

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
2. April 2009 (02.04.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/040100 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
F17C 3/08 (2006.01) *F17C 13/00* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/008068

(22) Internationales Anmeldedatum:
24. September 2008 (24.09.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
07018697.8 24. September 2007 (24.09.2007) EP

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **BMDSYS GMBH** [DE/DE]; Wildenbruchstrasse 15,
07745 Jena (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **NOWAK, Hannes**

[DE/DE]; Pfarrgartenstrasse 14, 07751 Jena (DE). **ERNE,
Sergio, Nicola** [DE/DE]; Jasminweg 5, 89233 Neu-Ulm
(DE).

(74) Anwalt: **HÖRSCHLER, Wolfram**; Isenbruck Bösl
Hörschler Wichmann Huhn LLP, Theodor-Heuss-Anlage
12, 68165 Mannheim (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, 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, PG,
PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM,
ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: CRYOSTAT HAVING A STABILIZED EXTERIOR VESSEL

(54) Bezeichnung: KRYOSTAT MIT STABILISIERTEM AUSSENGEFÄSS

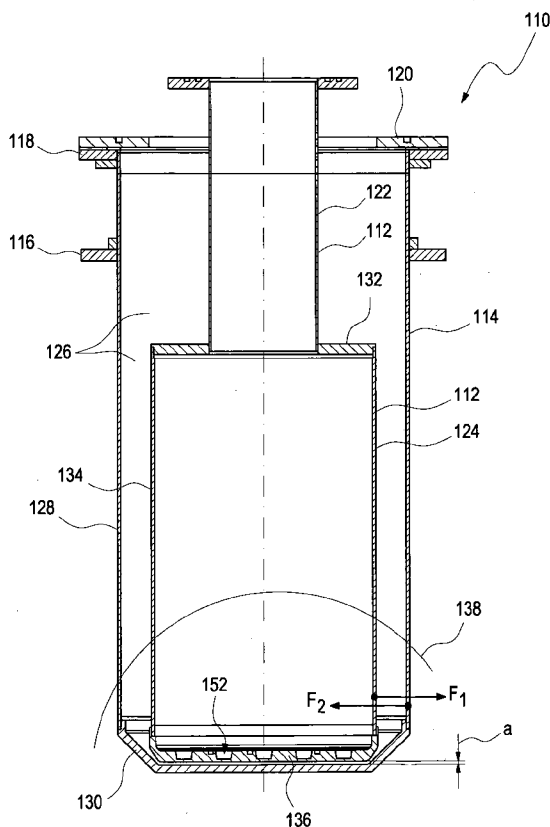


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a cryostat (110) for use in a biomagnetic measuring system. The cryostat (110) comprises at least one interior vessel (112) and at least one exterior vessel (114) and at least one hollow space (126) disposed between the interior vessel (112) and the exterior vessel (114). Negative pressure can be applied to the hollow space (126). The exterior vessel (114) has a base part (130). The base part (130) has a thickness variation region (166) having a concentrically varying base thickness, wherein the base thickness assumes a lower value toward the center of the base part (130), than in an exterior region.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Kryostat (110) für den Einsatz in einem biomagnetischen Messsystem vorgeschlagen. Der Kryostat (110) umfasst mindestens ein Innengefäß (112) und mindestens ein Außengefäß (114) sowie mindestens einen zwischen dem Innengefäß (112) und dem Außengefäß (114) angeordneten Hohlraum (126). Der Hohlraum (126) ist mit einem Unterdruck beaufschlagbar. Das Außengefäß (114) weist ein Bodenteil (130) auf. Das Bodenteil (130) weist einen Dickenvariationsbereich (166) mit einer konzentrisch variierenden Bodendicke auf, wobei die Bodendicke zur Mitte des Bodenteils (130) hin einen geringeren Wert annimmt als in einem Außenbereich.



(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,

MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

5

Kryostat mit stabilisiertem Außengefäß

Gebiet der Erfindung

10

Die Erfindung betrifft einen Kryostaten, welcher insbesondere für den Einsatz in einem biomagnetischen Messsystem geeignet ist, sowie ein biomagnetisches Messsystem, welches einen derartigen Kryostaten umfasst. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur Herstellung eines Kryostaten, welcher insbesondere für biomagnetische Messungen
15 geeignet ist. Derartige Kryostaten und Messsysteme können insbesondere im Bereich der Kardiologie oder auch in anderen medizinischen Bereichen, wie beispielsweise der Neurologie, eingesetzt werden. Auch andere Anwendungen, beispielsweise nichtmedizinische Anwendungen, beispielsweise Anwendungen in der Materialforschung, sind denkbar.

20

Stand der Technik

In den vergangenen Jahren haben magnetische Messsysteme, welche bis dahin im Wesentlichen der Grundlagenforschung vorbehalten waren, Einzug in viele Bereiche der biologischen und medizinischen Wissenschaften gehalten. Insbesondere die Neurologie und die
25 Kardiologie profitieren von derartigen biomagnetischen Messsystemen.

Grundlage der biomagnetischen Messsysteme ist die Tatsache, dass die meisten Zellaktivitäten im menschlichen oder tierischen Körper mit elektrischen Signalen, insbesondere elektrischen Strömen, verbunden sind. Die Messung dieser elektrischen Signale selbst, welche durch die Zellaktivität hervorgerufen werden, ist beispielsweise aus dem Bereich der
30 Elektrokardiographie bekannt. Neben den rein elektrischen Signalen sind die elektrischen Ströme jedoch auch mit einem entsprechenden Magnetfeld verbunden, deren Messung sich die verschiedenen bekannten biomagnetischen Messmethoden zunutze machen.

35 Während die elektrischen Signale bzw. deren Messung außerhalb des Körpers von verschiedenen Faktoren, wie beispielsweise den unterschiedlichen elektrischen Leitfähigkeiten der Gewebetypen zwischen der Quelle und der Körperoberfläche verbunden sind,

durchdringen magnetische Signale nahezu ungestört diese Gewebebereiche. Die Messung dieser Magnetfelder und deren Änderungen erlaubt somit Rückschlüsse auf die innerhalb des Gewebes fließenden Ströme, zum Beispiel elektrische Ströme innerhalb des Herzmuskels. Eine Messung dieser magnetischen Felder mit hoher Zeit- und/oder Ortsauflösung über einen gewissen Bereich hinweg erlaubt somit bildgebende Verfahren, welche beispielsweise eine aktuelle Situation verschiedener Bereiche eines menschlichen Herzens wiedergeben können. Andere bekannte Anwendungen liegen beispielsweise im Bereich der Neurologie.

- 10 Die Messung von Magnetfeldern biologischer Proben oder Patienten, bzw. die Messung von zeitlichen Änderungen dieser Magnetfelder, stellt jedoch messtechnisch eine hohe Herausforderung dar. So sind beispielsweise die Magnetfeldänderungen im menschlichen Körper, welche bei der Magnetokardiographie zu messen sind, ungefähr eine Million Mal schwächer als das magnetische Feld der Erde. Die Detektion dieser Änderungen erfordert
- 15 also extrem sensitive Magnetsensoren. In den meisten Fällen werden daher im Bereich der biomagnetischen Messungen supraleitende Quanten-Interferenz-Messgeräte (Superconducting Quantum Interference Devices, SQUIDs) eingesetzt. Derartige Sensoren müssen in der Regel, um den supraleitenden Zustand zu erreichen bzw. aufrechtzuerhalten, typischerweise auf 4 °K (-269 °C) gekühlt werden, wozu üblicherweise flüssiges Helium verwendet
- 20 wird. Die SQUIDs sind daher in der Regel einzeln oder in einem SQUID-Array in einem sog. Dewar-Gefäß angeordnet und werden dort entsprechend gekühlt. Alternativ werden zurzeit Laser-gepumpte magneto-optische Sensoren entwickelt, die annähernd vergleichbare Empfindlichkeit aufweisen können. Auch in diesem Fall werden die Sensoren in der Regel in einer Array-Anordnung in einem Behälter zur Temperaturstabilisierung angeordnet.
- 25 net.

- Derartige Behälter zur Temperaturstabilisierung, insbesondere Behälter für die Kühlung von Magnetsensoren und so genannte Dewar-Gefäße werden im Folgenden allgemein als „Kryostat“ bezeichnet. Insbesondere kann es sich hierbei um Helium-Kryostate oder andere Arten von Kryostaten handeln. Zwischen dem Kryostaten und dem Kryostatgefäß, welches auch als Dewar bezeichnet wird, wird dabei im Folgenden nicht unterschieden, auch wenn der eigentliche Kryostat neben dem Kryostatgefäß weitere Teile umfassen kann.
- 30

- Die Herstellung des Kryostaten für die Aufnahme biomagnetischer Sensorsysteme stellt
- 35 konstruktiv eine große Herausforderung dar. Die Sensoren werden üblicherweise in einer vorgegebenen Anordnung in diesen Kryostaten eingebracht, beispielsweise in Form einer hexagonalen Anordnung von SQUIDs oder anderen Magnetsensoren. Dabei umfasst üblicherweise der Kryostat ein inneres Gefäß, mit darin aufgenommenen Sensoren, sowie ein

äußeres Gefäß. Der Zwischenraum zwischen innerem Gefäß und äußerem Gefäß wird evakuiert. Dabei ist es jedoch von erheblicher Bedeutung, dass der Abstand zwischen den im inneren Kryostatgefäß aufgenommenen Sensoren und der Hautoberfläche des Patienten so klein wie möglich gehalten wird, da beispielsweise die Signalstärke mit einer hohen Potenz des Abstandes zwischen Sensor und Hautoberfläche abnimmt. Dementsprechend muss der Abstand zwischen den Böden des inneren und äußeren Gefäßes klein und äußerst konstant gehalten werden.

