckt. Für die Beaufschlagung des Bearbeitungsortes mit dem Fluid ist mindestens eine Düse am handführbaren Bearbeitungskopf angeordnet, die mit einer entsprechenden Zuführung für das Fluid verbindbar ist.

Auch eine Kombination einer vertikalen Spülung mit
15 einer horizontalen Spülung ist vorteilhaft. Eine oder mehrere horizontale Effusionsdüsen spülen mit hoher Geschwindigkeit in die Schnittfuge hinein, um die abgetragenen Partikel aus der Schnittfuge zu entfernen. Die vertikale Spülung hält das Fenster für den Austritt
20 des Bearbeitungsstrahls und damit den Bearbeitungsstrahlengang frei von Debris.

In einer Weiterbildung des handgeführten Bearbeitungskopfes ist am Ende des Schafts, unterhalb
25 der Schnittfuge, ein plattenförmiges Element befestigt, das auf der Achse des Bearbeitungsstrahls liegt und somit den Bearbeitungsstrahl bei vollständigem Durchdringen des Feststoffs blockt. Bei Nutzung eines derart ausgebildeten Bearbeitungskopfes mit dem Schaft
30 und dem daran befestigten Element wird zu Beginn der Bearbeitung mit geeigneten Mitteln, beispielsweise mit einem Bohrer, eine Öffnung in den Feststoff eingebracht, durch den sich der Schaft mit dem daran

- 13 -

befestigten Element einführen und das Element unterhalb des Bearbeitungsortes bringen lässt.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung wird der
5 Schaft in axialer Richtung mit einem Federmechanismus nach oben gezogen, so dass das plattenförmige Element beim Trennvorgang stets auf der Unterseite des Feststoffs anliegt. Beim Einführen des Schafts und des plattenförmigen Elements durch die vorbereitete Öffnung
10 wird der Schaft z.B. manuell - gegen die Federkraft - nach unten gedrückt und mit einer kleinen Vorschubbewegung wird das plattenförmige Element auf die Unterseite des Feststoffs geführt. Der Schaft wird dann wieder freigegeben und nun über den Federmechanismus
15 stets nach oben gezogen, so dass das plattenförmige Element mit definierter Kraft auf der Unterseite des Feststoffs anliegt. In einer medizintechnischen Anwendung am Schädel übernimmt das plattenförmige Element die Funktion des Duraablösers, d.h. sie trennt
20 mit der Vorschubbewegung des Bearbeitungskopfes die an der Innenseite des Schädelknochens anhaftende Hirnhaut vom Schädelknochen und vermeidet so eine Verletzung der Hirnhaut.

25 Die Bilderfassungseinheit ist bei der vorgeschlagenen Vorrichtung vorzugsweise durch eine Kamera und eine Beleuchtungseinrichtung realisiert, die so in oder an dem handgeführten Bearbeitungskopf angeordnet sind, dass die Bilder des den Bearbeitungsort
30 umfassenden Bereiches koaxial zum Bearbeitungsstrahl aufgenommen werden. Im Falle der obigen Ausbildung des Bearbeitungskopfes mit einem Tubus werden die Bilder daher vorzugsweise durch den Tubus hindurch aufge-

- 14 -

zeichnet. Der Bearbeitungsstrahl sowie der Beleuchtungsstrahl werden durch Umlenkelemente und Strahlteiler geeignet im Bearbeitungskopf geführt. Zur Unterdrückung der vom Bearbeitungsort emittierten

5 Sekundärstrahlung und reflektierten Bearbeitungsstrahlung werden vorzugsweise Filter vor der Kamera eingesetzt, die die Wellenlängen des Beleuchtungsstrahls weitestgehend passieren lassen, die Wellenlängen der Bearbeitungs- und Sekundärstrahlung jedoch

10 weitestgehend blockieren. Die Wellenlänge der Beleuchtungsstrahlung wird hiezu geeignet gewählt.

Für die Materialbearbeitung wird bei der vorgeschlagenen Vorrichtung vorzugsweise ein Laser,

15 insbesondere ein Kurzpulslaser eingesetzt. Dieser Laser kann außerhalb des handgeführten Bearbeitungskopfes angeordnet und über eine flexible oder gelenkige Strahlführung mit dem Bearbeitungskopf verbunden sein. Hierbei kann es sich beispielsweise um eine Faseroptik

20 oder einen Gelenkspiegelarm handeln. Im Falle der Nutzung kleinerer Laser, beispielsweise von Halbleiterlasern, kann der Laser selbstverständlich auch im oder am handgeführten Bearbeitungskopf untergebracht sein. Auch die Bildauswerte- und Steuereinrichtung kann

25 sowohl in oder an dem handgeführten Bearbeitungskopf als auch außerhalb dieses Bearbeitungskopfes angeordnet sein.

Bei dem vorgeschlagenen Verfahren wird somit ein

30 Bearbeitungsstrahl mit einem handgeführten Bearbeitungskopf auf einen Bearbeitungsort auf einem Feststoff gerichtet, wobei durch eine in oder an dem Bearbeitungskopf angeordnete Bilderfassungseinheit während

- 15 -

einer Bearbeitung kontinuierlich Bilder eines den Bearbeitungsort umfassenden Bereiches des Feststoffs aufgenommen werden. Aus den Bildern wird eine Fehlbewegung bei der manuellen Führung des Bearbeitungskopfes ermittelt und eine im Bearbeitungskopf angeordnete dynamische Strahlablenkeinheit zu einer Strahllagekorrektur angesteuert, mit der die Fehlbewegung zumindest teilweise kompensiert wird.

