



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
30.01.2013 Patentblatt 2013/05

(51) Int Cl.:
B26D 7/08 (2006.01) **B26D 1/00** (2006.01)
B01F 11/02 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **11175306.7**

(22) Anmeldetag: **26.07.2011**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(72) Erfinder: **Carrasco, César**
CH-8581 Schocherswil (CH)

(74) Vertreter: **Rutz & Partner**
Alpenstrasse 14
Postfach 4627
6304 Zug (CH)

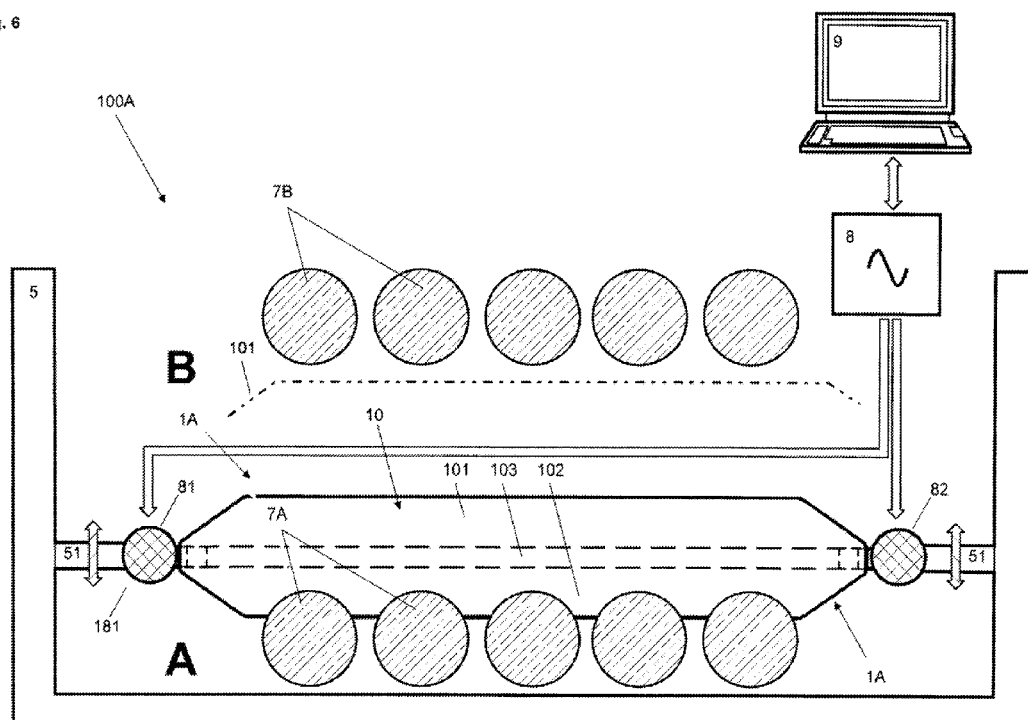
(71) Anmelder: **A O Schallinox GmbH**
8581 Schocherswil (CH)

(54) **Messer zum Aufteilen von Prozessgut unter Anwendung von Ultraschallenergie sowie Vorrichtung**

(57) Das Messer (1A; 1B; 1C; 1D; 1E), das zum Aufteilen, insbesondere Schneiden oder Zerstäuben, eines Prozessguts unter Anwendung von Ultraschallenergie dient, umfasst eine Klinge (10) mit wenigstens einem Klingenflügel (101), welcher sich frontseitig zu einer Schneide (1011) hin verjüngt und rückseitig mit einem Klingenrücken (103) verbunden ist, der einander gegenüberliegende grössere Seitenflächen (103U, 1030) und an frei liegenden Enden kleinere Stirnflächen (103F) auf-

weist. Erfindungsgemäss ist wenigstens auf einer der Seitenflächen (103U, 1030) des Klingenrückens (103) ein erstes Endstück (1811) wenigstens eines in einem Bogen verlaufenden, vorzugsweise U-förmigen Koppelungselements (181; 182) angeschweisst, dessen zweites Endstück (1812) ein Verbindungselement (18121), vorzugsweise eine Gewindebohrung, aufweist, welches mit einem der Zufuhr von Ultraschallenergie dienenden Energiewandler verbindbar ist.

Fig. 6



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Messer zum Aufteilen, insbesondere zum Schneiden oder Zerstäuben von Prozessgut unter Anwendung von Ultraschallenergie sowie eine Vorrichtung mit wenigstens einem solchen Messer.

[0002] In zahlreichen industriellen Anwendungen, insbesondere in der Nahrungsmittelindustrie, sind Produkte mit vorgesehenen Abmessungen bereitzustellen. Beispielsweise sollen Portionen von Fleisch, Wurst oder Käse als Einzelstücke oder aufgeteilt in Tranchen bereitgestellt werden. Dazu werden Schneidvorrichtungen, z.B. Antriebe mit rotierenden Schneidscheiben vorgesehen, welche mit hohen Taktfrequenzen gegen die Produkte geführt werden, um die erforderlichen Schnitte auszuführen. Derartige Vorrichtungen sind aufwendig in der Herstellung, im Betrieb und in der Wartung. Durch die Rotation der Schneidscheiben, die regelmässig neu geschliffen werden müssen, erfolgt eine massive Einwirkung auf das Material, welche Partikel herauslöst und weggeschleudert, wodurch eine Verschmutzung der Vorrichtung resultiert.

[0003] Weiterhin sind die Schneidscheiben und die Parameter für deren Betrieb jeweils an das zu verarbeitende Produkt anzupassen, wodurch der Einsatzbereich beschränkt ist oder eine individuelle Ansteuerung vorzusehen ist. Sofern beispielsweise weiches Brot geschnitten werden soll, so sind hohe Drehzahlen erforderlich, damit dieses bei der Applikation des Schnittes nicht zusammengedrückt wird. Zudem nehmen die rotierenden Schneidscheiben zusammen mit den Antriebsvorrichtungen viel Raum in Anspruch, so dass hinsichtlich der eingesetzten Mittel, einschliesslich der benötigten Räumlichkeiten, eine geringe Effizienz resultiert. Ferner resultieren bei Produkten mit grossen Abmessungen besondere Anforderungen an die Schneidvorrichtung. Gegebenenfalls muss die Schneidscheibe entlang einer Bahn geführt werden, um den gewünschten Schnitt in der erforderlichen Länge auszuführen.

[0004] Aus dem Stand der Technik sind ferner Schneidvorrichtungen bekannt, bei denen ein Messer über einen Energiewandler mit einem Schwingungserzeuger verbunden ist, der eine elektrische Wechselspannung mit einer Frequenz im Ultraschallbereich abgibt. Der Energiewandler, der typischerweise piezoelektrische Elemente aufweist, wandelt die elektrische Energie in mechanische Energie um, die eine Vibration des Messers bewirkt.

[0005] Bei einer in der DE-A-1561733 beschriebenen Schneidvorrichtung wird eine Vibrationsvorrichtung auf dem Rücken eines relativ kleinen Messers verschraubt, wonach bei der Applikation von Schallwellen das Messer in Schwingung versetzt wird.

[0006] Ein weiteres für chirurgische Anwendungen vorgesehenes Messer mit einer Vibrationsvorrichtung ist aus der W02008148139A1 bekannt. Bei diesem Messer treten mechanische Schwingungsamplituden von 0,0001mm - 1mm auf.

[0007] Für grössere Messer sind entsprechend grössere und aufwändig gestaltete Vibrationsvorrichtungen erforderlich.

[0008] Weiterhin besteht bei industriellen Prozessen, zum Beispiel in der Pharmaindustrie oder der Nahrungsmittelindustrie, oft die Notwendigkeit, Materialien in Pulverform gleichmässig verteilt an einen Abnehmer abzugeben. Beispielsweise soll das Material einem festen Produkt oder einem Flüssiggut zugeführt werden, wobei eine Klumpenbildung zu vermeiden ist. Weiterhin sind oft verschiedene pulverförmige Substanzen gleichmässig zu mischen, was durch den Einsatz von Mischwerken und Rührwerken oft nur mit grossem Aufwand und langer Bearbeitungszeit gelingt.

[0009] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Messer zu schaffen, mit dem das Aufteilen, insbesondere das Schneiden oder Zerstäuben, eines Prozessguts insbesondere in industriellen Anwendungen unter Anwendung von Ultraschallenergie besonders vorteilhaft gelingt.

[0010] Insbesondere ist ein Messer anzugeben, welches bei der Anwendung von Ultraschallenergie bei Produkten nahezu beliebiger Konsistenz optimale Schneideigenschaften aufweist und eine präzise Aufteilung der Produkte erlaubt.

[0011] Weiterhin ist ein Messer anzugeben, welches für Produkte beliebiger Herstellungsprozesse einsetzbar ist und auch bei grösseren und längeren Produkten über die gesamte Schnittlinie optimale Eigenschaften aufweist.

[0012] Weiterhin soll bei der Verwendung des Messers in einer erfindungsgemässen Vorrichtung ein deutlich höherer Durchsatz an bearbeiteten Produkten realisierbar sein.

[0013] Das Messer soll ferner auch für die gleichmässige Aufteilung und Mischung von pulverförmigen Materialien vorteilhaft einsetzbar sein. Über das Messer soll pulverförmiges Prozessgut gleichmässig an ein weiteres Prozessgut abgegeben oder mit diesem gemischt werden können, ohne dass eine ansonsten gegebenenfalls erforderliche Mischung in einer Flüssigkeit durchgeführt werden muss.

[0014] Für den Betrieb eines oder mehrerer erfindungsgemässer Messer ist ferner eine vorteilhafte Vorrichtung anzugeben.

[0015] Diese Aufgabe wird mit einem Messer und einer Vorrichtung gelöst, welche die in Anspruch 1 bzw. Anspruch 9 angegebenen Merkmale aufweisen. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in weiteren Ansprüchen angegeben.