Aus dem Stand der Technik sind zahlreiche Kryostate bekannt, welche für magnetische Messungen eingesetzt werden können. So beschreibt beispielsweise WO 94/03754 ein Kryostatgefäß mit einem inneren Dewar und einem äußeren Dewar. Der innere Dewar ist dabei doppelt ummantelt und weist Bodenteile mit gekrümmten Böden auf. Weiterhin ist eine Reihe von Strahlungsabschirmungen vorgesehen.

Auch DE 298 09 387 U1 beschreibt einen Kryostaten für radiomagnetische Sondierungsverfahren, bei denen vorzugsweise SQUIDs eingesetzt werden. Der Kryostat weist eine hohe elektromagnetische Hochfrequenz-Transparenz auf. Dabei wird wiederum ein Doppelgefäß vorgeschlagen, wobei ein Sensor am Boden eines Innengefäßes aufgenommen ist. Dieses Innengefäß ist zweiteilig ausgebildet und zeigt ein Bodenteil mit einem hochgezogenen Rand, welcher eine Seitenwand teilweise umschließt.

Die herkömmlichen, für magnetische Messungen verwendeten Kryostaten weisen jedoch in der Praxis eine Vielzahl von Nachteilen und Schwierigkeiten auf, welche sich auf die Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit der Messungen auswirken können. Eine Schwierigkeit besteht beispielsweise darin, dass insbesondere in Übergangsbereichen zwischen Bodenteilen und der Seitenwänden des Kryostatgefäßes leicht Verspannungen auftreten können, welche bis hin zu Rissen führen können, was wiederum die Qualität des Kryostaten stark negativ beeinflussen kann.

Weiterhin können beispielsweise beim Abpumpen des Zwischenraumes zwischen innerem und äußerem Gefäß Verformungen auftreten, welche bis hin zur Ausbildung von Wärmebrücken zwischen den Böden der Gefäße führen können. Somit besteht bei der Konstruktion des Kryostaten ein Zielkonflikt dahingehend, dass einerseits ein Abstand zwischen den beiden Böden möglichst groß ausgestaltet werden sollte, um derartige verformungsbedingte Wärmebrücken zu vermeiden, dass aber andererseits dieser Abstand möglichst klein gehalten werden sollte, um eine hohe Signalqualität für die Sensorsignale zu erzielen.

Dieser Zielkonflikt wird insbesondere dadurch verschärft, dass bei biomagnetischen Messsystemen die Dimensionen der Kryostate üblicherweise die Dimensionen von aus dem Laborbereich bekannten Kryostaten stark überschreiten. Dies ist insbesondere dadurch bedingt, dass die meisten modernen biomagnetischen Messsysteme abbildende Systeme sind, welche nicht nur punktuell Messwerte aufnehmen, sondern möglichst gleichzeitig über einen größeren Flächenbereich oder Raumbereich hinweg messen. So wird beispielsweise bei der Magnetokardiographie üblicherweise mittels eines Sensorarrays über einen näherungsweise kreisförmigen Bereich von beispielsweise 300 mm bis 400 mm Durchmesser gemessen, was näherungsweise den Dimensionen einer menschlichen Brust entspricht. Diese großen Dimensionen bewirken jedoch, dass sich bereits kleinste Durchbiegungen der Gefäße, beispielsweise Durchbiegungen im Prozentbereich (d.h. Krümmung relativ zu lateraler Ausdehnung), insbesondere im Mittenbereich der Kryostatgefäße die beschriebenen Probleme mit der Ausbildung von Wärmebrücken bewirken können.

Aufgabe der Erfindung

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht somit darin, einen Kryostaten bereitzustellen, welcher die oben beschriebenen Nachteile bekannter Kryostate vermeidet. Insbesondere soll der Kryostat einerseits eine hohe Signalqualität gewährleisten und andererseits eine zuverlässige Evakuierung eines Hohlraumes zwischen einem Innengefäß und einem Außengefäß ermöglichen.

Beschreibung der Erfindung

Diese Aufgabe wird gelöst durch einen Kryostaten und ein Verfahren zur Herstellung eines Kryostaten mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung, welche einzeln oder in Kombination verwirklicht werden können, sind in Unteransprüchen dargestellt. Der Wortlaut sämtlicher Ansprüche wird hiermit durch Bezugnahme zum Inhalt der Beschreibung gemacht.

Es wird ein Kryostat für den Einsatz in einem biomagnetischen Messsystem vorgeschlagen, welcher mindestens ein Innengefäß und mindestens ein Außengefäß aufweist, sowie mindestens einen zwischen dem Innengefäß und dem Außengefäß angeordneten Hohlraum. Sinngemäß können auch mehrere derartige Innen- und/oder Außengefäße und/oder mehrere Hohlräume vorgesehen sein. Der Hohlraum soll mit einem Unterdruck beaufschlagbar sein, soll also abgedichtet werden können, um evakuiert werden zu können. Zu diesem Zweck können Innen- und Außengefäß beispielsweise entsprechende Dichtungen (beispielsweise separate Dichtringe und/oder Dichtklebungen an Verbindungsstellen

oder ähnliche Arten von Dichtungen), einen Pumpenanschluss zum Verbinden mit einer Vorrichtung zur Erzeugung eines Vakuums (z.B. einer Vakuumpumpe) oder ähnliches aufweisen.

- 5 Das Außengefäß und das Innengefäß können dabei aus einer Vielzahl möglicher Materialien gefertigt sein, welche die erforderliche mechanische Stabilität dieser Gefäße gewährleisten. Besonders bevorzugt ist es, wenn diese Gefäße ganz oder teilweise aus einem Faserverbundmaterial, also einem Verbund aus einem Faserwerkstoff und einem Matrixmaterial aus einem Kunststoff hergestellt sind. Alternativ oder zusätzlich ist jedoch auch eine
10 Vielzahl weiterer Werkstoffe einsetzbar, wie beispielsweise Metalle, Kunststoffe, Keramiken oder eine Kombination dieser Materialien.

- Das Außengefäß weist ein Bodenteil auf. Dieses Bodenteil kann einstückig mit den restlichen Bauteilen des Außengefäßes aufgebaut sein, kann jedoch auch in einer modularen
15 Bauweise durch weitere Bauteile des Außengefäßes ergänzt werden, beispielsweise - wie unten beschrieben - eine Seitenwand und/oder weitere Teile, wie beispielsweise Deckelteile. Wie oben beschrieben, ist dieses Bodenteil besonders kritisch und sollte nach Möglichkeit keine nennenswerte Durchbiegung aufweisen, wenn der Hohlraum abgepumpt wird. Übliche Drücke nach dem Abpumpen können bei Raumtemperatur beispielsweise im Bereich von 10^{-3} mbar bis 10^{-4} mbar liegen.
20

- Zu diesem Zweck wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, das Bodenteil des Außengefäßes analog zu einer Brückenkonstruktion zu gestalten. Bei einer derartigen Brückenkonstruktion wird einer Belastung dadurch begegnet, dass die Brücke eine entsprechende bogenförmige Krümmung aufweist. Auf ähnliche Weise wird vorgeschlagen, dass das Bodenteil
25 einen Dickenvariationsbereich aufweist, welcher sich vorzugsweise über einen großen Bereich des Bodenteils erstreckt. Beispielsweise kann sich dieser Dickenvariationsbereich über einen Bereich zwischen 50 und 100 % der lateralen Erstreckung des Bodenteils erstrecken. In diesem Dickenvariationsbereich weist das Bodenteil eine konzentrisch variierende Bodendicke auf, wobei die Bodendicke sich zur Mitte des Dickenvariationsbereichs hin verringert und dort einen geringeren Wert annimmt als in einem Außenbereich des Dickenvariationsbereichs. Dabei ist unter einer "Dicke" jedoch stets ein gemittelter Wert über einen kleinen Bereich hinweg zu verstehen, so dass beispielsweise lokale Unebenheiten in der Dicke (zum Beispiel ein Angusspunkt) außer Betracht bleiben können.
30

35

Die Dickenvariationsbereich über die laterale Erstreckung des Bodenteils bzw. des Dickenvariationsbereichs hinweg kann beispielsweise zwischen 0,1 % und 5 % liegen, vorzugsweise zwischen 0,5 % und 2 % und besonders bevorzugt im Bereich von 0,75 % bis 1

%. Die Dickenvariation kann beispielsweise stetig erfolgen, beispielsweise in Form eines parabelförmigen Oberflächenprofils und/oder Dickenprofils der Bodendicke. Alternativ oder zusätzlich kann jedoch auch eine stetige oder stufenweise Variation der Bodendicke erfolgen.

5

Das Bodenteil hat beispielsweise einen runden oder einen polygonalen Querschnitt. Entsprechend ist auch der Begriff "konzentrisch variierend" zu verstehen, dahingehend, dass dieser Begriff lediglich eine Abnahme der Bodendicke hin zur Mitte des Dickenvariationsbereichs umfasst, nicht hingegen notwendigerweise eine runde Form der Dickenvariationsbereichs und/oder eine Achsensymmetrie der Dickenvariation, auch wenn eine runde Form und eine Axialsymmetrie um eine Achse des Kryostaten eine bevorzugte Ausführungsform darstellen.