10 Die vorgeschlagene Vorrichtung kann sehr vorteilhaft auch im medizinischen Bereich eingesetzt werden, beispielsweise für neurochirurgische Operationen am Kopf oder an der Wirbelsäule. Hierbei können Zugänge - Kraniotomien - zum Operationsfeld hergestellt und
15 Hartgewebeteile mit der Vorrichtung entfernt werden. Die Vorrichtung ermöglicht bei diesen Anwendungen den Verzicht auf bisher eingesetzte handgeführte mikrochirurgische Instrumente wie Bohrer und Knochenfräsen, die Knochenmaterial mechanisch abtragen. Der durch den
20 Operateur beim Abtrag des Knochens mit der Fräse zu erzeugende hohe Anpressdruck mit dem Fräskopf auf den abzutragenden Knochen entfällt bei Nutzung der vorgeschlagenen Vorrichtung. Auch bei Operationen am Stütz- oder Bewegungsapparat sowie in der Mund- und
25 Kieferchirurgie und bei Operationen am Gehörapparat können bisherige mechanische Operationswerkzeuge durch die vorgeschlagene Vorrichtung ersetzt werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

30 Die vorgeschlagene Vorrichtung und das zugehörige Verfahren werden nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Zeichnungen nochmals näher erläutert. Hierbei zeigen:

- 16 -

- Fig. 1 ein Beispiel für eine Ausgestaltung der vorgeschlagenen Vorrichtung in schematischer Darstellung;
- 5 Fig. 2 ein Beispiel für die Durchführung eines Schnittes mit der vorgeschlagenen Vorrichtung; und
- 10 Fig. 3 ein Beispiel für eine Ausgestaltung der Vorrichtung mit einem Gelenkspiegelarm zwischen Laser und handgeführtem Bearbeitungskopf.

Wege zur Ausführung der Erfindung

- 15 Die Figuren 1 und 2 zeigen beispielhaft das erfindungsgemäße Verfahren und die zugehörige Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens. Eine gepulste Laserstrahlquelle 1 erzeugt einen Laserstrahl 2, der über eine Strahlführung 3 einem handführbaren Bearbeitungskopf 19 - im Folgenden auch Handstück genannt - zugeleitet wird. Die Strahlführung 3 ist beispielsweise ein Gelenkspiegelarm oder eine Faseroptik.
- 20

- Im Handstück 19 gelangt der Laserstrahl 4 über zwei Ablenkelemente 8, 5 zu einer Positioniereinheit 10, die den Laserstrahl in zwei Raumrichtungen (x- und y-Richtung, siehe Koordinatensystem 18 in Figur 1) ablenkt und die Fokusslage des Laserstrahls (in z-Richtung) bestimmt. Der abgelenkte und in seiner Fokusslage beeinflusste Laserstrahl 11 wird über ein Ablenkelement 12 und eine Fokussierlinse 23 durch ein Fenster 24 in einem Tubus 19' geführt und erreicht den
- 25
- 30

- 17 -

Wechselwirkungs- bzw. Bearbeitungsort 14 am Feststoff 15 als Bearbeitungsstrahl 13.

Im Feststoff 15 erzeugt der Laserstrahl eine
5 Schnittfuge 16, die in Figur 1 im Längsschnitt parallel zur x-Richtung dargestellt ist. Die y-Koordinate zeigt senkrecht zur Schnittfuge, die z-Koordinate zeigt in das Material hinein.

10 Der zu trennende Feststoff habe eine Dicke d 21. Im Einwirkbereich des gepulsten Laserstrahls wird eine Schnitttiefe d_s erzeugt, wobei gilt:

$$d_s \leq d \quad (1)$$

15

Die Schnitttiefe ist also stets kleiner oder gleich groß wie die Dicke des plattenförmigen Feststoffs am Bearbeitungsort 14. Vorzugsweise wird $d_s < d$ gewählt, so dass eine Restdicke 22 verbleibt: $d_r =$
20 $d - d_s > 0$.

Diese Restdicke wird mit einer koaxial zum gepulsten Laserstrahl geführten Messstrahlung inline, d.h. während des Abtragsprozesses, gemessen. Dazu wird
25 der Messstrahl 7 z.B. eines OCT-Sensors 6 über das auch als Strahlvereiniger wirkende Element 5 mit dem Ablationslaserstrahl 9 überlagert und der Positioniereinheit 10 zugeführt. Nach dem Austritt aus der Positioniereinheit 10 wird dieser Messstrahl zusammen
30 mit dem Laserstrahl 11 über das Ablenkelement 12, die Fokussieroptik 23 und das Fenster 24 schließlich durch den Tubus 19' auf den Bearbeitungsort 14 gerichtet. Das rückgestreute Licht der Messstrahlung läuft anti-

- 18 -

parallel zum einfallenden Strahl über den gleichen Weg wieder zurück bis zum OCT-Sensor 6 wie durch die Doppelpfeile auf diesem Strahlpfad (13, 11, 9 und 7) angedeutet ist.

5

Der OCT-Sensor 6 bestimmt die Restdicke d_r 22. Vorzugsweise wird die Restdicke während des Materialabtrags gemessen. Das gewonnene Signal der Restdicke wird für die Steuerung der Laserstrahlquelle 1 und der Positioniereinheit 10 verwendet, um eine definierte Größe der Restdicke zu erzielen.

Mit dem Tubus 19' verbunden ist ein Schaft 20, der durch die bereits erzeugte Schnittfuge 16 auf die Unterseite des Feststoffs 15 reicht (siehe Figur 1). Am Ende des Schafts befindet sich eine Platte 20'. Schaft 20 und Platte 20' sind so am Tubus 19' montiert, dass die Platte 20' sich unterhalb der gedachten Verlängerung des Bearbeitungsstrahls 13 befindet. Beispielsweise hat die Platte 20' kreisförmige Gestalt und steht senkrecht auf dem Schaft 20. Der Schaftquerschnitt ist so gewählt, dass seine größte Abmessung kleiner ist als die Schnittfugenbreite. Auf diese Weise kann er mit dem Handstück 19 in der bereits erzeugten Schnittfuge 16 bewegt werden. Alternativ kann die Platte 20' z.B. zur Bearbeitung stark gekrümmter Flächen - wie in der Wirbelsäulenchirurgie - entfallen.

Der Bediener bewegt manuell das Handstück 19 mit dem Tubus 19' und dem damit verbundenen Schaft 20 in x-Richtung. Handstück und Tubus stehen näherungsweise senkrecht auf der Oberfläche des Feststoffs 15. Der Schaft ermöglicht eine laterale Führung des Handstücks

- 19 -

(Einschränkung des Bewegungsspielraums in y-Richtung am Ort des Schafts 20).