[0016] Das Messer, das dem Aufteilen, insbesondere dem Schneiden oder dem gleichmässigen Zerstäuben und/oder gleichmässigen Mischen von Materialien und Produkten unter Anwendung von Ultraschallenergie dient, umfasst eine Klinge mit wenigstens einem Klingengeflügel, welcher sich frontseitig zu einer Schneide hin verjüngt und rückseitig mit einem Klingenrücken verbunden ist, der einander gegenüberliegende grössere Sei-

tenflächen und an frei liegenden Enden kleinere Stirnflächen aufweist.

[0017] Erfindungsgemäss ist wenigstens auf einer der Seitenflächen des Klingenrückens ein erstes Endstück wenigstens eines in einem Bogen verlaufenden, vorzugsweise U-förmigen Kopplungselements angeschweisst, dessen zweites Endstück ein Verbindungselement, vorzugsweise eine Gewindebohrung, aufweist, welches mit einem der Zufuhr von Ultraschallenergie dienenden Energiewandler verbindbar ist.

[0018] Die Anwendung von Ultraschallenergie beispielsweise mit einer Arbeitsfrequenz von 35 kHz verleiht dem erfindungsgemäss ausgestalteten Messer überraschende Eigenschaften. Die Ultraschallenergie wird über die grossen Seitenflächen des Klingenrückens quer zu der wenigstens einen Schnittrichtung des Messers in die Klinge eingekoppelt. Ein erstes Endstück des Kopplungselements verläuft dabei vorzugsweise senkrecht zur Klinge. Bei der Einwirkung der Ultraschallenergie resultiert daher nicht wie bei den bekannten Messern eine Vibrationsbewegung in Schneiderichtung. Stattdessen resultieren elastische Wellen innerhalb und/oder auf der Oberfläche der Klinge, die sich zur Schneide hin intensivieren. Geeignete Wellen resultieren bei gekrümmter oder gebogener Ausgestaltung der Kopplungselemente, die vorzugsweise U-förmig ausgestaltet sind.

[0019] Dabei ist es vorteilhaft, ein kürzeres erstes Endstück des Kopplungselements auf einer Klingenseite zu montieren und ein längeres zweites Endstück des Kopplungselements mittels eines Bogens um den Klingenrücken herum oder durch eine Öffnung im Klingenrücken hindurch auf die andere Seite der Klinge zu führen. In vorzugsweisen Ausgestaltungen verlaufen die beiden Endstücke des Kopplungselements parallel.

[0020] Das Kopplungselement ist beispielsweise ein gebogener Stab aus Stahl mit einem Rundprofil oder einem Mehrkantprofil und einer Länge vorzugsweise im Bereich von 5 cm bis 30 cm. Der Durchmesser oder die Kantenlänge des Stabs liegt vorzugsweise im Bereich von 8mm bis 16mm.

[0021] Durch die Einkopplung der Ultraschallenergie über das gebogene Kopplungsstück senkrecht in die Klinge resultiert ein vorteilhaftes Muster mechanischer Wellen, die sich über die Klinge ausbreiten. Durch die erfindungsgemässe Einkopplung der Ultraschallenergie in den Klingenrücken werden nicht nur eine optimale Verteilung der Energie innerhalb des Klingenrückens und eine signifikante Verstärkung der mechanischen Wellen im Bereich der Schneiden erzielt. Gleichzeitig wird durch die optimale Verteilung der Energie auch eine punktuelle Überlastung der Klinge vermieden, welche zu einer Zerstörung des Messers führen könnte. Ultraschallenergie kann daher vorteilhaft bei der derjenigen Arbeitsfrequenz in die Klinge eingeführt werden, bei der diese eine maximale Leistung aufnimmt. Aufgrund der raschen Verteilung der mechanischen Wellen innerhalb des Klingenrückens wird einerseits eine lokale Erwärmung vermieden und andererseits eine optimale Wirkung der Schnei-

den erzielt.

[0022] Vorzugsweise wird dem mit der Klinge verbundenen Energiewandler ein frequenzmoduliertes Signal zugeführt, welches vorzugsweise einen Frequenzhub in einem Bereich von 1% - 10% der Arbeitsfrequenz und vorzugsweise eine Modulationsfrequenz im Bereich von 50Hz - 1000Hz aufweist. Durch die Frequenzmodulation wird gewährleistet, dass das Messer unabhängig von äusseren thermischen oder mechanischen Einwirkungen stets im optimalen Arbeitsbereich betrieben wird.

[0023] Der Klingenrücken weist eine erhöhte Materialdicke typischerweise im Bereich von 3mm - 10mm auf. Für längere oder kürzere Messer oder bei der Zufuhr erhöhter Leistung wird die Materialdicke entsprechend angepasst. Besonders vorteilhaft ist, dass die vorteilhafte Wirkung auch bei Messern praktisch beliebiger Länge erzielt werden kann, bei denen Ultraschallenergie vorzugsweise in gleichmässigen Abständen von zum Beispiel 30 cm - 90cm über Kopplungselemente zugeführt wird. Erfindungsgemässe Messer können daher für beliebige Anwendungen eingesetzt werden. Beispielsweise können Messer in der Papierindustrie eingesetzt werden, um Papierbahnen maximaler Breite zu schneiden. In der Mehrheit der Anwendungen, insbesondere in der Nahrungsmittelindustrie, werden Messerlängen von 0,5m bis 1,5m eingesetzt. Es können jedoch Messerlängen von mehreren Metern beispielsweise bis zu 8 m und mehr eingesetzt werden.

[0024] Die in die Klinge eingekoppelte Ultraschallenergie bewirkt keine spürbaren Vibrationen, sondern rekursive Materialdehnungen mit Materialverschiebungen im Nanometerbereich sowie Materialschwingungen, welche eine erstaunliche Wirkung beim bearbeiteten Prozessgut zur Folge haben. Nebst Longitudinalwellen treten im Bereich der Schneide kräftige Transversalwellen auf, die quer zur Schneiderichtung verlaufen. Durch die feineren Wellen und Schwingungen resultiert eine Trennwirkung die weit intensiver ist als die Trennwirkung, die bei Krafteinwirkung oder Einwirkung von Vibrationen eintritt. Das Messer kann in feinste Gewebestrukturen eindringen und diese auftrennen. Durch die auftretende Kombination mechanischer Wellen, wie sie z.B. in Brian M. Lempriere, Ultrasound and Acoustic Waves, Academic Press, London 2002, beschrieben sind, wird eine optimale Wirkung erzielt. Die Schneide ist dabei longitudinalen Dehnungen und transversalen Bewegungen unterworfen, die die Strukturen aufbrechen, ohne sie weiter zu schädigen. Bei den bearbeiteten Produkten resultieren nicht nur präzise Schnitte, sondern auch optimale Schnittflächen.

[0025] Durch mechanische Longitudinalwellen und Transversalwellen wird weiches oder hartes Prozessgut im Bereich der Klinge aufgetrennt, ohne dass eine Krafteinwirkung aufgewendet werden muss. Dies hat zur Folge, dass selbst sehr weiches Prozessgut bei der Bearbeitung keinen Deformationen unterworfen ist und daher präzise geschnitten werden kann. Beispielsweise kann weiches Brot in Scheiben minimaler Dicke geschnitten

werden. Durch die Vermeidung einer Krafteinwirkung wird die Schneide der Klinge zudem geschont, so dass diese erst nach relativ langer Betriebszeit wieder geschärft werden muss.

[0026] Das erfindungsgemässe Messer kann auch eine grosse Länge aufweisen, so dass mehrere auf einem Förderband transportierte Produkte bearbeitet werden können. In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung weist das Messer eine Doppelklinge auf, so dass mit jeder Bewegung der Klinge, d.h., beim Anheben und beim Absenken der Klinge, ein Arbeitsgang ausgeführt werden kann. Auf diese Weise kann der Durchlauf der bearbeiteten Produkte verdoppelt werden.

[0027] In bevorzugten Ausgestaltungen wird die Schneide des einen oder beider Klingenflügel mit einer Wellenform oder einer Verzahnung versehen, die noch eine intensivere Wirkung aufweist und das Prozessgut praktisch in zwei Schritten bearbeitet. Im ersten Schritt greifen die Wellen oder Zähne in das Prozessgut ein und teilen dies partiell auf, wonach in einem zweiten Schritt der verbleibende Teil aufgetrennt wird. Die Wellenform bewirkt ferner, dass die freiliegenden Wellen der Schneide noch intensiver schwingen können, weshalb die Wirkung der erfindungsgemässen Massnahmen noch verstärkt wird.

[0028] In besonders bevorzugten Ausgestaltungen wird die Oberseite der Klinge, gegebenenfalls nur eine der Oberseiten der Klingenflügel, mit einer Wellenform versehen, die senkrecht oder quer zur Schneide verlaufende Wellentäler oder Rinnen bildet. Diese Ausgestaltung der Klinge bewirkt eine weiter verbesserte Verteilung der Ultraschallenergie.

[0029] Die mit einer Wellenform versehene Klinge kann besonders vorteilhaft auch für den Transport und die gleichmässige Abgabe eines pulverförmigen Prozessguts verwendet werden. Bei dieser Ausgestaltung der Klinge verteilt sich das Prozessgut gleichmässig über die Oberseite der Klinge und wird entlang der Rillen zur Schneide befördert, wo es zerstäubt wird und sich als gleichmässiger Nebel absenkt. Sofern zwei erfindungsgemässe Messer untereinander oder nebeneinander angeordnet sind, so vermischen sich die Pulvernebel jedes Prozessguts in idealer Weise und bilden ein praktisch homogenes Mischgut mit einem Durchmischungsgrad, der ansonsten nur nach langem Rühren in einer Flüssigkeit erzielt werden kann.

[0030] Sofern jedes pulverförmige Prozessgut mit einer bestimmten Dosierung an das zugehörige Messer abgegeben wird, so kann ein optimal durchmisches Mischgut mit wahlweise festgelegten Produktanteilen erzielt werden.

[0031] Der Abstand der Wellentäler oder Rinnen auf der Arbeitsoberfläche der Klinge wird vorzugsweise in Abhängigkeit der Wellenlänge der Ultraschallwellen gewählt. Vorzugsweise werden Abstände der Rinnen im Bereich von 5mm - 15mm und eine Amplitude der Wellen der Wellenform im Bereich von 0,5mm bis 4mm gewählt.