Die konzentrisch variierende Bodendicke bietet den Vorteil, dass der Gesamtaufbau des Bodenteils erheblich stabilisiert wird, ähnlich zum Aufbau eines Brückenbogens. Auf diese Weise werden Wärmebrücken zwischen dem Außengefäß und dem Innengefäß vermieden, und auch nach mehreren Abpumpvorgängen lässt sich der Kryostat und ein den Kryostaten umfassendes biomagnetisches Messsystem reproduzierbar und zuverlässig in Betriebsbereitschaft versetzen.

20

Der Abstand zwischen dem Bodenteil des Außengefäßes und einem Innenbodenteil des Innengefäßes kann beispielsweise zwischen 3 mm und 30 mm betragen, insbesondere zwischen 10 mm und 25 mm und besonders bevorzugt ca. 20 mm. Das Bodenteil selbst oder der Dickenvariationsbereich kann einen Durchmesser von beispielsweise mindestens 200 mm aufweisen, vorzugsweise einen Durchmesser von ca. 400 mm. Das Bodenteil kann eine nach außen weisende Außenseite und eine nach innen weisende Innenseite aufweisen, wobei die Außenseite bei Normaldruck in dem Hohlraum (d.h. bei nicht evakuiertem Hohlraum) vorzugsweise einen im Wesentlichen ebenen Verlauf aufweist. Die Innenseite hingegen kann bei Normaldruck in dem Hohlraum eine gekrümmte Oberfläche aufweisen. Diese Weiterentwicklung bietet den Vorteil, dass auf diese Weise erreicht werden kann, dass im abgepumpten Zustand durch eine entsprechende Wahl der Krümmung der gekrümmten Oberfläche eine ebene Oberfläche entsteht, welche dem Innengefäß zuweist. Auf diese Weise kann vorzugsweise überall im Hohlraum zwischen dem Bodenteil des Außengefäßes und dem Innenbodenteil ein näherungsweise konstanter Abstand im abgepumpten Zustand eingestellt werden.

35

Das Bodenteil kann insbesondere einen Faserwerkstoff, beispielsweise einen Glasfaserwerkstoff und/oder einen Kohlefaserwerkstoff und/oder einen Mineralfaserwerkstoff auf-

weisen. Durch diese Faserverstärkung wird die Stabilität des Kryostaten, insbesondere im Bereich des Bodenteils, zusätzlich erhöht. Zusätzlich zu dem Faserwerkstoff kann dann ein aushärtbares Matrixmaterial verwendet werden, beispielsweise - wie oben beschrieben - ein Matrixmaterial mit einem Epoxidharz oder ein ähnliches aushärtbares Matrixmaterial, welches gemeinsam mit dem Faserwerkstoff ein Faserverbundmaterial bilden kann.

Das Außengefäß kann weiterhin eine in einem umlaufenden Verbindungsbereich mit dem Bodenteil verbundene Seitenwand aufweisen. Wie oben beschrieben, kann diese Seitenwand beispielsweise einen runden oder polygonalen Querschnitt aufweisen, wobei jedoch grundsätzlich beliebige Querschnitte realisierbar sind. Das Bodenteil kann vorzugsweise einen hochgezogenen Rand aufweisen, entlang dessen das Bodenteil mit der Seitenwand des Außengefäßes verbunden ist. In diesem Fall ist es besonders bevorzugt, wenn der hochgezogene Rand eine Stufenfläche aufweist, wobei die Seitenwand auf dieser Stufenfläche aufsitzt. Die Stufenfläche kann zusätzlich einen Kragen umfassen, welcher konzentrisch zu der Seitenwand angeordnet ist, so dass sich die Seitenwand nach innen hin auf diesem Kragen der Stufenfläche abstützen kann. Beispiele dieser Konstruktion werden im Nachfolgenden weiter erläutert.

Neben dem Kryostaten wird ein biomagnetisches Messsystem, insbesondere ein biomagnetisches Messsystem gemäß einer oder mehrerer der eingangs beschriebenen, aus dem Stand der Technik bekannten Ausführungsbeispiele, vorgeschlagen. Das biomagnetische Messsystem umfasst mindestens einen Kryostaten nach einem der vorangehend beschriebenen Ausführungsbeispiele. Weiterhin umfasst das biomagnetische Messsystem mindestens einen biomagnetischen Sensor, vorzugsweise ein Array biomagnetischer Sensoren, welche zur Detektion eines magnetischen Feldes eingerichtet sind. Wie oben beschrieben, können diese biomagnetischen Sensoren beispielsweise SQUIDs und/oder magneto-optische Sensoren umfassen.

Neben dem Kryostaten und dem biomagnetischen Messsystem wird weiterhin ein Verfahren zur Herstellung eines Kryostaten für den Einsatz in einem biomagnetischen Messsystem vorgeschlagen, insbesondere eines Kryostaten gemäß einem der vorangehend beschriebenen Ausführungsbeispiele. Der Kryostat soll mindestens ein Innengefäß und mindestens ein Außengefäß sowie mindestens einen zwischen dem Innengefäß und dem Außengefäß angeordneten Hohlraum umfassen, welcher mit einem Unterdruck beaufschlagbar ist. Das Außengefäß weist ein Bodenteil auf, welcher einen Dickenvariationsbereich mit einer konzentrisch variierenden Bodendicke umfasst. Die Bodendicke nimmt im Bereich der Mitte des Dickenvariationsbereichs einen geringeren Wert an als in einem Au-

Benbereich. Für weitere mögliche Details der Ausgestaltung des Kryostaten kann beispielsweise auf die obige Beschreibung verwiesen werden.

Das Verfahren umfasst die folgenden Schritte zur Herstellung des Bodenteils:

- mindestens ein aushärtbarer Werkstoff (beispielsweise das oben beschriebene Matrixmaterial des Faserverbundwerkstoffes) wird in eine Form eingebracht. Zusätzlich können weitere Werkstoffe in diese Form eingebracht werden, oder der aushärtbare Werkstoff kann weitere Werkstoffe umfassen, beispielsweise die oben beschriebenen Faserwerkstoffe. Die Form weist mindestens ein Formnest, d.h. eine entsprechend gestaltete Öffnung auf, wobei dieses Formnest vorzugsweise vollständig ein Negativ des herzustellenden Bodenteils bildet. Weiterhin umfasst die Form mindestens ein erstes Stempelteil, welches eine in das Formnest hinein gekrümmte Oberfläche aufweist.
- Nach dem Einbringen des aushärtbaren Werkstoffes in das Formnest der Form wird der aushärtbare Werkstoff ausgehärtet, beispielsweise durch einfaches Abwarten, durch thermisches Aushärten, durch chemisches Aushärten (zum Beispiel durch Zugabe eines Starters), durch photochemisches Aushärten oder durch andere Aushärtverfahren oder Kombinationen der genannten und/oder anderer Aushärtverfahren. Nach dem Aushärten kann das Bodenteil anschließend der Form entnommen werden. Auf diese Weise wird unter Verwendung des besagten ersten Stempels, welcher beispielsweise eine konvexe parabolisch gekrümmte Oberfläche aufweisen kann, die konzentrisch variierende Bodendicke des Dickenvariationsbereichs des Bodenteils erzeugt.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann ebenfalls auf verschiedene Weisen weitergebildet werden. So kann beispielsweise die Form weiterhin mindestens ein zweites Stempelteil aufweisen, wobei das zweite Stempelteil eine gegenüber dem ersten Stempelteil im Wesentlichen entgegengesetzte Krümmung aufweist. Ragt beispielsweise die gekrümmte Oberfläche des ersten Stempelteils in das Formnest konvex hinein, so kann beispielsweise das zweite Stempelteil eine gekrümmte Oberfläche aufweisen, welche derart konkav gekrümmt ist, dass die Krümmung aus dem Inneren des Formnestes herausweist. Die beiden gekrümmten Oberflächen der Stempelteile können in diesem Fall beispielsweise dann derart gekrümmt sein, dass das gebildete Zwischenprodukt des Bodenteils nach dem Aushärten die Form einer gekrümmten Schale annimmt. Anschließend kann, nach einem Aushärten des aushärtbaren Werkstoffes, das Bodenteil dem Formnest entnommen werden und einem sich anschließenden Schneideverfahren und/oder Schleifverfahren unterworfen werden. Mittels dieses Schneideverfahrens und/oder Schleifverfahrens kann dann die konvexe

Oberfläche des Bodenteils beispielsweise im Bereich des Dickenvariationsbereichs einge-
ebnet werden und somit eine im Wesentlichen ebene Unterseite des Bodenteils bzw. des
Dickenvariationsbereichs erzeugt werden.

5 Ausführungsbeispiele

Weitere Einzelheiten und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden
Beschreibung von bevorzugten Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Unteran-
sprüchen. Hierbei können die jeweiligen Merkmale für sich alleine oder zu mehreren in
10 Kombination miteinander verwirklicht sein. Die Erfindung ist nicht auf die Ausführungs-
beispiele beschränkt. Die Ausführungsbeispiele sind in den Figuren schematisch darge-
stellt. Gleiche Bezugsziffern in den einzelnen Figuren bezeichnen dabei gleiche oder funk-
tionsgleiche bzw. hinsichtlich ihrer Funktionen einander entsprechende Elemente.