Weiterhin gibt der Schaft 20 dem Bediener eine
5 haptische Rückkopplung. Mit dem Schaft 20 kann der
Bediener ein Stück des Feststoffs, das zuvor mit dem
gepulsten Laserstahl bis auf die Restdicke abgetragen
wurde, durch mechanische Einwirkung mit dem Schaft
herauslösen. Die dafür erforderliche Kraft hängt von
10 den werkstofflichen Eigenschaften des Feststoffs und
der Größe der Restdicke ab. Das mechanisch abgelöste
oder abgebrochene Stückchen wird über das strömende
Fluid aus der Wechselwirkungszone getragen.

15 Das Fluid wird über eine Düse 19'', auch als
Effusionsdüse bezeichnet, sowie im vorliegenden
Beispiel zusätzlich über eine Anordnung mehrerer
weiterer Düsen 19'' (Düsenkranz) am oder im Tubus 19'
in den Wechselwirkungsbereich eingeströmt. Aus dem
20 Düsenkranz strömt das Fluid in Richtung unteres Ende
des Tubus 19' und hält abtragende Partikel vom
Fenster 24 fern sowie den Strahlpropagationsweg
zwischen dem Fenster 24 und dem Bearbeitungs- bzw.
Wechselwirkungsort 14 frei. Die Effusionsdüse 19'' ist
25 mit ihrem Austrittsende möglichst nahe am Wechsel-
wirkungsbereich angeordnet. Aus dieser Düse wird das
Fluid mit großer lokaler Strömungsgeschwindigkeit auf
den Bearbeitungsort 14 gerichtet. Dadurch wird die
lokale Austauschrate im Wechselwirkungsbereich weiter
30 erhöht und damit die Abtragseffizienz gesteigert.

Der Abtrags- und Messvorgang wird vorzugsweise im
Fluid durchgeführt, so dass beispielsweise das Innere

- 20 -

des Tubus 19' bis zum optischen Fenster 24 und Teile der Schnittfuge 16 insbesondere im Bereich des Bearbeitungsortes 14 vollständig mit dem Fluid gefüllt sind. Als Fluid kommen insbesondere wässrige Lösungen, wie z.B. destilliertes Wasser, Kochsalzlösungen etc. in Betracht. Durch die Anordnung des Fensters 24 im unteren Bereich des Tubus 19' wird das Fluidvolumen zwischen dem Fenster 24 und dem Feststoff 15 minimiert und damit ein schnellerer Fluidaustausch (Volumeneinheit pro Zeiteinheit) erzielt. Letzteres ist wiederum für eine hohe Abtragseffizienz und zur Vermeidung von thermischen Schädigungen des Feststoffs wichtig.

Die Wellenlänge des Ablationslasers 1 ist so gewählt, dass sie im Fluid, wie z.B. in einer wässrigen Lösung, nur eine geringe Absorption aufweist. Für wässrige Lösungen wird vorzugsweise eine Wellenlänge im grünen Spektralbereich gewählt, wie z.B. die verdoppelte Grundschwingung eines Nd:YAG Lasers bei 532 nm.

Das Emissionsspektrum der Strahlquelle des OCT-Sensors 6 wird so gewählt, dass einerseits das Fluid mit geringer Absorption durchdrungen wird und andererseits die Restdicke des Feststoffs vermessen werden kann. Das heißt, dass die Messstrahlung zumindest z.B. in der Lage sein muss, den Feststoff im Bereich der Restdicke zu durchdringen und somit ein OCT-Signal sowohl von der Oberseite als auch von der Unterseite zu gewinnen. Beispielsweise beträgt die Restdicke eines Schädelknochens 1 μm bis 1 mm.

- 21 -

Ist der Feststoff 15 ein Hartgewebe, wie z.B. ein Knochen, wird ein Schwerpunkt des Emissionsspektrums der Strahlquelle des OCT-Sensors im Bereich von 700 bis 1100 nm gewählt. Beispielsweise wird eine Superlumineszenzdiode mit einer maximalen Emission bei 905 nm gewählt.

Die optischen Komponenten 5, 10, 12, 23, 24 sind so beschaffen, dass sie sowohl die Wellenlänge des Ablationslasers 1 als auch die Wellenlänge des OCT-Sensors 6 hinreichend reflektieren oder transmittieren.

Die Positioniereinheit 10 enthält vorzugsweise zwei 2D-Scannerspiegel. Unter einem 2D-Scannerspiegel wird ein Spiegel verstanden, der in zwei Raumrichtungen (zweidimensional = 2D) abgelenkt werden kann. Alternativ können einer oder beide 2D-Scannerspiegel durch zwei 1D-Scannerspiegel ersetzt werden. Einer der beiden 2D-Scannerspiegel wird zur kontinuierlichen Führung des Laserstrahls zum Materialabtrag über die zu bearbeitende Oberfläche in zwei Dimensionen verwendet. Der zweite 2D-Scannerspiegel in der Positioniereinheit 10 wird zur dynamischen Strahllagekorrektur verwendet und dient dazu, die Zitterbewegungen des Bedieners bei der manuellen Führung des Handstücks 19 auszugleichen.

In einer anderen Ausführungsform können beide Aufgaben - kontinuierliche Strahlführung und dynamische Strahllagekorrektur - von einem einzigen 2D-Scannerspiegel übernommen werden.

Die Positioniereinheit 10 enthält neben den Scannerspiegeln noch eine Verstelleinheit für die axiale Lage (z-Richtung in Figur 1) des Laserfokus im

- 22 -

Bearbeitungsraum. Diese Verstelleinheit wird z.B. mit einer Teleskopoptik ausgeführt, die bspw. motorisch verstellbar sein kann.

5 Für die dynamische Strahllagekorrektur wird der Feststoff innerhalb des Bereichs der dem Feststoff zugewandten Öffnung des Tubus 19' mit einer Kamera 17 koaxial beobachtet. Dazu wird der Wechselwirkungsbereich 14 mit einer - in Figur 1 nicht dargestellten -
10 Strahlquelle beleuchtet, deren Licht an der Oberfläche des Feststoffs und der Schnittfuge gestreut und zur Bildgebung verwendet wird. Dabei können sowohl Hellfeld- als auch Dunkelfeldbeleuchtungsanordnungen verwendet werden.