[0032] Die dem Transport des Prozessguts dienende

Oberseite der Klinge bildet vorzugsweise eine Ebene. Die Unterseite der Klinge weist im Bereich des Klingenrückens eine parallel zur Oberseite verlaufende Zone und im Bereich des ersten und/oder zweiten Klingenflügels eine gegen die zugehörige Schneide geneigte Ebene auf.

[0033] Bei erfindungsgemässen Vorrichtungen ist das Messer über das wenigstens eine Kopplungselement und je einen daran montierten Energiewandler mit einem Generator verbunden, welcher, vorzugsweise gesteuert durch eine programmierbare Steuereinheit, eine elektrische Wechselspannung im Frequenzbereich des Ultraschalls, vorzugsweise im Bereich zwischen 30 kHz und 40 kHz, abgibt.

[0034] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt:

Fig. 1a ein erstes erfindungsgemässes Messer 1A mit einer Doppelklinge 10, die einen ersten und einen zweiten sich je zu einer zugehörigen Schneide hin verjüngenden Klingenflügel 101, 102 aufweist, die einen dazwischen liegenden Klingenrücken 103 einschliessen, der eine erhöhte Materialdicke aufweist und an den zwei U-förmig ausgebildete Kopplungselemente 181, 182 angeschweisst sind;

Fig. 1b eines der mit einem Energiewandler 81 versehenen Kopplungselemente 181 von Figur 1a, welches von einem Antriebsarm 51 einer Antriebsvorrichtung 5 mittels eines Montageelements 52 gehalten ist;

Fig. 1c von unten gezeigt, ein Endstück des erfindungsgemässen Messers 1A von Figur 1a mit dem auf die Unterseite 103U des Klingenrückens 103 geschweissten Kopplungselement 181;

Fig. 2a von oben gezeigt, einen Teil eines zweiten vorzugsweise ausgestalteten Messers 1B mit einer Klinge 10, deren Schneiden 1011, 1021 je mit einer Wellenform versehen sind und dessen Oberseite 100 mit in Schnittrichtung verlaufenden Rinnen 104 versehen sind, die durch eine quer zur Schnittrichtung verlaufende Wellenform gebildet werden;

Fig. 2b den Teil des Messers 1B von Figur 2a von oben gesehen;

Fig. 2c den Teil des Messers 1B von Figur 2a von der Seite gesehen;

Fig. 3a ein Endstück eines dritten erfindungsgemässen Messers 1C, welches einen Klingenrücken 103 mit nur einen Klingenflügel 101 aufweist, dessen Schneide 1011 verzahnt ist;

- Fig. 3b einen Schnitt durch die Klinge 10 des Messers 1c von Figur 3a und 3c;
- Fig. 3c das dritte erfindungsgemässe im Messer 1C mit zwei Kopplungselementen 181, 182, die auf einander gegenüberliegenden Seiten 103U, 103O des Klingenrückens 103 ange-
- Fig. 4a von oben gezeigt, ein viertes erfindungsgemässes Messer 1D in dreieckförmiger Ausgestaltung mit einem Klingenrücken 103, durch den hindurch ein Endstück 1821 eines Kopplungselements 181 hindurch geführt ist, und mit sich nach aussen bis zu einer Spitze verjüngenden Klingenflügeln 101, 102;
- Fig. 4b das vierte Messer 1D von Figur 4a von unten gesehen mit dem Kopplungselement 181, dessen erstes Endstück mit der Unterseite 103U des Klingenrückens 103 verschweisst ist;
- Fig. 4c die Verwendung des vierten Messers 1D zur Abgabe eines pulverförmigen Prozessguts an ein Produkt 70;
- Fig. 5a ein fünftes erfindungsgemässes Messer 1E in der Ausgestaltung eines nach unten vollständig geöffneten Topfes mit einem reduzierten Klingenrücken 103 und einem in sich geschlossenen Klingenflügel 101, der eine Zylinderwand bildet;
- Fig. 5b einen Schnitt durch das fünfte Messer 1E von Figur 5a;
- Fig. 6 eine mit dem ersten Messer 1A von Figur 1a ausgerüstete erste erfindungsgemässe Vorrichtung 100A mittels der zwei beidseits des Messers 1A transportierte Produktgruppen 7A und 7B bearbeitet werden können;
- Fig. 7 eine zweite erfindungsgemässe Vorrichtung 100B, mit einem ersten Messer 1A gemäss Figur 1a, zwei zweiten Messern 1B gemäss Figur 2a und einem dritten Messer 1C gemäss Figur 3c, anhand derer pulverförmige Materialien 611, 612, 613 gleichmässig verteilt, gleichmässig gemischt und in Produkte 7 eingearbeitet werden, in die mittels des dritten Messers 1C Schnitte eingefügt werden; und
- Fig. 8 die Kombination der Messer 1A 1B und 1C von Figur 7 in räumlicher Darstellung.

[0035] Figur 1a zeigt die Oberseite eines ersten erfindungsgemässen Messers 1A, welches eine Doppelklin-

ge 10 umfasst, die einen ersten und einen zweiten sich je zu einer zugehörigen Schneide 1011, 1021 verjüngenden Klingenflügel 101, 102 aufweist. Wie dies in den Figuren 1a und 1c gezeigt ist, schliessen die Klingenflügel 101, 102 einen dazwischen liegenden Klingenrücken 103 ein, der eine erhöhte Materialdicke aufweist und als schmaler Quader in die Klinge 10 integriert ist. Die Oberseiten 1010, 101U der Klingenflügel 101, 102 bilden mit der Oberseite 1030 des Klingenrückens 103 in dieser bevorzugten Ausgestaltung eine ebene Fläche, während die Unterseiten 101U, 102U der Klingenflügel 101, 102 bezüglich der Unterseite 103U des Klingenrückens 103 zu den Schneiden 1011, 1021 hin geneigt sind.

[0036] An beiden Enden der Unterseite 103U des Klingenrückens 103 ist je ein U-förmig ausgebildetes Kopplungselement 181, 182 mit einem ersten Endstück 1811 angeschweisst, das senkrecht zur Unterseite 103U, des Klingenrückens 103 und somit senkrecht zur Schnitttrichtung des Messers 1A ausgerichtet ist. Die auf der Unterseite 10U der Klinge 10 angeschweissten Kopplungselemente 181, 182 verlaufen mit einem bogenförmigen Zwischenstück 1813 entlang der Achse des Klingenrückens 103 in entgegengesetzte Richtungen nach aussen. Das bogenförmige Zwischenstück 183 verläuft in einem Bogen von 180°, so dass das kürzere erste und das längere zweite Endstück 1811, 1812 des Kopplungselements 181 parallel zueinander ausgerichtet sind.

[0037] Figur 1b zeigt, dass an den frei liegenden zweiten Endstücken 1812, 1822 der Kopplungselemente 181, 182 Verbindungselemente 18121, wie Gewindebohrungen, vorgesehen sind, die mit einem Verbindungselement 811, wie einer Schraube, eines Energiewandlers 81 verbindbar sind, über den Ultraschallenergie zugeführt wird.

[0038] Das Messer 10 ist aus Metall geschmiedet und vorzugsweise mit einer Metallschicht beschichtet. Die Kopplungselemente 181, 182, welche die Form eines Bügels aufweisen, sind zum Beispiel aus einem Stab geformt, der ein Vierkantprofil aufweist. Durch das Verschweissen der Kopplungselemente 181, 182 mit dem Klingenrücken 103 resultiert eine optimale Einkopplung der Ultraschallenergie. Weiterhin resultiert eine stabile Verbindung, welche es erlaubt, die der Einkopplung von Ultraschallenergie dienenden Kopplungselemente 181, 182 auch für die mechanische Ankopplung an eine Antriebsvorrichtung 5 zu verwenden. Wie dies in den Figuren 1b und 6 gezeigt ist, wird dazu bin vorzugsweise das zweite Endstück 1812 des Kopplungselements 181 anhand eines Montageteils 52 mit einem vertikal verfahrbaren Antriebsarm 51 einer Antriebsvorrichtung 5 verbunden.

[0039] Figur 2a zeigt einen Teil eines Messers 1B in einer weiteren vorzugsweisen Ausgestaltung mit zwei Klingenflügeln 101, 102, deren Schneiden 1011, 1021 eine Wellenform aufweisen. Durch die Wellenform resultieren frei liegende Wellensegmente, die leichter schwingen können, als eine entlang einer Linie verlaufende Schneide. Bei der Einkopplung von Ultraschallenergie

können die Wellensegmente der Schneiden 1011, 1021 daher leichter und mit grösseren Amplituden schwingen, weshalb die Klinge 10 leichter in ein Prozessgut eindringen kann.

[0040] Es hat sich herausgestellt, dass der Messer 1B nicht nur für das Schneiden, sondern auch hervorragend für die Zerstäubung eines pulverförmigen Prozessguts geeignet ist. Pulverförmiges Prozessgut, welches über die geneigte Klinge 10 transportiert wird, wird an den Schneiden 1011, 1021 zerstäubt bzw. in kleinste Partikel aufgeteilt und von den seitlich schwingenden Wellensegmenten weggeschleudert.

[0041] Damit eine gleichmässige Aufteilung des pulverförmigen Prozessguts erzielt wird, wird sichergestellt, dass sich die Ultraschallenergie über die Klinge 10 gleichmässig verteilt. Dazu wird vorzugsweise ein Wellenmuster auf der Oberseite 100 der Klinge 10 vorgesehen, welches Rippen und Rinnen 104 bildet, die vorzugsweise zur Wellenform der Schneiden 1011, 1021 korrespondieren. Das pulverförmige Prozessgut kann sich über das Wellenmuster gleichmässig verteilen und entlang den vorzugsweise von der ersten zur zweiten Schneide 1011, 1021 verlaufenden Rinnen 104 zur ersten oder zweiten Schneide 1011; 1021 hin wandern.

[0042] Figur 2b zeigt die Verbindungsstelle 18111 über die das erste Endstück 1811 des ersten Kopplungselements 181 flächig mit der Unterseite 103U des Klingenrückens 103 verbunden ist. Durch die Ausgestaltung der Kopplungselemente 181, 182 und die vorteilhafte Ankopplung an die Klinge 10 resultieren die überraschenden Eigenschaften des Messers 1, das zum Aufteilen, d.h. Schneiden und Zerstäuben, von praktisch beliebigem Prozessgut geeignet ist.