15 Im Einzelnen zeigt:

Figur 1 ein Ausführungsbeispiel eines Kryostaten für den Einsatz in einem biomag-
netischen Messsystem in einer Schnittdarstellung;

20 Figur 2 einen Ausschnitt der Darstellung gemäß Figur 1 im Bereich eines Übergan-
ges zwischen einem Innenbodenteil und einer Innenseitenwand eines Innen-
gefäßes;

Figur 3 einen Ausschnitt der Darstellung gemäß Figur 1 im Bereich eines Übergan-
25 ges zwischen einem Bodenteil und einer Seitenwand eines Außengefäßes;

Figur 4 das Bodenteil des Kryostaten gemäß Figur 1 in einer Detaildarstellung;

Figuren 5A und 5B ein schematisches Beispiel eines herkömmlichen Bodenteils in un-
30 gekrümmtem und gekrümmtem Zustand;

Figuren 6A und 6B ein schematisches Beispiel eines erfindungsgemäßen Bodenteils in
ungekrümmtem und gekrümmtem Zustand;

35 Figuren 7A und 7B zwei weitere mögliche Ausführungsbeispiele erfindungsgemäßer
Bodenteile;

Figur 8 ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Kryostaten; und

Figur 9 ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Kryostaten.

In Figur 1 ist ein mögliches Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Kryostaten 110 in einer Schnittdarstellung gezeigt. Der Kryostat 110 weist ein Innengefäß 112 und ein das Innengefäß 112 umschließendes Außengefäß 114 auf. Das Außengefäß 114 ist im Wesentlichen zylindrisch ausgestaltet und weist verschiedene Flansche 116 und 118 auf. Während der untere dieser Flansche 116 im Wesentlichen Halterungsfunktionen übernimmt, dient der obere Flansch 118 zur Aufnahme eines Deckels 120 des Außengefäßes 114. Durch diesen Deckel 120 ragt ein Hals 122 des Innengefäßes 112. Durch diesen Hals 122 können biomagnetische Sensoren (in Figur 1 nicht dargestellt) ins Innere eines (ebenfalls im Wesentlichen zylindrischen) Hauptgefäßes 124 des Innengefäßes 112 eingebracht werden. Zudem können Zuleitungen zu diesen Sensoren durch den Hals 122 nach außen geführt und mit einer entsprechenden Elektronik verbunden werden, sodass Messsignale dieser Sensoren abgefragt werden können.

Zwischen dem Innengefäß 112 und dem Außengefäß 114 ist ein Hohlraum 126 ausgebildet. Dieser Hohlraum 126 kann beispielsweise mittels eines in Figur 1 nicht dargestellten Vakuumstutzens evakuiert werden. Durch diese Evakuierung und Ausbildung eines Unterdrucks in diesem Hohlraum 126 wird eine Isolationswirkung des Kryostaten 110 erhöht. Auf diese Weise kann der Innenraum des Hauptgefäßes 124 des Innengefäßes 112 beispielsweise mittels flüssigen Heliums gekühlt werden, ohne dass in kurzen Abständen eine Ergänzung bzw. Ersetzung dieses flüssigen Heliums erforderlich wäre.

Sowohl das Innengefäß 112 als auch das Außengefäß 114 weisen im Wesentlichen durchgehend Faserverbundmaterialien als Werkstoffe auf. Weiterhin sind sowohl das Innengefäß 112 als auch das Außengefäß 114 modular aufgebaut. So weist beispielsweise das Außengefäß 114 neben dem Deckel 120 eine Seitenwand 128 und ein Bodenteil 130 auf. Das Innengefäß 112 weist neben dem Hals 122 im Bereich des Hauptgefäßes 124 einen Kreisring 132 auf, welcher den Hals 122 gegenüber dem Hauptgefäß 124 abdichtet. Weiterhin weist das Innengefäß 112 eine Innenseitenwand 134 auf sowie ein Innenbodenteil 136. In diesem Ausführungsbeispiel sind die Seitenwände 128, 134 mit einer zylindrischen Gestalt ausgestattet, was jedoch nicht zwingend erforderlich ist. So können beispielsweise auch polygonale Querschnitte oder unregelmäßige Querschnitte eingesetzt werden.

Ein besonders kritischer Bereich bei der Herstellung des Kryostaten 110 ist der in Figur 1 mit der Bezugsziffer 138 bezeichnete Bereich des Übergangs zwischen den Bodenteilen 130, 136 und den Seitenwänden 128, 134 des Außengefäßes 114 bzw. des Innengefäßes 112. In diesem Bereich machen sich die beim Abpumpen des Hohlraumes 126 wirkenden Kräfte auf das Innengefäß 112 (in Figur 1 mit F_1 bezeichnet) und auf das Außengefäß 114 (in Figur 1 mit F_2 bezeichnet) besonders kritisch bemerkbar und können zu Beschädigungen des Kryostaten 110 führen.

Beim Evakuieren des Hohlraums 126 in Figur 1 wirkt auf die Seitenwand 134 des Innengefäßes 112 die nach außen, zum Hohlraum 126 hin gerichtete Kraft F_1 . Diese Kraft führt in einem umlaufenden Verbindungsbereich 140, welcher in Figur 2 in Detaildarstellung gezeigt ist, zwischen dem Innenbodenteil 136 und der Innenseitenwand 134 des Innengefäßes 112 zu Verspannungen. Um in diesem Verbindungsbereich 140 Rissbildungen aufgrund dieser Verspannungen zu vermeiden, weist der Verbindungsbereich 140 ein umlaufendes Verstärkungselement 142 auf, welches in diesem Ausführungsbeispiel einstückig mit dem Innenbodenteil 136 ausgebildet ist. Auch nicht-einstückige Ausführungsformen sind jedoch denkbar, beispielsweise mit einem separat ausgebildeten Verstärkungselement 142. Das Innenbodenteil 136 weist einen hochgezogenen, kreisringförmigen Rand 144 auf, welcher in seinem oberen Bereich als Stufe 146 ausgebildet ist. Diese Stufe 146 weist eine untere Stufenfläche 148 auf, auf welcher der untere Rand der Innenseitenwand 134 des Innengefäßes 112 aufliegt. Weiterhin beinhaltet die Stufe 146 einen Kragen 150, welcher den unteren Rand der Seitenwand 134 ringförmig umgibt.

Das Verstärkungselement 142 unterscheidet sich vom restlichen Innenbodenteil 136 im Wesentlichen durch seine strukturellen Eigenschaften. So ist vorzugsweise das gesamte Innenbodenteil 136 aus einem Faserverbundmaterial hergestellt, welches vorzugsweise ein Epoxidharz als Matrixmaterial und beispielsweise Glasfasern als Faserwerkstoff umfasst. Daneben können weitere Zusatzstoffe umfasst sein. Im Bereich des Verstärkungselements 142 ist dieser Faserwerkstoff, welcher in Figur 2 nicht dargestellt ist, in Umfangsrichtung orientiert und weist somit in Figur 2 in die Zeichenebene hinein. Im restlichen Bodenteil 136 hingegen ist die Faserorientierung des Faserwerkstoffs im Wesentlichen radial verlaufend, also in Figur 2 parallel zur Zeichenebene.

Weiterhin ist in den Figuren 1 und 2 zu erkennen, dass das Innenbodenteil 136 eine Reihe von Vertiefungen 152 aufweist. Diese Vertiefungen 152 dienen der Aufnahme von biomagnetischen Sensoren, welche in den Figuren nicht dargestellt sind. Beispielsweise lassen sich zu diesem Zweck SQUIDS einsetzen, welche beispielsweise an einem durch den Hals 122 des Innengefäßes 112 in das Hauptgefäß 124 eingebrachten Gestänge gelagert sind.

Die biomagnetischen Sensoren können beispielsweise in einer hexagonalen Anordnung im Bodenteil 136 aufgenommen sein, so dass diese über einen Flächenbereich hinweg Messsignale aufnehmen und somit beispielsweise einen Brustbereich eines Patienten kartieren können. Die Vertiefungen 152 dienen beispielsweise dem Zweck, die biomagnetischen Sensoren zu fixieren und darüber hinaus den Abstand zwischen Sensor und Hautoberfläche des Patienten dadurch zu verkürzen, dass die effektive Bodendicke des Innenbodenteil 136 von ursprünglich D auf den Abstand d in Figur 2 reduziert wird. Weiterhin sind im Innenbodenteil 136 Gewindebohrungen 154, an welchen beispielsweise ein Gestänge zur Halterung der biomagnetischen Sensoren fixiert werden kann.

Auf ähnliche Weise weist auch das Bodenteil 130 des Außengefäßes 114 einen hochgezogenen Rand 156 auf. Dieser ist in Figur 3 in Detaildarstellung gezeigt. Da in diesem Fall die auf die Seitenwand 128 des Außengefäßes 114 wirkende Kraft F_2 nach innen gerichtet ist, also entgegengesetzt zur Kraft F_1 in Figur 2, ist zur Verstärkung des Übergangsbereichs zwischen der Seitenwand 128 und dem Bodenteil 130 wiederum eine Stufe 158 in dem hochgezogenen Rand 156 des Bodenteils 130 vorgesehen. Wiederum weist diese Stufe 158 eine Stufenfläche 160 auf, auf welcher die Seitenwand 128 aufliegt. Wiederum ist auch ein Kragen 162 vorgesehen, welcher jedoch, im Gegensatz zu dem Kragen 150 in Figur 2, aufgrund der entgegengesetzt zur Kraft F_1 wirkenden Kraft F_2 in diesem Fall auf der Innenseite der Seitenwand 128 angeordnet ist und den Übergangsbereich zwischen Seitenwand 128 und Bodenteil 130 verstärkt.