15 Die Wellenlänge der Beleuchtungsstrahlquelle und ihre Bestrahlungsstärke sind so gewählt, dass trotz der durch den Laserabtrag bedingten breitbandigen Plasmastrahlung am Wechselwirkungsort ein auswertbares
20 Bild der Abtragsszenerie und ihrer Umgebung aufgenommen werden kann. Vorzugsweise wird eine schmalbandige Laserstrahlquelle für die Beleuchtung verwendet, z.B. mit der Wellenlänge 808 nm. Vor der Kamera 17 befindet sich ein Filterelement 17', das die Beleuchtungs-
25 wellenlänge transmittiert und die Störstrahlung des Plasmaeigenleuchtens des Abtragsprozesses als auch die Streustrahlung des Ablationslaserlichts und des OCT-Messstrahls weitgehend unterdrückt. Als Beleuchtungsstrahlquelle wird vorzugsweise eine Laserdiode im
30 Emissionsbereich zwischen 600 nm und 1000 nm gewählt, wie z.B. bei 808 nm.

- 23 -

Figur 2 illustriert das Verfahren zur Erzeugung handgeführter Laserschnitte in plattenförmigen oder gekrümmten Feststoffen. In den Feststoff 15 wird mit herkömmlichen Methoden eine Zugangsöffnung 25 erstellt, z.B. durch einen Bohrer. Der Durchmesser dieser Durchgangsbohrung ist so gewählt, dass die Platte 20' am Schaft 20 des Handstücks 19 durchgeführt werden kann.

Der Bediener hat zuvor die gewünschte Schnittkontur 26 auf dem Feststoff 15 markiert oder in seiner Vorstellung festgelegt. Nun führt der Bediener das Handstück 19 in der Richtung 27 entlang der Markierung oder gemäß seiner Vorstellung der Schnittkontur 26. Aufgrund der manuellen Führung und der endlichen Breite der Markierung kann er dies nur mit begrenzter Genauigkeit durchführen.

Eine Recheneinheit und ein Programm (Bildverarbeitungsalgorithmus) werten kontinuierlich die Daten der Kamera 17 und des - z.B. OCT-Sensors 6 - aus. Die Kameradaten werden für ein Verfolgen (Tracking) von Merkmalen der Feststoffoberfläche, der Markierung - sofern vorhanden - und der erzeugten Schnittgeometrie verwendet. Dabei werden auch intrinsische Texturmerkmale der Feststoffoberfläche erkannt, die mit dem bloßen Auge nicht mehr sichtbar sind, und diese Merkmale permanent beobachtet bzw. nachverfolgt. Die erkannten Merkmale dienen als Orientierungspunkte, um bspw. eine Zitterbewegung des Handstücks 19 und damit eine Abweichung des Bearbeitungsfokus von einer Sollposition ohne Zitterbewegung zu detektieren. Aus dem Tracking werden Steuersignale für den dynamischen

- 24 -

2D-Scanner in der Positioniereinheit 10 abgeleitet, so dass trotz einer Zitterbewegung bei der manuellen Führung des Handstücks 19 der Ablationslaserstrahl auf die Schnittfuge geführt wird und eine optimale

5 Abtragsrate (Volumen des abgetragenen Feststoffs pro Zeiteinheit) und Abtragsgeometrie erzielt wird. Eine optimale Abtragsrate wird erzielt, wenn der Laserstrahl mit einer definierten Scanbewegung (in x- und y-Richtung, siehe Figur 1) im Bereich der zu erzeugenden

10 Schnittfuge bewegt wird.

Die beschriebene Kompensation ist nur innerhalb eines begrenzten Fangbereichs möglich. Wird die Grenze des Fangbereichs erreicht, so erzeugt die Recheneinheit

15 eine Signalisierung - z.B. durch Leuchtzeichen oder Signaltöne am Handstück oder den zugehörigen Peripheriegeräten - so dass der Bediener erkennt, dass die Grenze des Fangbereichs erreicht ist. In diesem Fall wird die Laserablation unterbrochen.

20 Vorzugsweise wird die Signalisierung so gestaltet, dass der Bediener erfährt, in welcher Richtung er das Handstück bewegen muss, um wieder in den Fangbereich zu gelangen. Ist das Handstück wieder im Fangbereich, wird

25 der Abtragsprozess fortgesetzt.

Die OCT-Messungen oder andere optische Messverfahren erfassen die Restdicke. Wird ein zuvor definierter Schwellwert für die Restdicke erreicht oder

30 unterschritten, so wird der Abtragsprozess an dieser Stelle abgebrochen. Eine Signalisierung zeigt dem Bediener an, dass er ein gedünntes Stückchen mit dem Schaft 20 herauslösen kann.

- 25 -

Alternativ kann der Feststoff komplett durchtrennt werden. Dies ist z.B. bei nicht-klinischen Applikationen möglich.

5

Das Handstück ist durch Schutzeinrichtungen so gestaltet, dass für den Bediener ein Lasersystem der Klasse 1 vorliegt. Dazu wird der Tubus 19' am dem Feststoff zugewandten Ende mit einer flexiblen Muffe versehen, die den Austritt gestreuter Laserstrahlung aus dem Wechselwirkungsbereich verhindert. Der Durchtritt der Laserstrahlung auf die Rückseite des Feststoffs wird einerseits dadurch verhindert, dass der Abtrag nur bis auf eine endliche Restdicke erfolgt und andererseits durch die Platte 20' blockiert wird.

Für den Ablationslaser wird vorzugsweise ein Pikosekundenlaser verwendet. Dieser arbeitet mit Pulsfrequenzen zwischen 1 kHz und 1000 MHz, bei mittleren Leistungen von 1 W bis 1000 W. Die Pulsdauer beträgt < 500 ps. Alternativ werden Nanosekunden- oder Femtosekunden-Pulse verwendet.