[0043] Figur 2c zeigt die Oberseite 100 der Klinge 10, die mit einem Wellenmuster versehen ist, deren Wellentäler bzw. Rinnen 104 senkrecht zu den Schneiden 1011, 1012 ausgerichtet sind.

[0044] Figur 3a zeigt ein weiteres erfindungsgemässes Messer 1C mit einer Klinge 10, die einen Klingenrücken 103 und nur einen daran angeformten Klingenflügel 101 aufweist.

[0045] Die Schneide 1011 des Klingenflügels 101 ist mit einer Verzahnung versehen, die in der Schnittdarstellung von Figur 3b vergrössert gezeigt ist. Figur 3c zeigt das gesamte Messer 1C, welches zwei Kopplungselemente 181, 182 aufweist, die auf unterschiedlichen Seiten 103U bzw. 1030 des Klingenrückens 103 angebracht sind.

[0046] Mit dem Messer 1C gelingt es, einen soliden Block eines Prozessguts aufzulösen und in Pulverform zu überführen. Dazu wird das mit Ultraschallenergie beaufschlagte Messer 1C gegen den soliden Block des Prozessguts geführt und das Pulver schichtweise abgetragen.

[0047] Weiterhin gelingt es mit dem Messer 1C, verschiedene pulverförmige Substanzen in einem Behälter optimal zu mischen. Dazu wird das Messer 1C in die Mitte des Behälters eingeführt und mit Ultraschallenergie

beaufschlagt, wonach wenigstens zwei Sorten eines pulverförmigen Prozessguts unabhängig vom spezifischen Gewicht jeder Sorte gleichmässig gemischt werden können.

[0048] Figur 4a zeigt ein viertes erfindungsgemässes Messer 1D in dreieckförmiger Ausgestaltung. Das Messer 1D weist einen Klingenrücken 103 auf, durch den hindurch ein Endstück eines Kopplungselements 181 hindurch geführt ist und der mit sich nach aussen bis zu einer Spitze verjüngenden Klingenflügeln 101, 102 versehen ist. Auf den Klingenflügeln 101, 102 sind Wellenformen vorgesehen, die parallel zum Klingenrücken 103 verlaufende Rinnen 104 bilden.

[0049] Figur 4b zeigt die Unterseite des vierten Messers 1D.

[0050] Figur 4c zeigt die Verwendung des vierten Messers 1D zur Abgabe eines pulverförmigen, gegebenenfalls kristallinen Prozessguts, wie Zucker oder Salz, an ein Produkt 70. Das Messer 1D wird mit der Unterkante über das Produkt 70 geführt, während das pulverförmige Prozessgut über die Rinnen 104 gleichmässig verteilt an dieses abgegeben wird. Durch die gleichmässige Verteilung des pulverförmigen Prozessguts kann mit minimalen Mengen eine optimale Wirkung erzielt werden. Un erwünschter lokale Konzentrationen von pulverförmigem Prozessgut, die zu geschmacklichen Irritationen führen könnten, werden vermieden. Zugleich wird die gesamte Oberfläche gleichmässig abgedeckt, so dass die gewünschte Wirkung homogen über die gesamte Oberfläche erzielt wird. Das erfindungsgemässe Messer 1D erlaubt daher eine effiziente und sparsame Nutzung des zur Verfügung stehenden Prozessguts.

[0051] Figur 5a zeigt ein fünftes erfindungsgemässes Messer 1E in der Ausgestaltung eines nach unten vollständig geöffneten Topfes mit einem reduzierten Klingenrücken 103 und einem in sich geschlossenen Klingenflügel 101, der eine Zylinderwand bildet. Mit diesem Messer 1E gelingt es, ein grösseres festes Prozessgut aufzuteilen und gegebenenfalls mit einem weiteren Prozessgut gleichmässig zu vermischen.

[0052] Figur 5b zeigt einen Schnitt durch das fünfte Messer 1E von Figur 5a.

[0053] Figur 6 zeigt eine mit dem ersten Messer 1A von Figur 1a ausgerüstete erste erfindungsgemässe Vorrichtung 100A, mittels der zwei beidseits des Messers 1A transportierte Produktgruppen 7A und 7B alternierend bearbeitet werden können. Wie dies in Figur 1b gezeigt ist, wird das Messer 1A auf beiden Seiten mittels eines Arms 51 einer Antriebsvorrichtung 5 gehalten, mittels derer das in der Längsachse horizontal und der Querachse mit den Klingenflügeln 101, 102 vertikal ausgerichtete Messer 1A nach unten und nach oben gefahren werden kann. Beim Herunterfahren des Messers 1A wird in einem Prozessschritt A die erste Produktgruppe 7A und beim Hochfahren des Messers 1A wird in einer zweiten Prozessschritt B die zweite Produktgruppe 7B bearbeitet. Mit dieser Vorrichtung 100A lässt sich die Produktivität des Prozesses verdoppeln. Besonders vorteilhaft

ist dabei, dass für die Bewegung des Messers 1A keine wesentlichen Kräfte aufgewendet werden müssen, weshalb auch bei der gleichzeitigen Bearbeitung einer Vielzahl von Produkten die Arbeitsgänge mit hoher Präzision durchgeführt werden können.

[0054] Figur 7 zeigt eine zweite erfindungsgemässe Vorrichtung 100B, mit einem ersten Messer 1A gemäss Figur 1a und zwei zweiten Messern 1B gemäss Figur 2a, anhand derer je ein pulverförmiges Prozessgut 611, 612, 613 gleichmässig verteilt und gleichmässig gemischt werden kann. Das resultierende Mischgut wird in Produkte 7 eingearbeitet, in die mittels eines dritten Messers 1C gemäss Figur 3c Schnitte eingefügt werden.

[0055] Das pulverförmige Prozessgut 611, 621, 631 wird von Spendevorrichtungen 61, 62 und 63 an die genannten Messer 1A und 1B abgegeben und von diesen zerstäubt einer gemeinsamen Mischzone zugeführt, in der ein optimal durchmischter Pulvernebel resultiert, der entweder in Behältern gefasst oder, wie in Figur 7 gezeigt, einem Produkt 7 zugeführt wird.

[0056] In Figur 7 ist ferner gezeigt, dass weiche Produkte 7, 7' mit tiefen Schnitten versehen werden können, ohne dass eine Deformation des Produkts resultiert, wie dies bei konventionellen Vorrichtungen üblich.

[0057] Figur 8 zeigt die Kombination der Messer 1A, 1B und 1C von Figur 7 in räumlicher Darstellung. Es ist ersichtlich, dass die Vorrichtung 100B, welche es erlaubt, verschiedene Prozessgüter optimal zu vermischen und zu verarbeiten, nur wenig Raum in Anspruch nimmt. Die einzelnen Messer 1A, 1B und 1C können durch Haltevorrichtungen und Antriebsvorrichtungen an den Kopplungselementen 181, 182 gehalten und gegebenenfalls verschoben werden.

[0058] Zur Steuerung der in den Figuren 6 und 7 gezeigten Vorrichtungen und Prozesse ist ein Steuerrechner 9 vorgesehen, welcher die Antriebsvorrichtung 5 und vorzugsweise auch einen Generator 8 steuert, von dem elektrische Signale an Energiewandler 81 abgegeben werden, die mit den Kopplungselementen 181, 182 der Messer 1A, 1B, ... verbunden sind. Die einzelnen Messer 1A, 1B, ... werden vorzugsweise individuell in Abhängigkeit der Messeigenschaften und der Eigenschaften des bearbeiteten Prozessguts 611; 621; 631 bzw. 7A, 7B angesteuert. Die Frequenz der abgegebenen Signale ist vorzugsweise derart gewählt, dass die maximale Energie übertragen wird. Vorzugsweise werden frequenzmodulierte Signale verwendet, wie dies oben beschrieben ist.

Patentansprüche

1. Messer zum Aufteilen, insbesondere Schneiden oder Zerstäuben, eines Prozessguts unter Anwendung von Ultraschallenergie, mit einer Klinge (10) umfassend wenigstens einen Klingenflügel (101), welcher sich frontseitig zu einer Schneide (1011) hin verjüngt und rückseitig mit einem Klingenrücken (103) verbunden ist, der einander gegenüberliegen-

de grössere Seitenflächen (103U, 1030) und an frei liegenden Enden kleinere Stirnflächen (103F) aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens auf einer der Seitenflächen (103U, 1030) des Klingenrückens (103) ein erstes Endstück (1811) wenigstens eines in einem Bogen verlaufenden, vorzugsweise U-förmigen Kopplungselements (181; 182) angeschweisst ist, dessen zweites Endstück (1812) ein Verbindungselement (18121), vorzugsweise eine Gewindebohrung, aufweist, welches mit einem der Zufuhr von Ultraschallenergie dienenden Energiewandler verbindbar ist.

2. Messer nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das auf der einen Seite (10U; 100) der Klinge (10) angeschweisste wenigstens eine Kopplungselement (181; 182) durch einen Stab mit einem Rundprofil oder einem Mehrkantprofil gebildet ist, der vorzugsweise mit dem zweiten Endstück (1812) gegebenenfalls durch eine Öffnung (1031) im Klingenrücken (103) hindurch zur anderen Seite (100; 10U) der Klinge (10) geführt ist, wobei das erste Endstück (1811) senkrecht zu den Seitenflächen (103U, 1030) des Klingenrückens (103) verläuft.