Zwischen dem Innenbodenteil 136 des Innengefäßes 112 und dem Bodenteil 130 des Außengefäßes 114 besteht, wie aus Figur 1 ersichtlich ist, in einem Bereich, in welchem beide Bodenteile 130, 136 eben verlaufen, ein Abstand a , welcher typischerweise lediglich zwischen 10 und 25 mm beträgt. Dieser bevorzugte Abstand bewirkt eine hohe Signalqualität, da magnetische Felder in der Regel mit einer hohen Potenz des Abstandes zwischen Quelle und Detektor abnehmen. Durch die in Figur 1 dargestellte Konstruktion mit den Vertiefungen 152, in welchen die Sensoren aufgenommen sind, und dem geringen Abstand a zwischen Innenbodenteil 136 und Bodenteil 130 wird der Abstand zwischen beispielsweise einer Brust des Patienten und den in den Vertiefungen 152 aufgenommenen biomagnetischen Sensoren auf ein Minimum reduziert.

Durch diese Reduzierung des Abstandes a treten jedoch die eingangs genannten Probleme mit Verformungen des Bodenteils 130 des Außengefäßes 114 auf. Das Bodenteil 130 ist in Figur 4 im Detail ohne das Innengefäß 112 dargestellt. Das Bodenteil 130 kann, wie der gesamte Kryostat 110, beispielsweise einen runden Querschnitt oder einen polygonalen Querschnitt aufweisen. Aus Figur 4 ist ersichtlich, dass das Bodenteil 130 in dem hier dar-

gestellten, nicht beschränkenden Ausführungsbeispiel grundsätzlich in drei Abschnitte unterteilt ist und neben dem bereits erwähnten hochgezogenen Rand 156 einen ringförmigen abgeschrägten Bereich 164 und einen kreisförmigen, im Wesentlichen eben gestalteten dicken Variationsbereich 166 aufweist. Der im Wesentlichen ebene Dickenvariationsbereich 166 ist vorzugsweise der Bereich, in welchem, wie aus Figur 1 ersichtlich ist, das
5 Innengefäß 112 den geringsten Abstand zum Außengefäß 114 aufweist. Dieser Bereich stellt somit den Bereich dar, in welchem bei Einwirken der Kraft F_1 , welche beim Abpumpen des Hohlraumes 126 auftritt, die Gefahr einer Berührung zwischen Innengefäß 112 und Außengefäß 114 und somit die Ausbildung von Wärmebrücken besonders hoch ist.

10 Zur Lösung dieser Problematik wird vorgeschlagen, diesen Dickenvariationsbereich 166 mit einer konzentrisch variierenden Bodendicke auszugestalten. Dabei nimmt die Dicke des Bodenteils 130 im Dickenvariationsbereich 166 von einer Dicke B_1 im Randbereich, d.h. im Bereich des Übergangs des Dickenvariationsbereichs 166 hin zum abgeschrägten
15 Bereich 164, auf einen Wert B_2 in der Mitte des Dickenvariationsbereichs 166 ab. Diese Abnahme beträgt typischerweise ca. 1 %. Wenn der Dickenvariationsbereich 166 somit einen Durchmesser von ca. 400 mm aufweist, so liegt der Wert $B_1 - B_2$ bei ca. 3 bis 4 mm. Dabei weist der Dickenvariationsbereich 166 eine nach außen weisende Innenseite 168 und eine nach außen weisende Oberfläche 170 auf. Während die Innenoberfläche 168 in einem
20 Zustand, in welchem der Hohlraum 126 nicht abgepumpt ist, einen leicht gekrümmten Verlauf aufweist, ist die Außenoberfläche 170 vorzugsweise eben ausgestaltet. Alternativ kann diese Außenoberfläche 170 jedoch beispielsweise auch anderen Geometrien angepasst werden, beispielsweise einer Kopfoberfläche oder einer Brustoberfläche eines Patienten, je nach Anwendungsgebiet des Kryostaten 110.

25 In den Figuren 5A bis 6B ist die Wirkung der konzentrisch variierenden Dicke des Bodenteils 130 schematisch verdeutlicht. Dabei zeigen die Figuren 5A und 5B ein herkömmliches Bodenteil 130 mit konstanter Dicke, wohingegen die Figuren 6A und 6B ein erfindungsgemäßes Bodenteil 130 mit konzentrisch variierender Dicke zeigen. Die Dickenvariation und die Krümmung sind dabei in den Figuren stark übertrieben dargestellt.
30

In Figur 5A ist ein Bodenteil 130 mit gleichbleibender, d.h. nicht variierender Dicke dargestellt, wie es dem Stand der Technik entspricht und in herkömmlichen Kryostaten verwendet wird. Dabei zeigt Figur 5A den unbelasteten Fall, also einen Fall, in welchem der Hohlraum 126 keine Druckdifferenz zum Bereich außerhalb des Kryostaten 110 aufweist, also
35 einen nicht-abgepumpten Fall. Figur 5B zeigt hingegen den Fall, dass der Hohlraum 126 des Kryostaten 110 evakuiert wird. In diesem Fall wirkt nach innen, d.h. hin zum Hohlraum 126, eine Kraft F_2 auf das Bodenteil 130. Da das Bodenteil 130 in seinem Randbe-

reich (der hochgezogene Rand 156 und der abgeschrägte Bereich 164 sind in dieser und in den nachfolgenden Figuren vernachlässigt) fest verankert ist, krümmt sich das Bodenteil 130 in der Mitte nach oben. Die dadurch entstehende Durchbiegung ist in Figur 5B mit Δ bezeichnet. Diese Durchbiegung Δ kann bei üblichen Unterdrücken im Bereich von 10^{-2} bis 10^{-3} mbar bis hin zu einigen Millimetern betragen. Hierdurch können sich Wärmebrücken zum darüberliegenden, in den Figuren nicht dargestellten Innengefäß 112 ausbilden, welche die Isolationswirkung des Kryostaten 110 stark vermindern.

In den Figuren 6A und 6B ist hingegen ein Beispiel eines Bodenteils 130 gezeigt, welches erfindungsgemäß ausgestaltet ist. Wiederum sind dabei der hochgezogene Rand 156 und der abgeschrägte Bereich 164 nicht dargestellt, und die Krümmungen sind zur Verdeutlichung des Prinzips stark übertrieben gezeichnet. Abgebildet ist somit beispielsweise ein Teil des Dickenvariationsbereichs 166. Wiederum zeigt die Figur 6A den nicht-abgepumpten Fall, in welchem beispielsweise in dem Hohlraum 126 Normaldruck herrscht, wohingegen Figur 6B den Fall des abgepumpten Zustandes darstellt. In diesem abgepumpten Zustand wirkt auf das Bodenteil 130 eine hin zum Hohlraum 126 gerichtete Kraft F_2 .

Wie aus Figur 6B erkennbar ist, bewirkt auch in diesem Fall, in welchem das Bodenteil 130 erfindungsgemäß ausgestaltet ist, die Kraft F_2 eine Verformung des Bodenteils 130. Diese Verformung fällt jedoch zum einen geringfügiger aus als in dem oben in Figur 5B dargestellten, dem Stand der Technik entsprechenden Fall, was auf den "Brückenbogen-effekt" zurückzuführen ist, der oben beschrieben wurde. Zum anderen bewirkt die konkave Krümmung der nach innen weisenden Oberfläche 168 des Bodenteils 130, dass sich auch im verformten Zustand das Bodenteil 130 nicht nach oben hin, d.h. hin zum Innengefäß 112, aufwölben kann oder dass eine derartige Aufwölbung im Vergleich zum Stand der Technik stark vermindert wird. Auf diese Weise wird die Gefahr einer Brückenbildung in diesem besonders kritischen Bereich des Kryostaten 110 stark vermindert.

In den Figuren 7A und 7B sind weitere mögliche Ausführungsbeispiele des Bodenteils 130 dargestellt (wobei jeweils wiederum nur der Dickenvariationsbereich 166 des Bodenteils 130 gezeigt ist), welche zeigen, dass auch andere Ausführungsformen der Krümmung der Oberflächen im Dickenvariationsbereich 166 als die in Figur 6A gezeigte Krümmung möglich sind.

So ist in Figur 6A lediglich die nach innen weisende Oberfläche 168 gekrümmt, wohingegen die nach außen weisende Oberfläche 170 vorzugsweise im nicht-abgepumpten Zustand eben ausgestaltet ist. Wie oben bereits dargelegt, sind jedoch auch andere Ausgestaltungen

der äußeren Oberfläche 170 möglich, beispielsweise anatomische Ausformungen oder ebenfalls gekrümmte Formen, beispielsweise ähnlich zur inneren Oberfläche 168.

5 Weiterhin ist in Figur 6A der Krümmungsverlauf der inneren Oberfläche 168 stetig und beispielsweise parabelförmig ausgestaltet, mit einer konkaven, parabelförmigen Krümmung. Dass dies nicht notwendigerweise so sein muss, ist beispielsweise in Figur 7 stark schematisiert dargestellt. Hierbei ist gezeigt, dass die gekrümmte Oberfläche 168 auch beispielsweise eine nicht-kontinuierliche Dickenvariation mit Stufen 172 aufweisen kann. Da vorzugsweise das Bodenteil 130 rund oder polyedrisch ausgestaltet ist, kann es sich bei diesen Stufen beispielsweise um Ringstufen 172 handeln. Der Effekt dieser gestuften Aus-
10 führungsform ist prinzipiell derselbe wie in den Figuren 6A und 6B dargestellt.

In Figur 7B ist ein weiteres Beispiel einer nicht-kontinuierlichen Dickenvariation gezeigt. Bei diesem Beispiel weist die nach innen weisende Oberfläche 168 einen im Wesentlichen
15 eben ausgestalteten Zentralbereich 174 und einen sich daran anschließenden ringförmigen Krümmungsbereich 176 auf.