Fig. 3 zeigt ein Beispiel für eine Ausgestaltung der vorgeschlagenen Vorrichtung mit einem Gelenkspiegelarm als Strahlführung 3 zwischen einem stationären Teil 28 der Vorrichtung und dem handgeführten Bearbeitungskopf 19. Eine derartige Ausgestaltung bietet sich für eine Anwendung in der Kraniotomie an, wie dies in der Figur angedeutet ist. In dem stationären Teil 28 der Vorrichtung befinden sich der Laser sowie die Bildauswerte- und Steuereinrichtung, die über entsprechende, ebenfalls im oder

- 26 -

am Gelenkspiegelarm geführte Kabel mit den entsprechenden Komponenten des handgeführten Bearbeitungskopfes 19 verbunden sind.

- 5 Die vorgeschlagene Vorrichtung und das zugehörige Verfahren ermöglichen die Erzeugung präziser schmaler Schnitte in Feststoffen mit einem handgeführten Bearbeitungskopf und geeigneter Bearbeitungsstrahlung, insbesondere gepulster Laserstrahlung. Durch Nutzung
10 eines Tubus mit einem darüber hinaus stehenden Schaft wird eine haptische Kopplung durch Abtrag bis auf eine definierte Restdicke und manuelles Herauslösen des gedünnten Feststoffteils mit dem Schaft ermöglicht. Der Abtrag erfolgt vorzugsweise in einer strömenden
15 Flüssigkeit zum Abtransport des abgetragenen Materials und zur Vermeidung thermischer Schädigungen am Feststoff. Mit der Vorrichtung werden mechanische Drehimpulseinwirkungen auf den Feststoff vermieden, wie sie beispielsweise beim Fräsen auftreten. Damit sinken
20 bei medizinischen Anwendungen die dadurch bedingten Verletzungsrisiken für einen Patienten. Die Vorrichtung bietet Schutz vor Durchdringung des Feststoffs mit der ablatierten Laserstrahlung durch das Restdickenprinzip und eine zusätzliche Platte, so dass eine Laserklasse 1
25 erreichbar ist. Der Abtrag der Feststoffe erfolgt ohne die Bewegung träger Massen, so dass sich der Abtragprozess auch instantan beenden lässt. Im Falle klinischer Anwendungen wird mit der Vorrichtung eine erhöhte Operationssicherheit bei reduzierten Verlet-
30 zungsgefahren erreicht.

Bezugszeichenliste

	1	Gepulste Laserstrahlquelle
5	2	Laserstrahl
	3	Strahlführung
	4	Laserstrahl
	5	Ablenkelement, Strahlvereiniger
	6	OCT-Sensor
10	7	Messstrahl
	8	Ablenkelement
	9	Laserstrahl
	10	Positioniereinheit
	11	Laserstrahl
15	12	Ablenkelement
	13	Bearbeitungs- bzw. Ablationsstrahl
	14	Bearbeitungsort
	15	Feststoff
	16	Schnittfuge
20	17	Kamera
	17'	Filter
	18	Koordinatensystem
	19	handgeführter Bearbeitungskopf
	19'	Tubus
25	19' '	Düsenkranz
	19' ' '	Düse
	20	Schaft
	20'	Platte
	21	Dicke d
30	22	Restdicke d_r
	23	Fokussierlinse
	24	Fenster
	25	Zugangsöffnung

- 28 -

- 26 gewünschte Schnittkontur
- 27 Schnittrichtung
- 28 stationärer Teil der Vorrichtung

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Schneiden oder Trennen von Feststoffen durch Materialabtrag, mit
- 5 - einem handführbaren Bearbeitungskopf (19), in dem ein Bearbeitungsstrahl (13) über eine dynamische Strahlablenkeinheit (10) durch eine Strahlaustrittsöffnung geführt wird, durch die der Bearbeitungsstrahl (13) mit dem Bearbeitungskopf (19) auf einen Bearbeitungsort (14) auf einem
- 10 Feststoff (15) gerichtet werden kann,
- eine in oder an dem Bearbeitungskopf (19) angeordnete Bilderfassungseinheit (17), mit der während einer Bearbeitung kontinuierlich Bilder eines den Bearbeitungsort (14) umfassenden
- 15 Bereiches des Feststoffes (15) aufgenommen werden, und
- einer Bildauswerte- und Steuereinheit, die aus den Bildern eine Fehlbewegung bei einer manuellen Führung des Bearbeitungskopfes (19) ermittelt und
- 20 die dynamische Strahlablenkeinheit (10) zu einer Strahllagekorrektur ansteuert, mit der die Fehlbewegung zumindest teilweise kompensiert wird,
- wobei die Strahlaustrittsöffnung an einem Ende eines Tubus (19') ausgebildet ist, der den
- 25 Bearbeitungsstrahl (13) auf dem Weg zum Bearbeitungsort (14) abschirmt, und
- wobei im Bereich der Strahlaustrittsöffnung ein Schaft (20) über den Tubus (19') hinausragt, der starr mit dem Tubus verbunden und so ausgebildet
- 30 ist, dass er sich in eine durch die Bearbeitung

- 30 -

erzeugte Schnittfuge (16) am Feststoff (15)
einführen lässt und dadurch eine laterale Führung
des Tubus (19') während der Bearbeitung ermöglicht.

- 5 2. Vorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Bildauswerte- und Steuereinheit so
ausgebildet ist, dass sie eine Zitterbewegung bei
der manuellen Führung des Bearbeitungskopfes (19)
10 erkennt und die dynamische Strahlablenkeinheit (10)
so ansteuert, dass die Zitterbewegung durch die
Strahllagekorrektur zumindest teilweise kompensiert
wird.
- 15 3. Vorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Bildauswerte- und Steuereinheit so
ausgebildet ist, dass sie einen Verlauf einer
Schnittmarkierung auf dem Feststoff (15) erkennt
20 und die Strahllagekorrektur so durchführt, dass der
Bearbeitungsstrahl (13) der Schnittmarkierung auf
dem Feststoff (15) folgt.
- 25 4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Bildauswerte- und Steuereinheit so
ausgebildet ist, dass sie eine Richtung der jeweils
momentan auszuführenden Schnittkontur in
Abhängigkeit einer momentanen Drehlage des
30 Bearbeitungskopfes (19) um die Achse des
Bearbeitungsstrahls (13) oder eine dazu parallele
Achse in Bezug auf den Feststoff (15) erkennt.