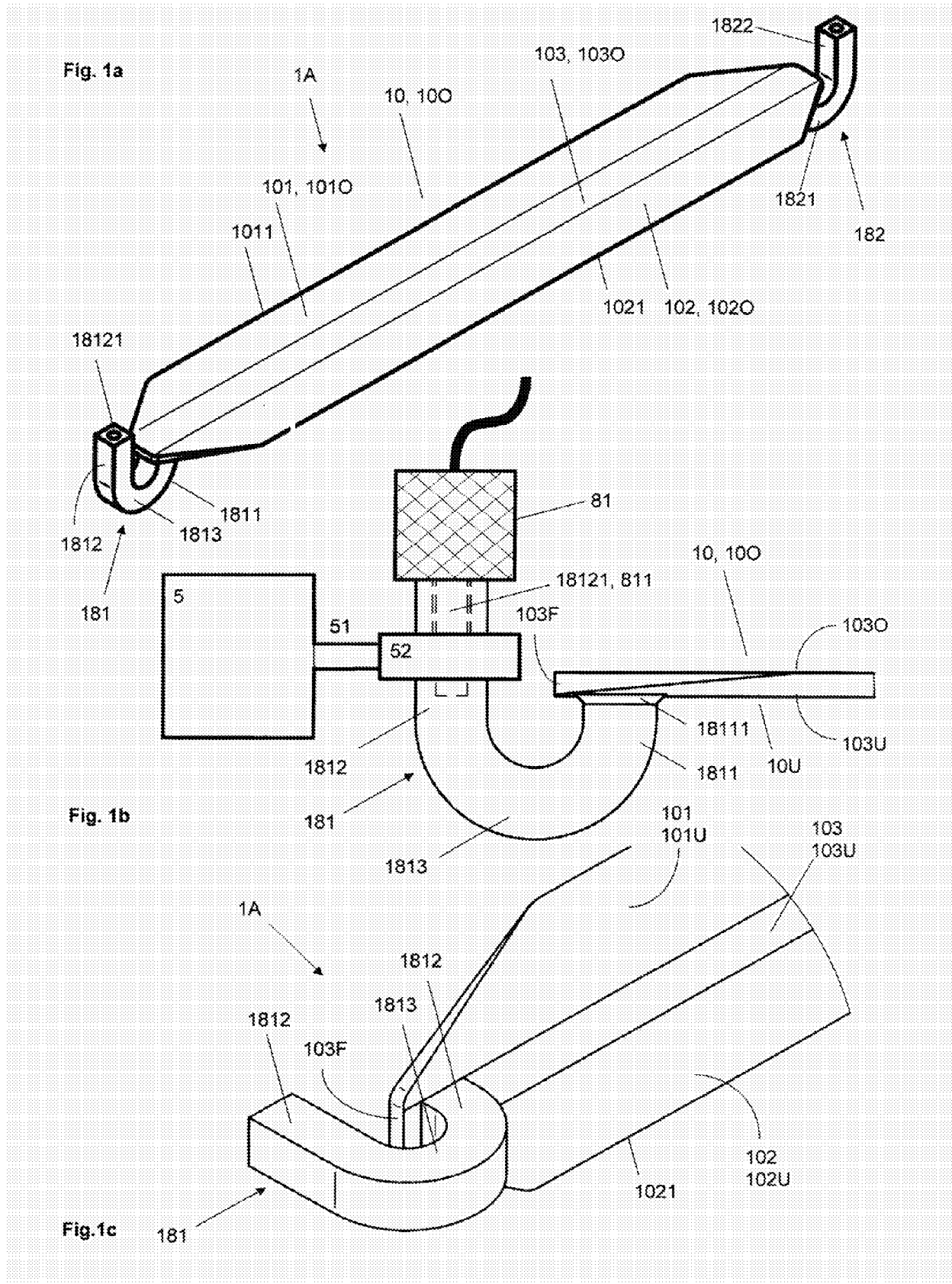
3. Messer nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das die Klinge (10) eine Doppelklinge mit zwei voneinander abgewandten Klingenflügeln (101, 102) ist.

4. Messer nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** an jedem Ende des Klingenrückens (103), auf der einen oder anderen Seitenfläche (103U, 1030), je ein Kopplungselement (181; 182) vorgesehen ist und/oder dass entlang dem Klingenrücken (103), auf der einen oder anderen Seitenfläche (103U, 1030) in einem Abstand von 30 cm - 90cm je ein Kopplungselement (181; 182; ...) vorgesehen ist.

5. Messer nach einem der Ansprüche 1 - 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schneide (1011, 1021) des wenigstens einen Klingenflügels (101, 102) eine Wellenform oder eine Verzahnung aufweist und/oder dass die dem Transport von Material dienende Oberseite (100) der Klinge (10) oder zumindest eine der Oberseiten (1011, 1021) der Klingenflügel (101; 102) mit einer Wellenform versehen ist, die senkrecht oder quer zur Schneide (1011) verlaufende Wellentäler oder Rinnen (104) bildet.

6. Messer nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der vorzugsweise in Abhängigkeit der Wellenlänge der Ultraschallwellen gewählte Abstand der Wellentäler oder Rinnen (104) im Bereich von 5mm - 15mm liegt und/oder dass die Amplitude der Wellen im Bereich von 0,5mm bis 4mm liegt.

7. Messer nach einem der Ansprüche 1 - 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Klinge (10) eine ebene Oberseite (10U) und eine Unterseite (10U) mit der parallel zur Oberseite (1030) geführten Unterseite (103U) des Klingenrückens (103) und der dazu geneigten Unterseite (101U, 102U) der ersten und gegebenenfalls zweiten Klingenflügels (101, 102) aufweist. 5
8. Messer nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der die Oberseite (1030) und die Unterseite (103U) des Klingenrückens (103) parallel zueinander verlaufen und/oder einen gegenseitigen Abstand im Bereich von 3mm - 12mm aufweisen, welche vorzugsweise entsprechend der Länge der Klinge (10) gewählt ist, welche vorzugsweise im Bereich von 0,5m - 8m gewählt ist. 10 15
9. Vorrichtung mit einem Messer nach einem der Ansprüche 1 - 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Messer (1A; 1B; 1C; 1D; 1E) über das wenigstens eine Kopplungselement (181; 182) und je einen daran montierten Energiewandler (81; 82) mit einem Generator (8) verbunden ist, welcher eine elektrische Wechselspannung im Frequenzbereich des Ultraschalls, vorzugsweise im Bereich zwischen 30 kHz und 40 kHz abgibt. 20 25
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Generator (8) zur Einstellung und Abgabe eines Signals geeignet ist, 30
- a) dessen Arbeitsfrequenz derart wählbar ist, dass die maximale Leistung an das Messer (1A; 1B; 1C; 1D; 1E) übertragen wird, und/oder 35
- b) das frequenzmoduliert ist mit einem Frequenzhub in einem Bereich von 1% - 10% der Arbeitsfrequenz und einer Modulationsfrequenz, die vorzugsweise im Bereich von 50Hz - 1000Hz gewählt ist. 40
11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Antriebsvorrichtung (5) mit verfahrenbaren oder drehbaren Antriebsarmen (51) vorgesehen ist, welche das mit zwei Schneiden (1011, 1021) versehene Messer (1A; 1B) vorzugsweise an den Kopplungselementen halten (181, 182), so dass es in beide Schneiderichtungen auslenkbar ist, um in einem ersten Prozessschritt (A) ein erstes Prozessgut (7A) und in einer zweiten Prozessschritt (B) ein zweites Prozessgut (B) zu bearbeiten. 45 50
12. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine oder mehrere Spendevorrichtungen (61; 62; 63) vorgesehen sind, von denen je ein pulverförmiges Prozessgut (611; 621; 631) der nach oben gerichteten Klingenseite (100) eines Messers (1A; 1B; 1C; 1D) zugeführt wird, die vorzugsweise mit Rinnen (104) und einer wellenförmigen oder verzahnten Schneide (1011) versehen ist und die in Abgaberrichtung geneigt ist, so dass das pulverförmige Prozessgut (611; 621; 631) gleichmäßig verteilt an einen Aufnehmer, gegebenenfalls an ein gefertigtes Produkt (7) abgebar ist. 55
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** mehrere Spendevorrichtungen (61; 62; 63) vorgesehen sind, von denen je ein pulverförmiges Prozessgut (611; 621; 631) der nach oben gerichteten Klingenseite (100) eines Messers (1A; 1B; 1C; 1D) zuführbar und von diesen an einen gemeinsamen Mischbereich abgebar ist.
14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein weiteres Messer (1C) vorgesehen ist, mittels dessen Einschnitte in ein festes Produkt (7) einbringbar sind, in die das pulverförmige Prozessgut (611; 621; 631) einfallen kann.
15. Vorrichtung nach Anspruch 12, 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Förderband (4) vorgesehen ist, mittels dessen zu bearbeitende Produkte (7) oder Behälter zu zur Abgabeposition des pulverförmigen Prozessguts, gegebenenfalls Mischguts (611; 621; 631) transportierbar sind.