Zahlreiche weitere Ausführungsformen, die nicht vom Grundgedanken der Erfindung abweichen, sind möglich und dem Fachmann angesichts der obigen Beschreibung leicht zu
20 erschließen. So können beispielsweise auch lokal Dickenvariationen auftreten, welche von dem Verlauf mit grundsätzlich nach innen hin abnehmender Dicke des Bodenteils 130 abweichen. So können beispielsweise lokale Unebenheiten, welche vernachlässigbar sind, für eine Ausbildung von Wärmebrücken bei der Betrachtung des Dickenprofils außer Betracht bleiben. Auch zahlreiche andere Ausführungsformen sind denkbar, beispielsweise Ausfüh-
25 rungsformen, in welchen in eine oder beide der Oberflächen 168, 170 zusätzliche Vertiefungen, Bohrungen, Nuten oder ähnliches eingebracht sind, wobei der Gesamtverlauf der Krümmung dieser Oberflächen jedoch nicht vom obigen Gedanken der Erfindung abweicht.

30 Anhand der Figuren 8 und 9 werden im Nachfolgenden zwei mögliche Verfahren zur Herstellung eines Bodenteils 130, beispielsweise eines Bodenteils mit den Merkmalen der oben beschriebenen Bodenteile 130, beschrieben.

In beiden Fällen wird ein Herstellungsverfahren eingesetzt, bei welchem das Bodenteil 130
35 mittels einer Form 178 erzeugt wird. Diese Form 178 weist einen oberen Stempel 180 und einen unteren Stempel 182 auf, welche gemeinsam ein Formnest 184 bilden. Dieses Formnest 184 ist in den Figuren 8 und 9 stark vereinfacht dargestellt, so dass beispielsweise wiederum der abgeschrägte Bereich 164 und/oder ein hochgezogener Rand 156 des Boden-

teils 130 außer Betracht bleiben. Unter einem "Stempel" ist nicht notwendigerweise ein beweglicher Bestandteil der Form 178 zu verstehen, sondern es kann sich beispielsweise auch um starre Bestandteile dieser Form 178 handeln, wobei die Stempel 180, 182 zum Formnest 184 hinweisende Oberflächen 186, 188 aufweisen. Die beiden Stempel 180, 182 sind entlang einer Trennlinie 190, welche in den Figuren 8 und 9 ebenfalls nur schematisch dargestellt ist, trennbar. Unter einer "Trennlinie" ist dabei nicht notwendigerweise eine Linie, sondern beispielsweise auch eine Trennfläche oder ähnliches zu verstehen. Auch können die Stempel 180, 182 weitere, beispielsweise bewegliche oder austauschbare Formteile enthalten, um dem Bodenteil 130 weitere Konturen aufzuprägen.

In beiden Verfahren, also sowohl in dem in Figur 8 dargestellten Verfahren, als auch in dem in Figur 9 dargestellten Verfahren, wird ein Faserwerkstoff 192 in das Formnest 184 eingebracht. Dieser Faserwerkstoff 192 kann beispielsweise in Form von Fasermatten ausgestaltet sein, beispielsweise in Form von Glasfaser-, Kohlefaser- oder Mineralfasermatten oder Mischungen verschiedener Faserwerkstoffe. Der Faserwerkstoff 192 ist in den Figuren 8 und 9 lediglich schematisch angedeutet und wird vorzugsweise derart in die Formnester 184 eingebracht, so dass diese im Wesentlichen ausgefüllt sind. Anschließend wird ein nicht ausgehärtetes Matrixmaterial 194 (in den Figuren 8 und 9 durch eine Punktierung angedeutet) in die Formnester 184 eingebracht, was in den Figuren 8 und 9 ebenfalls nur ansatzweise dargestellt ist. Vorzugsweise wird dieses Matrixmaterial 194 derart in die Formnester 184 eingegossen, dass der Faserwerkstoff 192 vollständig mit dem nicht ausgehärteten Matrixmaterial 194 getränkt ist. Beispielsweise kann es sich bei diesem Matrixmaterial 194 um ein Epoxidharz handeln. Auch andere Arten von Matrixmaterialien 194 sind jedoch denkbar, beispielsweise andere Arten duroplastischer Kunststoffe, Thermoplaste oder andere aushärtbare Matrixmaterialien 194.

Anschließend wird in beiden Figuren das Matrixmaterial 194 ausgehärtet, was beispielsweise durch einfaches Abwarte, thermische Initialisierung, Beigabe eines Starters, photochemische Aktivierung oder andere Arten der Aktivierung erfolgen kann. Auf diese Weise bildet sich in den Formnestern 184 jeweils ein zumindest teilweise ausgehärtetes Bodenteil 130 aus.

Die beiden in den Figuren 8 und 9 dargestellten Verfahren unterscheiden sich im Wesentlichen darin, wie bei diesen Verfahren die konzentrisch variierende Bodendicke des Bodenteils 130 erzeugt wird. Bei dem in Figur 8 dargestellten Verfahren ist bereits das Formnest 184 durch entsprechende Ausgestaltung der Stempel 180, 182 derart ausgestaltet, dass das dem Formnest 184 entnommene Bodenteil 130 bereits näherungsweise beispielsweise die Gestalt des in Figur 6A dargestellten Bodenteils 130 aufweist. Dies bedeutet, dass bereits

nach dem Vergießen und Aushärten die nach innen weisende Innenseite 168 des Bodenteils 130 (siehe Figur 6A) eine Krümmung aufweist, wohingegen die nach außen weisende Außenseite 170 beispielsweise einen im Wesentlichen ebenen Verlauf zeigt.

5 Bei dem in Figur 9 dargestellten, bevorzugten Verfahren wird hingegen die konzentrisch variierende Bodendicke nachträglich durch ein Schneideverfahren erzeugt. Hierbei weisen die beiden Oberflächen 186, 188 der Stempel 180, 182 eine im Wesentlichen konstante Krümmung auf, so dass das nach dem Aushärten dem Formnest 184 entnommene Bodenteil 130 zunächst eine im Wesentlichen konstante Bodendicke aufweist, jedoch insgesamt
10 gekrümmt ist. Auch unterschiedliche Krümmungen der Oberflächen 186, 188 sind prinzipiell möglich. Die konzentrisch variierende Bodendicke wird anschließend durch ein Schneiden dieses Bodenteils entlang einer Schnittlinie 196 (wobei es sich sinngemäß wiederum auch um eine Schnittfläche handeln kann) erzeugt. Dies kann beispielsweise durch ein einfaches Sägen erfolgen. Alternativ oder zusätzlich kann anstelle eines Schneideverfahrens
15 auch ein Schleifverfahren eingesetzt werden, bei welchem das Bodenteil 130 in Figur 9 von unten her mittels eines vorzugsweise ebenen Schleifwerkzeuges bis hin zur Schnittlinie 196 angeschliffen wird. Auch auf diese Weise lässt sich beispielsweise das in Figur 6A dargestellte Bodenteil 130 mit der konzentrisch variierenden Bodendicke erzeugen.

20 Abschließend sei darauf hingewiesen, dass die in den Figuren 8 und 9 dargestellten Verfahrensvarianten lediglich Beispiele einer Vielzahl möglicher Herstellungsverfahren zur Herstellung eines Bodenteils sind. Diese Beispiele, insbesondere das in Figur 9 dargestellte Schneide- oder Schleifverfahren, zeichnen sich jedoch durch eine hohe Prozesssicherheit, eine hohe Reproduzierbarkeit der erzeugten Bodenteile 130 sowie durch vergleichsweise
25 geringe Herstellungskosten für die Formen 178 aus.

Bezugszeichenliste

	110	Kryostat	178	Form
	112	Innengefaß	180	oberer Stempel
5	114	Außengefaß	182	unterer Stempel
	116	Flansch	184	Formnest
	118	Flansch	186	Oberfläche oberer Stempel
	120	Deckel	188	Oberfläche unterer Stempel
	122	Hals des Innengefaßes	190	Trennlinie
10	124	Hauptgefäß	192	Faserwerkstoff
	126	Hohlraum	194	Matrixmaterial
	128	Seitenwand Außengefaß	196	Schnittlinie
	130	Bodenteil Außengefaß		
	132	Kreisring		
15	134	Innenseitenwand		
	136	Innenbodenteil		
	138	Kritischer Bereich		
	140	Verbindungsbereich		
	142	Verstärkungselement		
20	144	Hochgezogener Rand des Innengefaßes		
	146	Stufe Innengefaß		
	148	Stufenfläche		
	150	Kragen		
	152	Vertiefungen		
25	154	Gewindebohrungen		
	156	Hochgezogener Rand des Bodenteils		
	158	Stufe Außengefaß		
	160	Stufenfläche		
	162	Kragen		
30	164	abgeschrägter Bereich		
	166	Dickenvariationsbereich		
	168	Innenseite		
	170	Außenseite		
	172	Ringstufen		
35	174	ebener Zentralbereich		
	176	ringförmiger Krümmungsbereich		

Patentansprüche

- 5 1. Kryostat (110) für den Einsatz in einem biomagnetischen Messsystem, umfassend mindestens ein Innengefäß (112) und mindestens ein Außengefäß (114) sowie mindestens einen zwischen dem Innengefäß (112) und dem Außengefäß (114) angeordneten Hohlraum (126), wobei der Hohlraum (126) mit einem Unterdruck beaufschlagbar ist, wobei das Außengefäß (114) ein Bodenteil (130) aufweist, da-
10 durch gekennzeichnet, dass das Bodenteil (130) einen Dickenvariationsbereich (166) mit einer konzentrisch variierenden Bodendicke aufweist, wobei die Bodendicke zur Mitte des Bodenteils (130) hin einen geringeren Wert annimmt als in einem Außenbereich.
- 15 2. Kryostat (110) nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Bodendicke über die laterale Erstreckung des Bodenteils (130) hinweg zwischen 0,1% und 5% beträgt, vorzugsweise zwischen 0,5% und 2% und besonders bevorzugt von 0,75% bis 1%.
- 20 3. Kryostat (110) nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, wobei die Variation der Bodendicke stetig oder stufenweise erfolgt.
4. Kryostat (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Variation der Bodendicke zumindest näherungsweise ein parabelförmiges Profil aufweist.
- 25 5. Kryostat (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Dickenvariationsbereich (166) sich über 50% bis 100% der lateralen Erstreckung des Bodenteils (130) erstreckt.
- 30 6. Kryostat (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Abstand zwischen dem Bodenteil (130) des Außengefäßes (114) und einem Innenbodenteil (136) des Innengefäßes (112) zwischen 3 mm und 30 mm beträgt, vorzugsweise zwischen 10 mm und 25 mm und besonders bevorzugt 20 mm.
- 35 7. Kryostat (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Bodenteil (130) einen Durchmesser von mindestens 200 mm aufweist und vorzugsweise einen Durchmesser von 400 mm.