- 31 -

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Bildauswerte- und Steuereinheit so
ausgebildet ist, dass sie bei Erreichen eines
5 maximal möglichen Korrekturwertes der
Strahllagekorrektur ein für einen Bediener
erkennbares Signal abgibt und die Bearbeitung
unterbricht.
- 10 6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass mindestens eine Düse (19'', 19''') am
handführbaren Bearbeitungskopf (19) angeordnet ist,
über die der Bearbeitungsort (14) während der
15 Bearbeitung mit einer Fluidströmung beaufschlagbar
ist.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
20 dass an einem dem Tubus (19') gegenüberliegenden
Ende des Schafts (20) ein plattenförmiges Element
(20') angebracht ist, das die durch den Tubus (19')
verlaufende Achse des Bearbeitungsstrahls (13)
schneidet.
- 25 8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Bildauswerte- und Steuereinheit so
ausgebildet ist, dass sie eine Richtung der jeweils
30 momentan auszuführenden Schnittkontur aus einer
Krafteinwirkung auf den Schaft (20) durch eine vom
Bediener ausgeführte Vorschubbewegung erkennt.

- 32 -

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass in oder an dem handführbaren Bearbeitungskopf
(19) eine Messeinrichtung (6) angeordnet ist, die
5 während der Bearbeitung eine Restschichtdicke (22)
des Feststoffs (15) am Bearbeitungsort (14) misst.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet,
10 dass die Messeinrichtung (6) so ausgebildet ist,
dass sie bei Erreichen einer Soll-Restschichtdicke
oder bei einer vollständigen Durchtrennung des
Feststoffs (15) ein für einen Bediener erkennbares
Signal abgibt und/oder die Bearbeitung unterbricht.
15
11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Messeinrichtung (6) einen OCT-Sensor
umfasst.
20
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11,
dadurch gekennzeichnet,
dass die dynamische Strahlableiteneinheit (10)
mindestens eine 2D-Scaneinheit umfasst.
25
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Bilderfassungseinheit (17) so angeordnet
ist, dass die Bilder des den Bearbeitungsort (14)
30 umfassenden Bereiches des Feststoffs (15) koaxial
zum Bearbeitungsstrahl (13) aufgenommen werden.

- 33 -

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Vorrichtung einen außerhalb des hand-
führbaren Bearbeitungskopfes (19) angeordneten
5 Laser (1) zur Erzeugung eines Laserstrahls (2) als
Bearbeitungsstrahl aufweist, wobei der Laserstrahl
(2) über eine biegsame oder gelenkige Strahlfüh-
rungseinrichtung (3) in den Bearbeitungskopf (19)
geführt wird.
- 10
15. Verfahren zum Schneiden oder Trennen von
Feststoffen durch Materialabtrag, bei dem ein
Bearbeitungsstrahl (13) mit einem handgeführten
Bearbeitungskopf (19), in dem der Bearbeitungs-
15 strahl über eine dynamische Strahlablenkeinheit
(10) durch eine Strahlaustrittsöffnung gelenkt
wird, auf einen Bearbeitungsort (14) auf einem
Feststoff (15) gerichtet wird,
- wobei durch eine in oder an dem Bearbeitungskopf
20 (19) angeordnete Bilderfassungseinheit (17) während
einer Bearbeitung kontinuierlich Bilder eines den
Bearbeitungsort (14) umfassenden Bereiches des
Feststoffs (15) aufgenommen werden, aus den Bildern
eine Fehlbewegung bei der manuellen Führung des
25 Bearbeitungskopfes (19) ermittelt und die
dynamische Strahlablenkeinheit (10) zu einer
Strahllagekorrektur angesteuert wird, mit der die
Fehlbewegung zumindest teilweise kompensiert wird,
- wobei ein handgeführter Bearbeitungskopf (19)
30 eingesetzt wird, bei dem die Strahlaustrittsöffnung
an einem Ende eines Tubus (19') ausgebildet ist,
der den Bearbeitungsstrahl (13) auf dem Weg zum
Bearbeitungsort (14) abschirmt, und im Bereich der

- 34 -

- Strahlaustrittsöffnung ein Schaft (20) über den Tubus (19') hinausragt, der starr mit dem Tubus verbunden ist, und
- 5 - wobei der Schaft (20) in eine durch die Bearbeitung erzeugte Schnittfuge (16) am Feststoff (15) eingeführt und während der Bearbeitung in der Schnittfuge (16) geführt wird.
- 10 16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass der Bearbeitungsort (14) während der Bearbeitung mit einer Fluidströmung beaufschlagt wird.
- 15 17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Bearbeitungsort (14) während der Bearbeitung durch den Tubus (19') hindurch mit einer Flüssigkeitsströmung beaufschlagt wird, so
- 20 dass sich der Tubus (19') zumindest teilweise mit der Flüssigkeit füllt und die Bearbeitung in der Flüssigkeit erfolgt.
- 25 18. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass während der Bearbeitung über eine am oder im Bearbeitungskopf (19) angeordnete Messeinrichtung (6) eine Restschichtdicke (22) des Feststoffs (15) am Bearbeitungsort (14) gemessen und bei Erreichen
- 30 einer Soll-Restschichtdicke oder bei einer vollständigen Durchtrennung des Feststoffs (15) ein für einen Bediener erkennbares Signal abgegeben und/oder die Bearbeitung automatisch unterbrochen

- 35 -

wird.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 18,
dadurch gekennzeichnet,
5 dass der Materialabtrag mit dem Bearbeitungsstrahl
nur bis auf eine Soll-Restschichtdicke (22) erfolgt
und ein verbleibender Feststoffteil jeweils manuell
mit dem Schaft (20) herausgelöst wird.