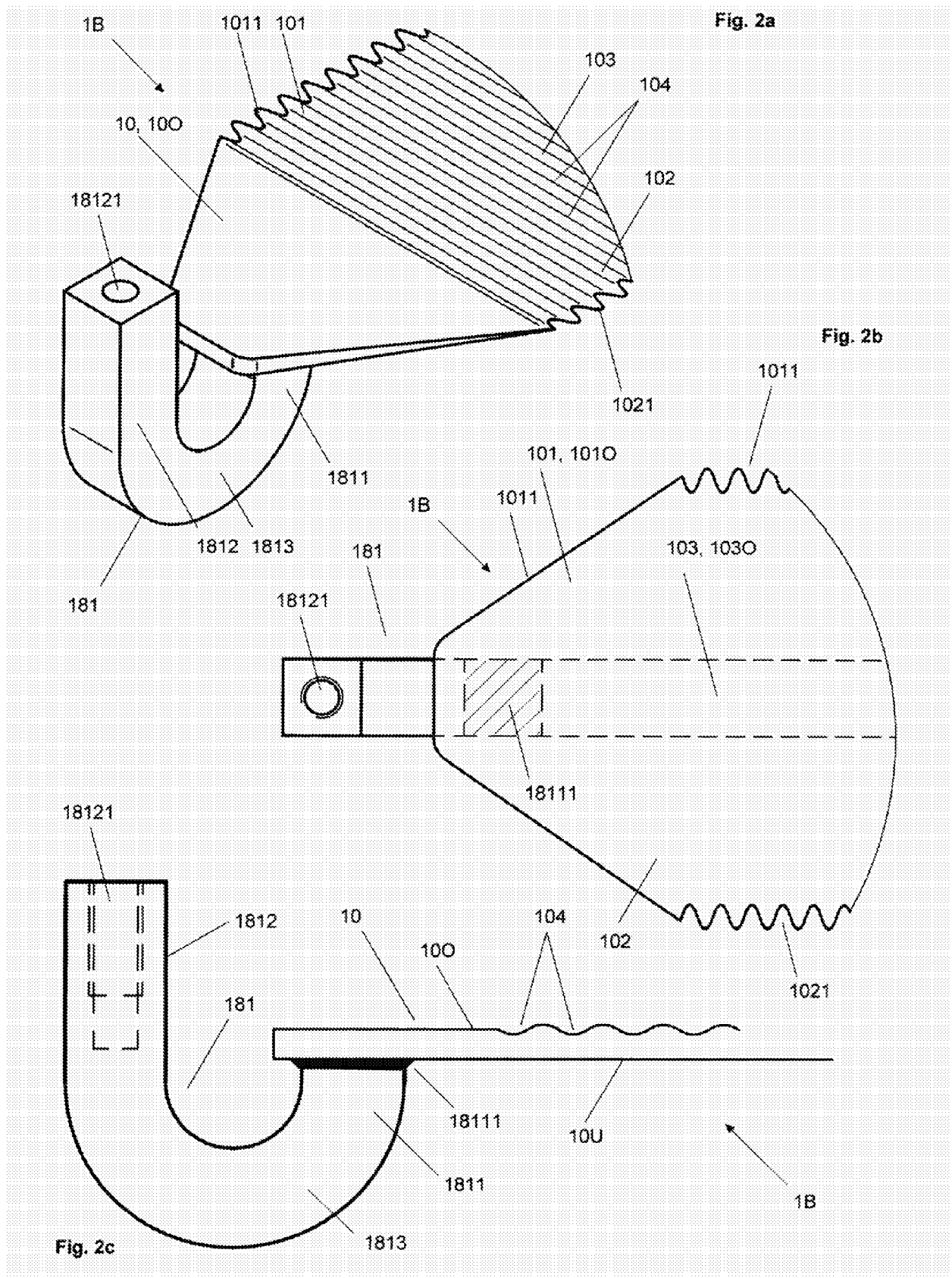


Fig. 3a

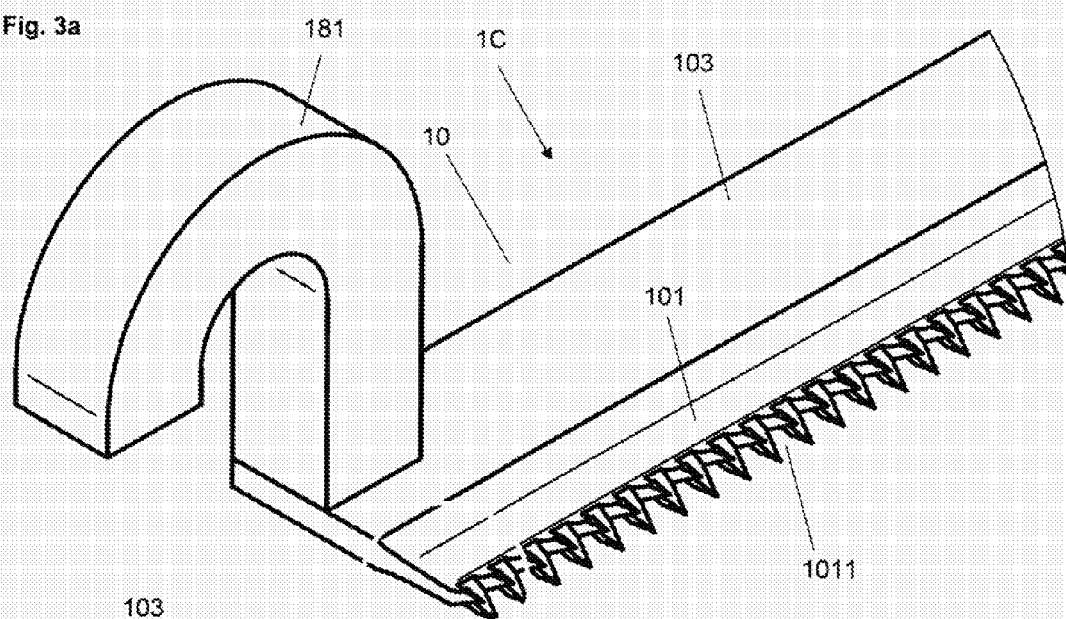


Fig. 3b

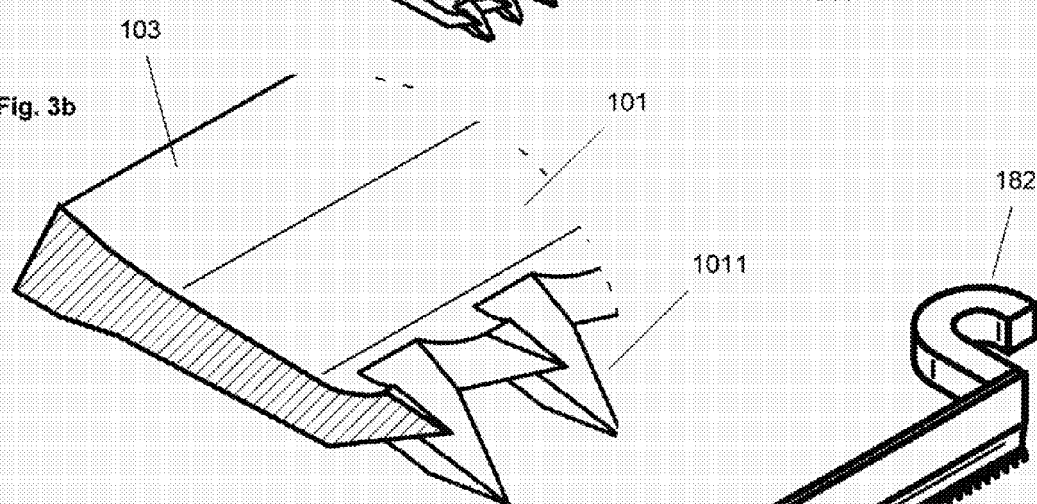
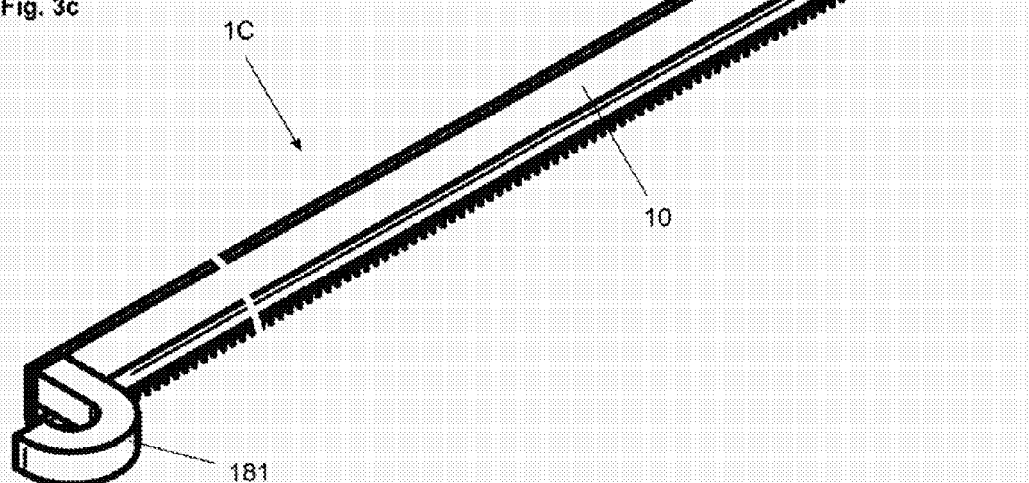