8. Kryostat (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Bodenteil (130) eine nach außen weisende Außenseite (170) und eine nach innen weisende Innenseite (168) aufweist, wobei die Außenseite (170) bei Normaldruck in dem Hohlraum (126) einen im Wesentlichen ebenen Verlauf aufweist, wobei die Innenseite (168) bei Normaldruck in dem Hohlraum (126) eine gekrümmte Oberfläche aufweist.
9. Kryostat (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Bodenteil (130) einen Faserwerkstoff (192), insbesondere einen Glasfaserwerkstoff und/oder einen Kohlefaserwerkstoff und/oder einen Mineralfaserwerkstoff aufweist.
10. Kryostat (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Außengefäß (114) weiterhin eine in einem umlaufenden Verbindungsbereich mit dem Bodenteil (130) verbundene Seitenwand (128) aufweist.
11. Kryostat (110) nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei das Bodenteil (130) einen hochgezogenen Rand (156) aufweist, wobei der hochgezogene Rand (156) eine Stufenfläche (160) aufweist, wobei die Seitenwand (128) auf der Stufenfläche (160) aufsitzt.
12. Biomagnetisches Messsystem, umfassend mindestens einen Kryostaten (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiterhin umfassend mindestens einen biomagnetischen Sensor zur Detektion eines magnetischen Feldes.
13. Verfahren zur Herstellung eines Kryostaten (110) für den Einsatz in einem biomagnetischen Messsystem, insbesondere eines Kryostaten (110) nach einem der vorhergehenden, auf einen Kryostaten (110) gerichteten Ansprüche, wobei der Kryostat (110) mindestens ein Innengefäß (112) und mindestens ein Außengefäß (114) sowie mindestens einen zwischen dem Innengefäß (112) und dem Außengefäß (114) angeordneten Hohlraum (126) umfasst, wobei der Hohlraum (126) mit einem Unterdruck beaufschlagbar ist, wobei das Außengefäß (114) ein Bodenteil (130) aufweist, wobei das Bodenteil (130) einen Dickenvariationsbereich (166) mit einer konzentrisch variierenden Bodendicke aufweist, wobei die Bodendicke zur Mitte des Bodenteils (130) hin einen geringeren Wert annimmt als in einem Außenbereich, wobei das Verfahren folgende Schritte zur Herstellung des Bodenteils (130) umfasst:
- mindestens ein aushärtbarer Werkstoff (194) wird in eine Form (178) eingebracht, wobei die Form (178) mindestens ein Formnest (184) und mindestens ein erstes

Stempelteil (180) aufweist, wobei das erste Stempelteil (180) eine in das Formnest (184) hinein gekrümmte Oberfläche (186) aufweist;

- der aushärtbare Werkstoff (192, 194) wird ausgehärtet.

5

14. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei beim Einbringen des aushärtbaren Werkstoffes (192, 194) mindestens ein Faserwerkstoff (192) in das Formnest (184) eingebracht wird, wobei weiterhin mindestens ein aushärtbares Matrixmaterial (194) in das Formnest (184) eingebracht wird.

10

15. Verfahren nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, wobei die Form (178) weiterhin mindestens ein zweites Stempelteil (188) aufweist, wobei das zweite Stempelteil (188) eine gegenüber dem ersten Stempelteil (186) im Wesentlichen entgegengesetzte Krümmung aufweist, wobei nach dem Aushärten des aushärtbaren Werkstoffes das Bodenteil (130) dem Formnest (184) entnommen wird und wobei in einem anschließenden Schneidverfahren und/oder Schleifverfahren eine im Wesentlichen ebene Unterseite (170) des Bodenteils (130) erzeugt wird.