1/2

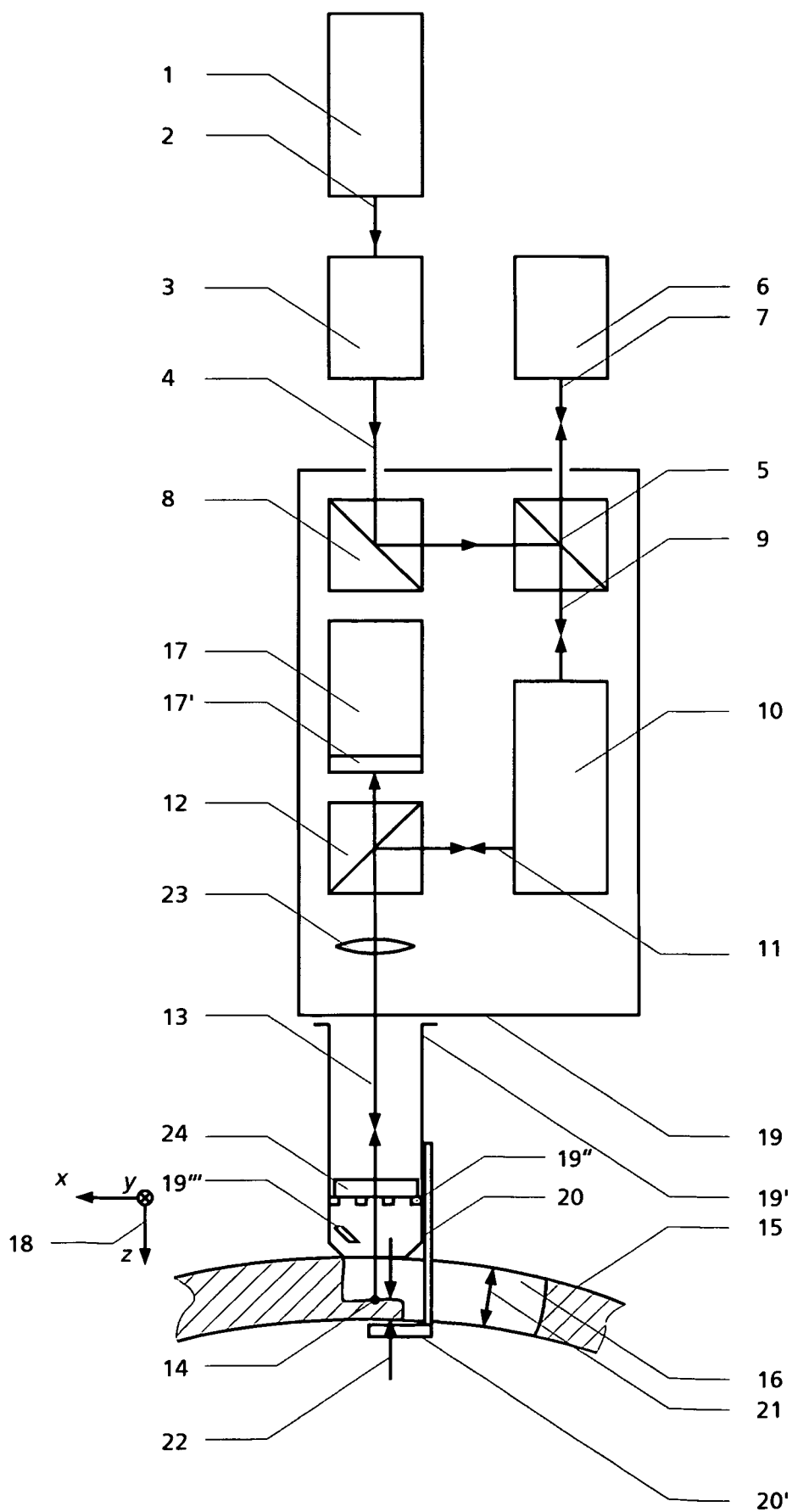


Fig. 1

2 / 2

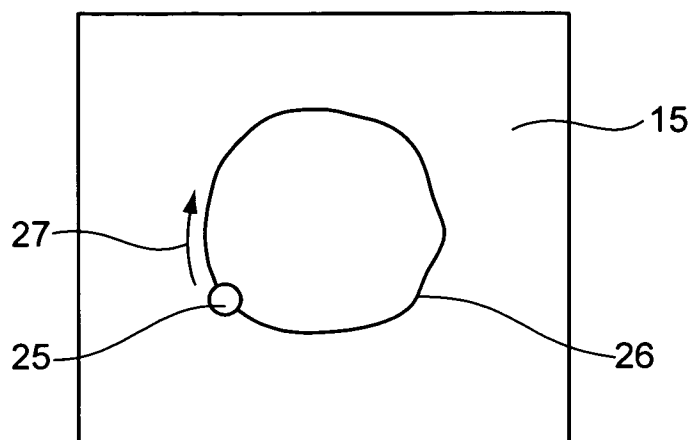


Fig. 2

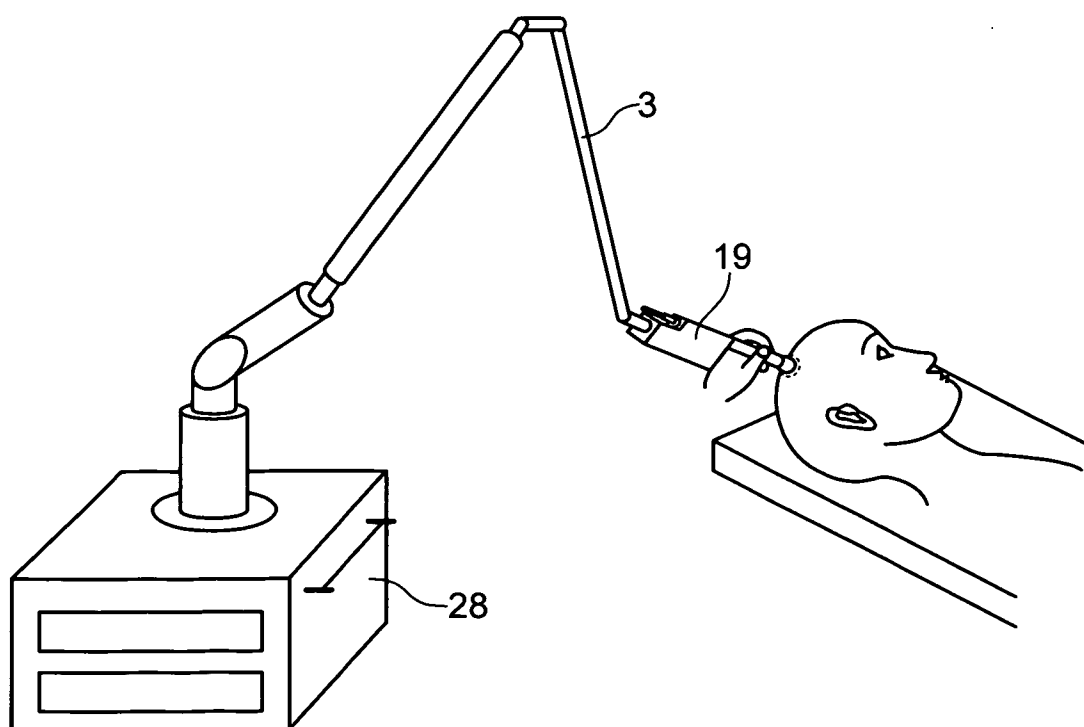


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/004695

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. B23K26/00 A61C1/00 A61B18/20 B23K26/04 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) B23K A61C A61B A61F		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2010 005896 A1 (DAIMLER AG [DE]) 14 October 2010 (2010-10-14)	1,3-5,7, 12-14
Y	paragraphs [0050] - [0057], [0068], [0071] - [0074] figure 3b	2,6,8-11
Y	-----	
Y	US 6 881 925 B1 (SATO KATSUHIKO [JP] ET AL) 19 April 2005 (2005-04-19) column 72, line 26 - line 30	2
Y	-----	
Y	DE 10 2009 005194 A1 (KASENBACHER ANTON [DE]; LUMERA LASER GMBH [DE]) 29 July 2010 (2010-07-29) paragraph [0102] figure 7	6

	-/-	
☒ 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	Date of mailing of the international search report	
6 February 2013	18/02/2013	
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 Büchler Costa, Joana	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/004695

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 10 2006 030130 B3 (SCANSONIC GMBH [DE]) 27 September 2007 (2007-09-27) cited in the application paragraph [0014]	8
Y	----- EP 1 848 389 B1 (ZEISS CARL MEDITEC AG [DE]) 20 July 2011 (2011-07-20) cited in the application paragraph [0311] -----	9-11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2012/004695

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☒ Claims Nos.: 15-19
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

PCT Rule 39.1(iv) - methods for treatment of the human or animal body by surgery.

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2012/004695

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102010005896 A1	14-10-2010	NONE	
US 6881925	B1	19-04-2005	NONE
DE 102009005194 A1	29-07-2010	DE 102009005194 A1	29-07-2010
		EP 2389271 A1	30-11-2011
		JP 2012515565 A	12-07-2012
		KR 20110119719 A	02-11-2011
		US 2012015318 A1	19-01-2012
		WO 2010083825 A1	29-07-2010
DE 102006030130 B3	27-09-2007	NONE	
EP 1848389	B1	20-07-2011	AT 516786 T
			EP 1848389 A2
			US 2008058781 A1
			WO 2006087180 A2

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. B23K26/00 A61C1/00 A61B18/20 B23K26/04
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 B23K A61C A61B A61F

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2010 005896 A1 (DAIMLER AG [DE]) 14. Oktober 2010 (2010-10-14)	1,3-5,7, 12-14
Y	Absätze [0050] - [0057], [0068], [0071] - [0074] Abbildung 3b	2,6,8-11
Y	US 6 881 925 B1 (SATO KATSUHIKO [JP] ET AL) 19. April 2005 (2005-04-19) Spalte 72, Zeile 26 - Zeile 30	2