Fig. 3c



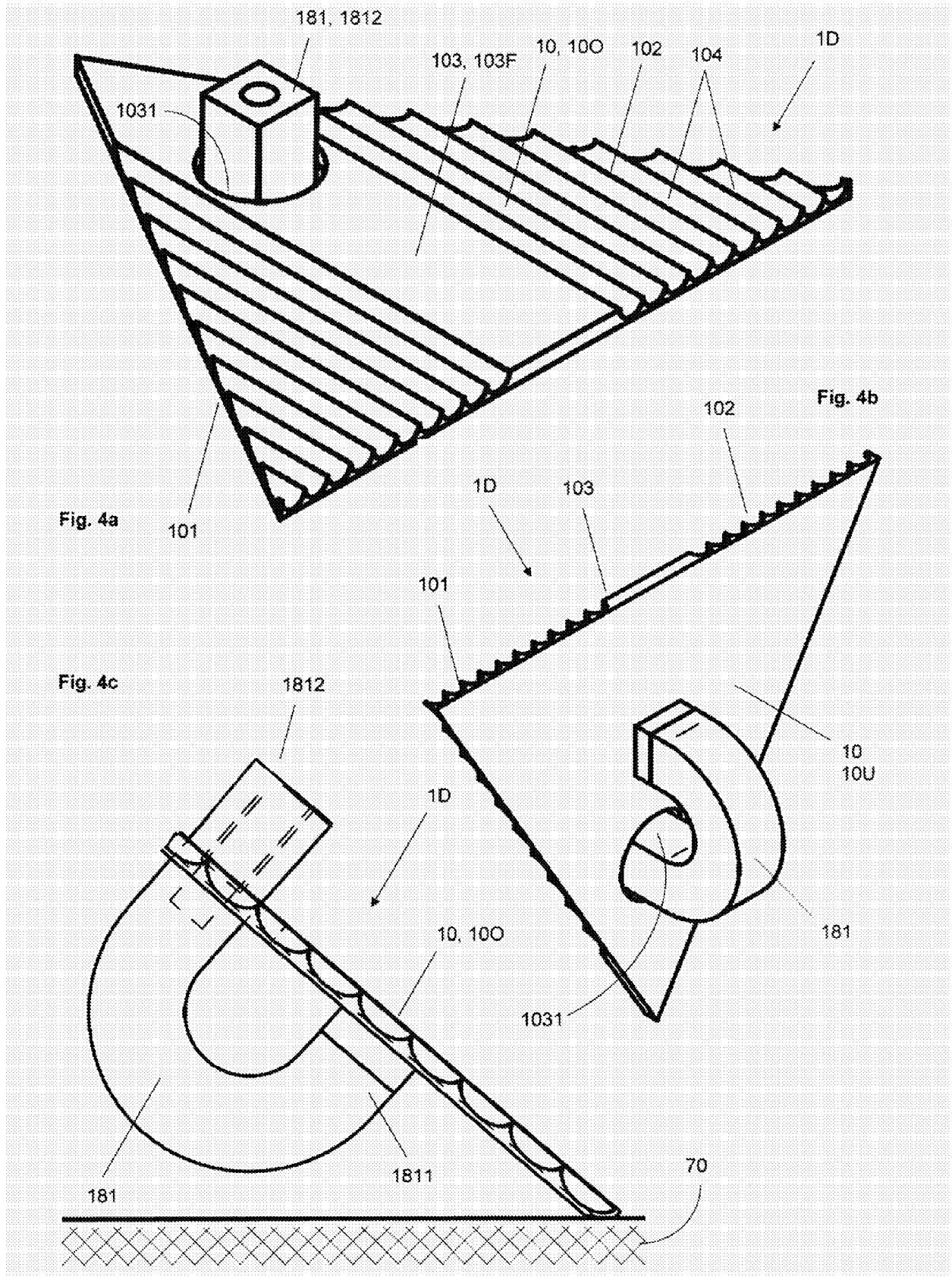


Fig. 5a

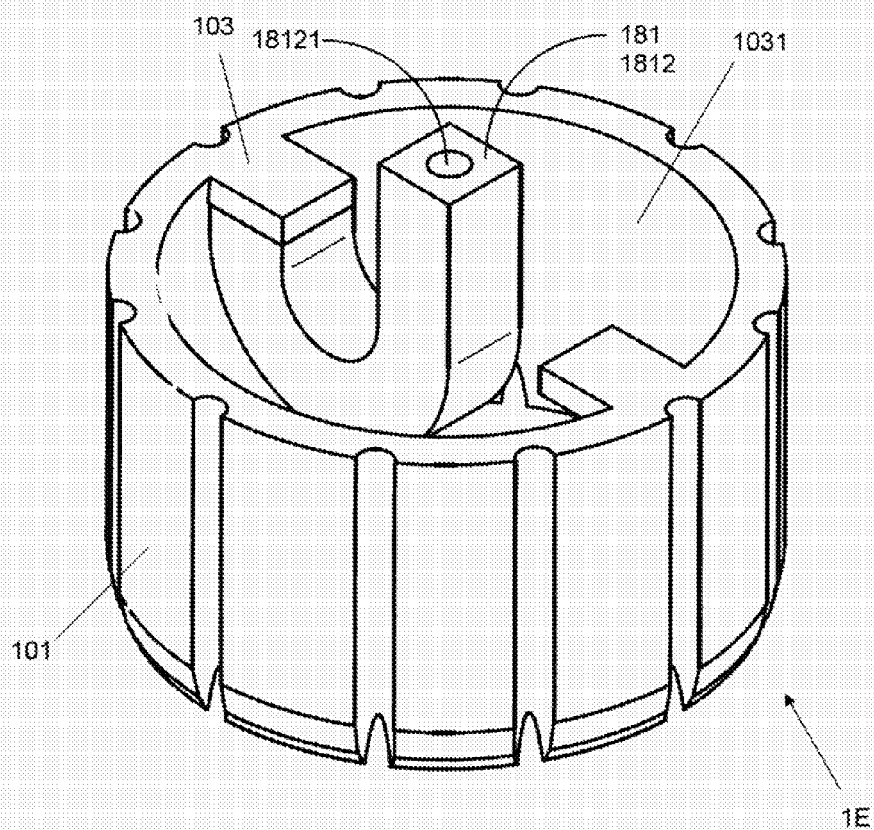
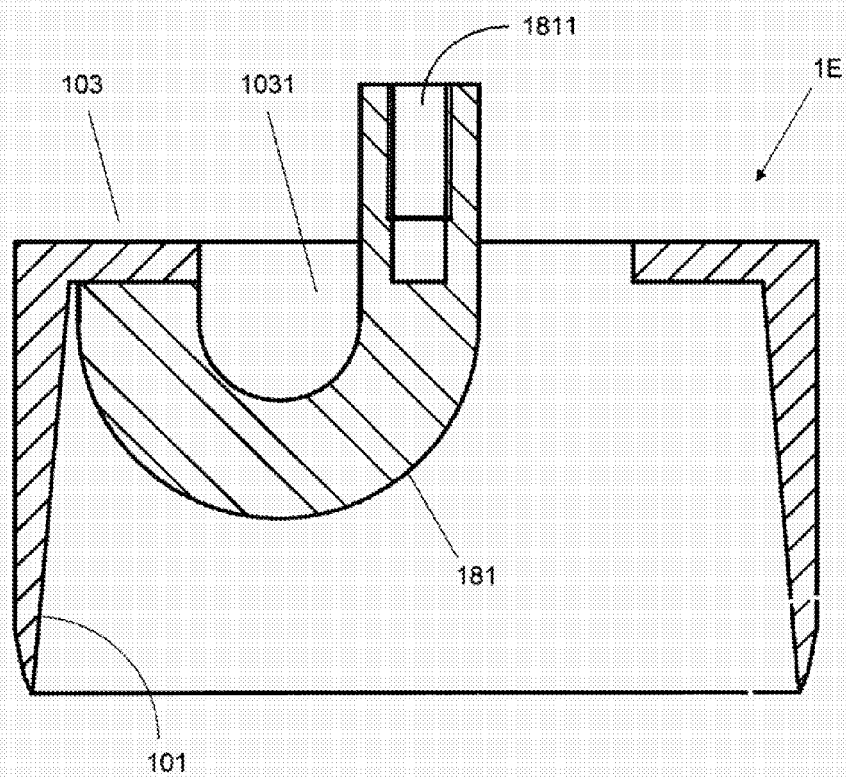
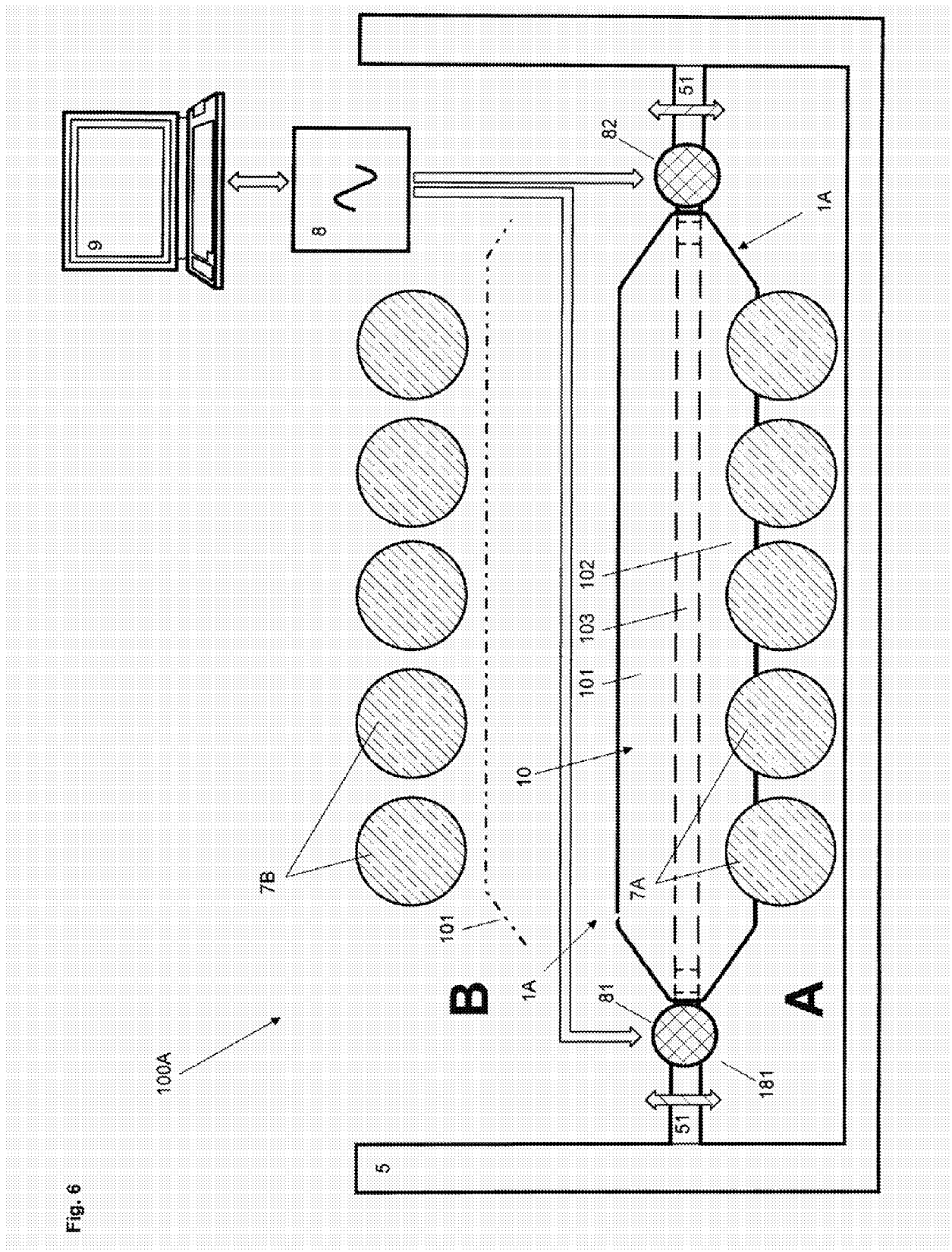
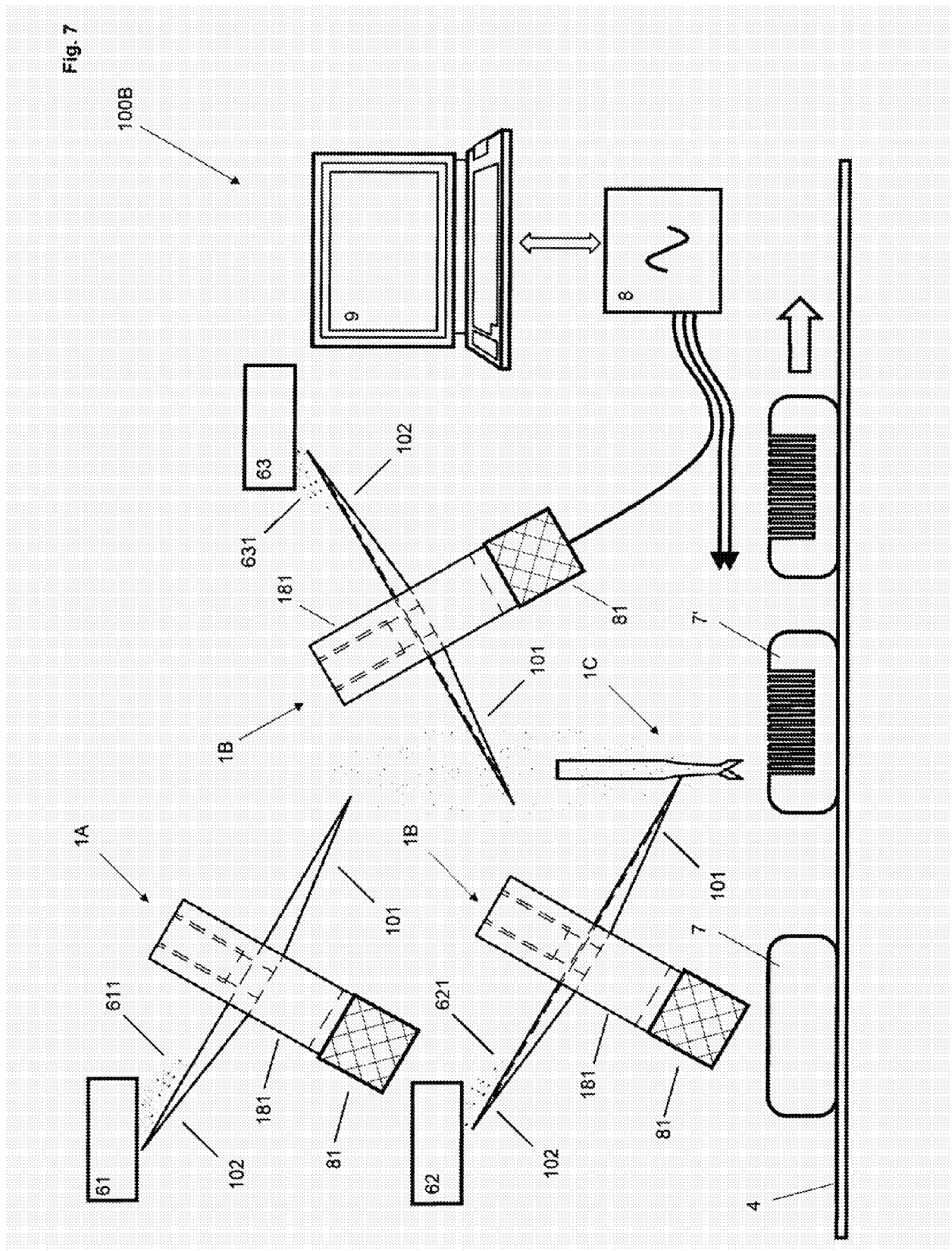
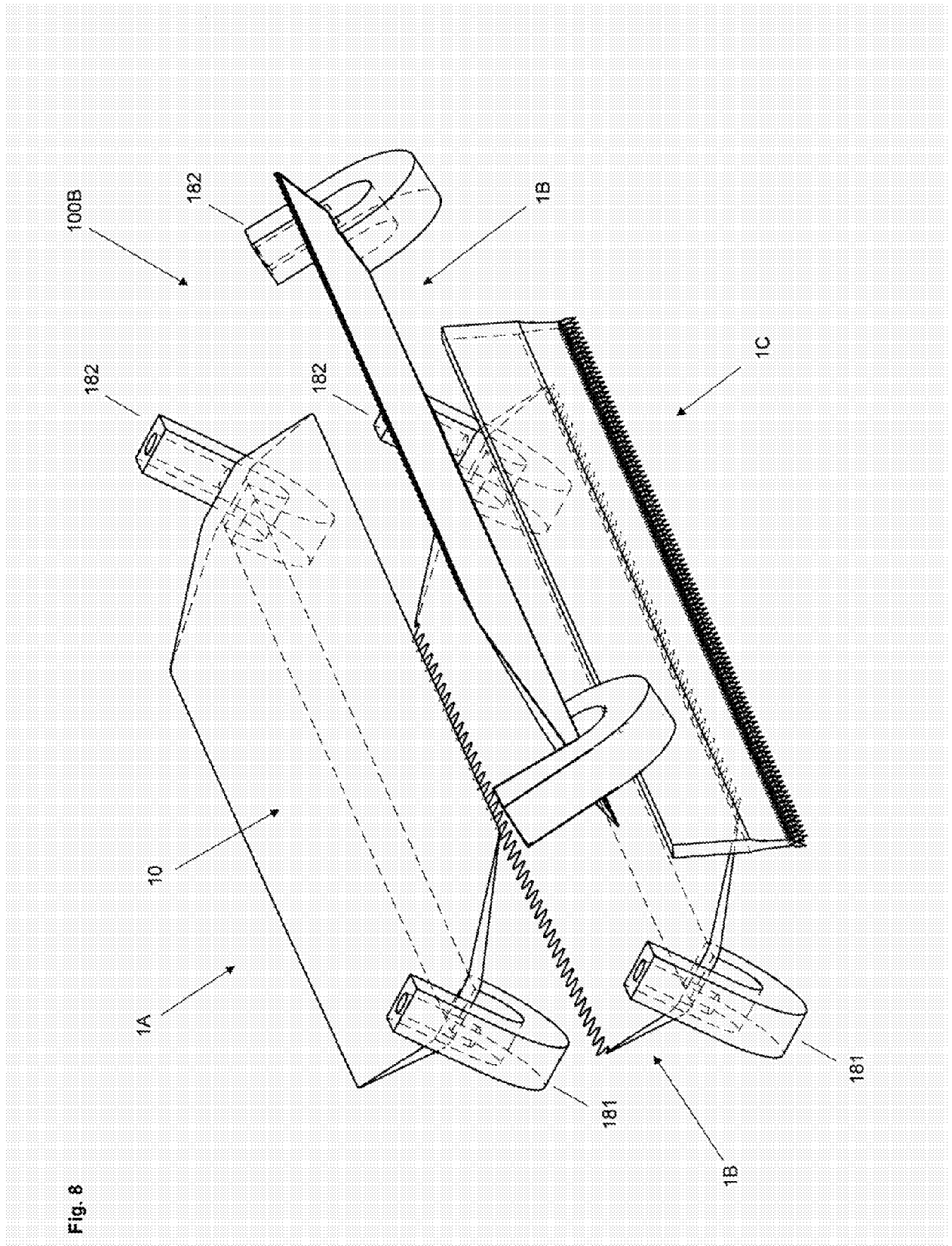