Y	DE 10 2009 005194 A1 (KASENBACHER ANTON [DE]; LUMERA LASER GMBH [DE]) 29. Juli 2010 (2010-07-29) Absatz [0102] Abbildung 7	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

6. Februar 2013

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

18/02/2013

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

Büchler Costa, Joana

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 10 2006 030130 B3 (SCANSONIC GMBH [DE]) 27. September 2007 (2007-09-27) in der Anmeldung erwähnt Absatz [0014] -----	8
Y	EP 1 848 389 B1 (ZEISS CARL MEDITEC AG [DE]) 20. Juli 2011 (2011-07-20) in der Anmeldung erwähnt Absatz [0311] -----	9-11

Feld Nr. II Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein internationaler Recherchenbericht erstellt:

1. ☒ Ansprüche Nr. **15-19**
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche diese Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich
Regel 39.1 iv) PCT - Verfahren zur chirurgischen Behandlung des menschlichen oder tierischen Körpers
2. ☐ Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, dass eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich
3. ☐ Ansprüche Nr.
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefasst sind.

Feld Nr. III Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)

Diese Internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

1. ☐ Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.
2. ☐ Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung solcher Gebühren aufgefordert.
3. ☐ Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.
4. ☐ Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Dieser internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfasst:

Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs

- ☐ Der Anmelder hat die zusätzlichen Recherchegebühren unter Widerspruch entrichtet und die gegebenenfalls erforderliche Widerspruchsgebühr gezahlt.
- ☐ Die zusätzlichen Recherchegebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt, jedoch wurde die entsprechende Widerspruchsgebühr nicht innerhalb der in der Aufforderung angegebenen Frist entrichtet.
- ☐ Die Zahlung der zusätzlichen Recherchegebühren erfolgte ohne Widerspruch.

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/004695

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102010005896 A1	14-10-2010	KEINE	
US 6881925 B1	19-04-2005	KEINE	
DE 102009005194 A1	29-07-2010	DE 102009005194 A1	29-07-2010
		EP 2389271 A1	30-11-2011
		JP 2012515565 A	12-07-2012
		KR 20110119719 A	02-11-2011
		US 2012015318 A1	19-01-2012
		WO 2010083825 A1	29-07-2010
DE 102006030130 B3	27-09-2007	KEINE	
EP 1848389 B1	20-07-2011	AT 516786 T	15-08-2011
		EP 1848389 A2	31-10-2007
		US 2008058781 A1	06-03-2008
		WO 2006087180 A2	24-08-2006