Fig. 5b











EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 11 17 5306

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	DE 103 14 444 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 14. Oktober 2004 (2004-10-14) * Absatz [0017] - Absatz [0028]; Abbildungen 1-3 *	1-14	INV. B26D7/08 B26D1/00 B01F11/02
A	FR 2 947 202 A1 (SODEVA TDS [FR]) 31. Dezember 2010 (2010-12-31) * Zeile 5 - Seite 6, Zeile 21; Abbildungen 1-3b *	1-14	
A	US 2010/020631 A1 (GANSMULLER ERICH WILLIAM [US] ET AL) 28. Januar 2010 (2010-01-28) * Absatz [0058] - Absatz [0071]; Abbildung 8 *	1	
A	US 2009/003123 A1 (MORRISON JR LOWEN ROBERT [US] ET AL) 1. Januar 2009 (2009-01-01) * Absatz [0045] - Absatz [0047]; Abbildungen 1-4 *	1	
A	US 2005/265120 A1 (NAOE KOJI [JP]) 1. Dezember 2005 (2005-12-01) * Absatz [0031] - Absatz [0046]; Abbildung 1 *	1	
A	JP 60 144224 A (HITACHI MAXELL) 30. Juli 1985 (1985-07-30) * Zusammenfassung; Abbildungen 1-5 *	1-14	B26D B01F B06B B25G
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 15. Dezember 2011	Prüfer Maier, Michael
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

 4
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 11 17 5306

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am

Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

15-12-2011

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 10314444 A1	14-10-2004	DE 10314444 A1	14-10-2004
		ES 2258378 A1	16-08-2006
		FR 2855448 A1	03-12-2004
FR 2947202 A1	31-12-2010	KEINE	
US 2010020631 A1	28-01-2010	CA 2730510 A1	28-01-2010
		CN 102105215 A	22-06-2011
		EP 2313186 A1	27-04-2011
		EP 2318128 A1	11-05-2011
		US 2010020631 A1	28-01-2010
		US 2010020632 A1	28-01-2010
		WO 2010010537 A1	28-01-2010
		WO 2010011741 A1	28-01-2010
US 2009003123 A1	01-01-2009	CA 2691875 A1	31-12-2008
		CN 101687153 A	31-03-2010
		EP 2158028 A2	03-03-2010
		EP 2389999 A2	30-11-2011
		KR 20100008373 A	25-01-2010
		US 2009003123 A1	01-01-2009
		WO 2009001323 A2	31-12-2008
US 2005265120 A1	01-12-2005	JP 2005334808 A	08-12-2005
		US 2005265120 A1	01-12-2005
JP 60144224 A	30-07-1985	KEINE	

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 1561733 A [0005]
- WO 2008148139 A1 [0006]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **BRIAN M. LEMPRIERE.** Ultrasound and Acoustic Waves. Academic Press, 2002 [0024]