15

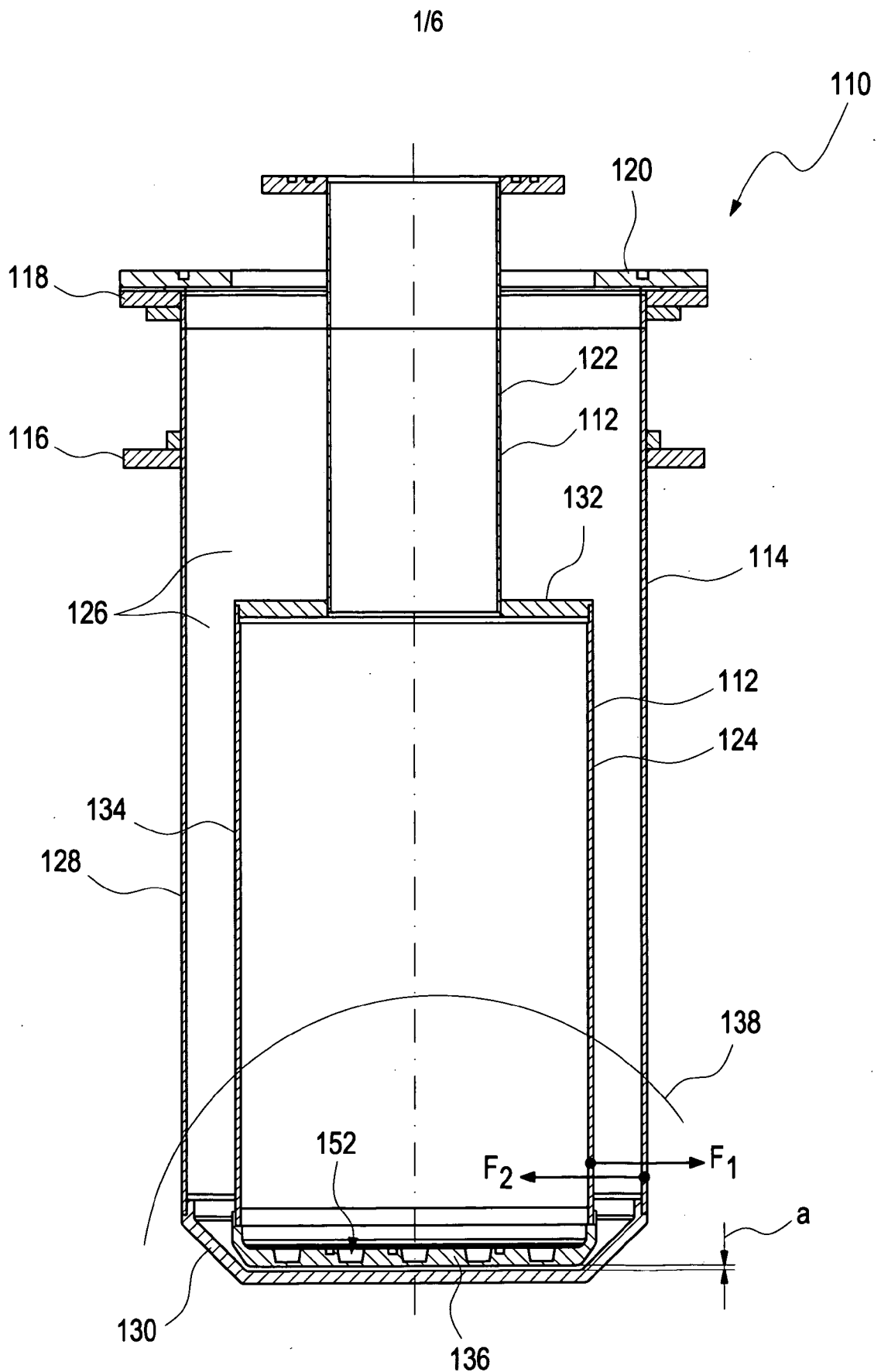


Fig. 1

2/6

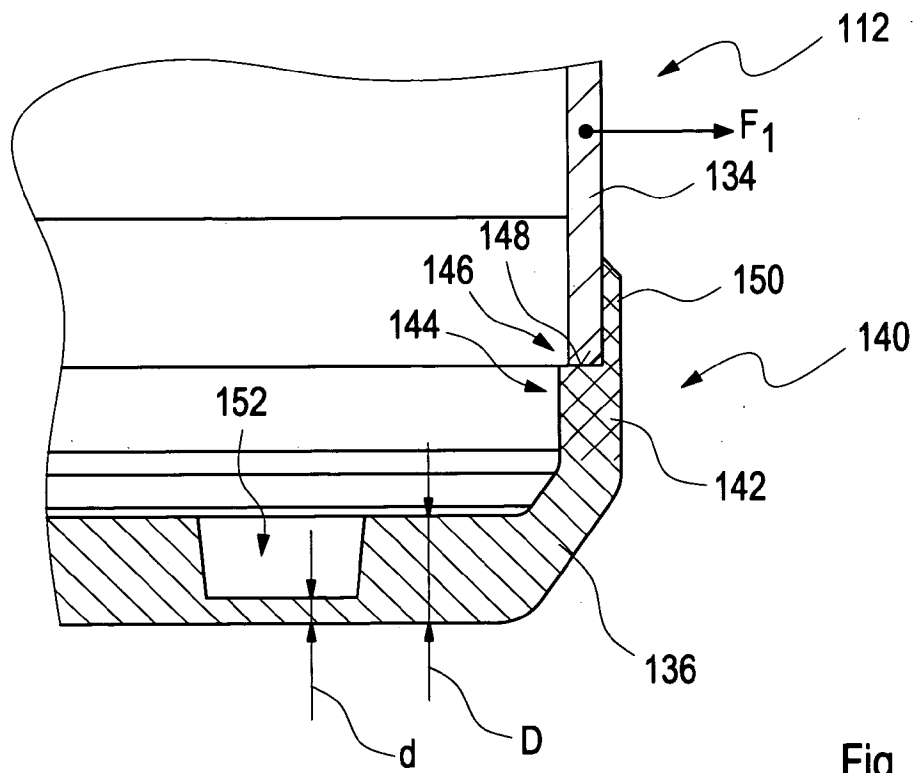


Fig. 2

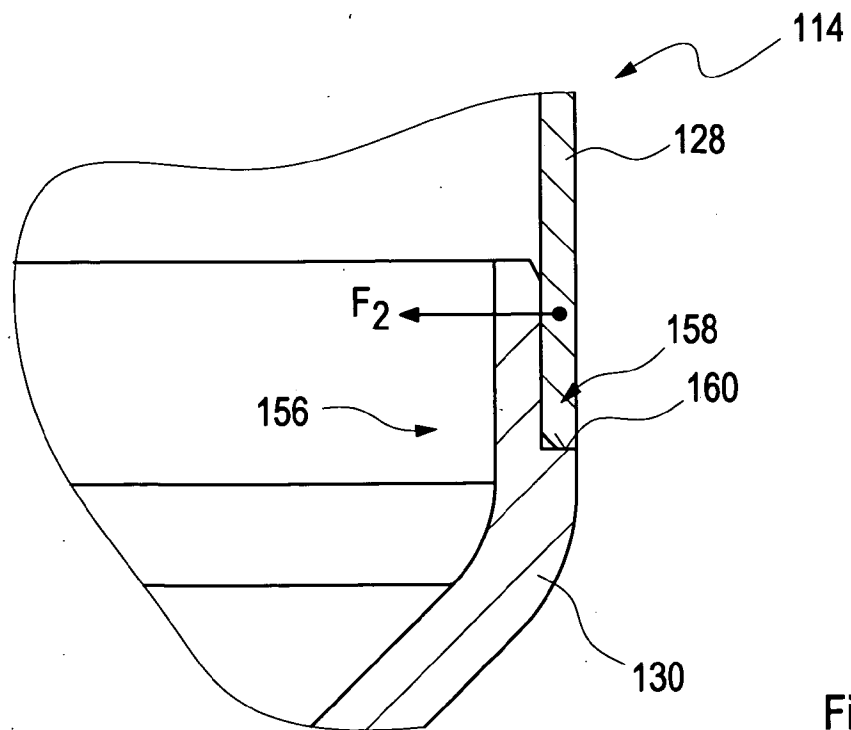


Fig. 3

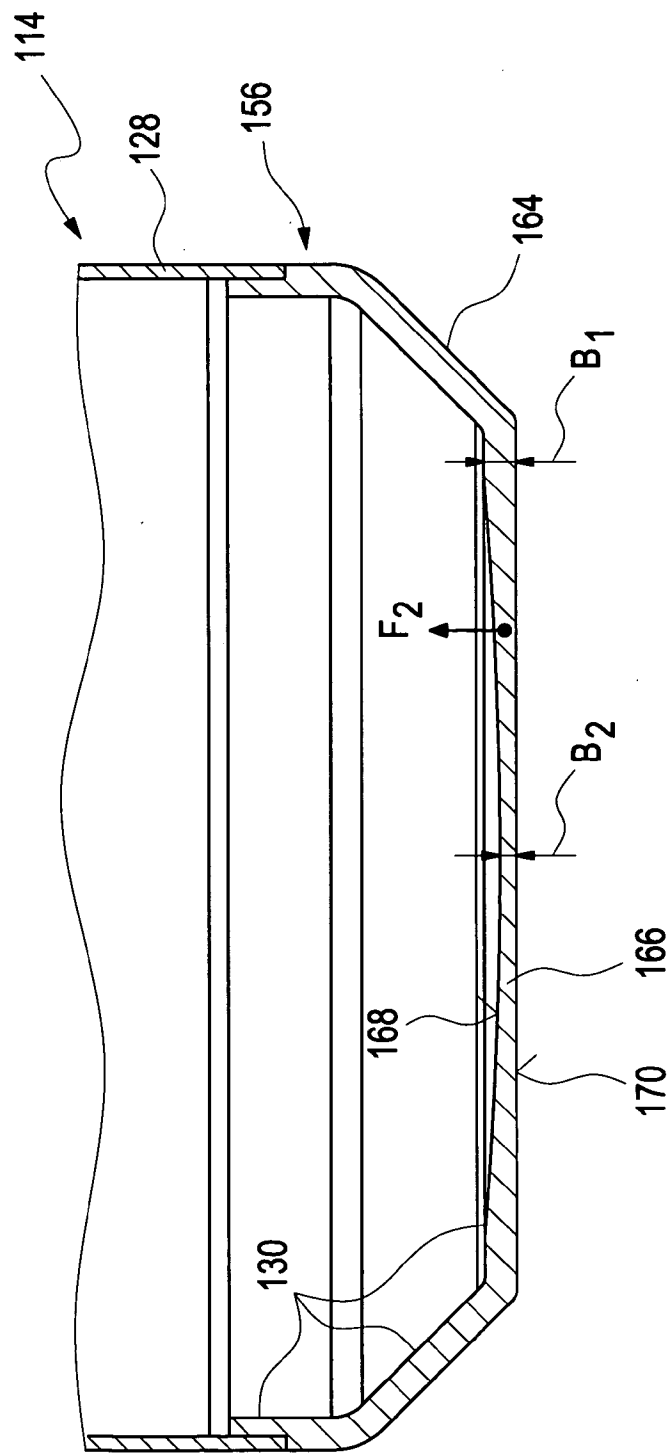


Fig. 4

4/6

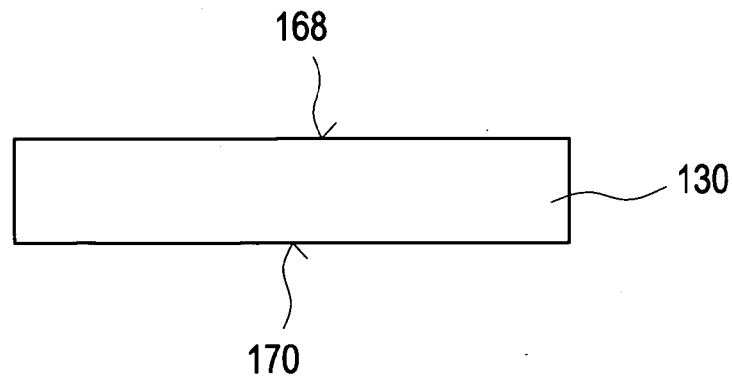


Fig. 5 A

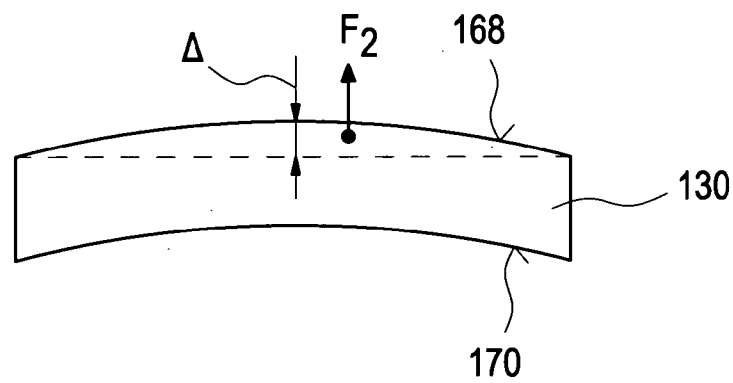


Fig. 5 B

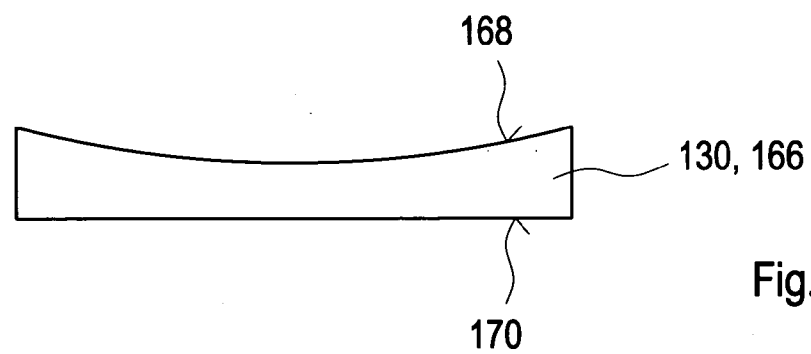


Fig. 6 A

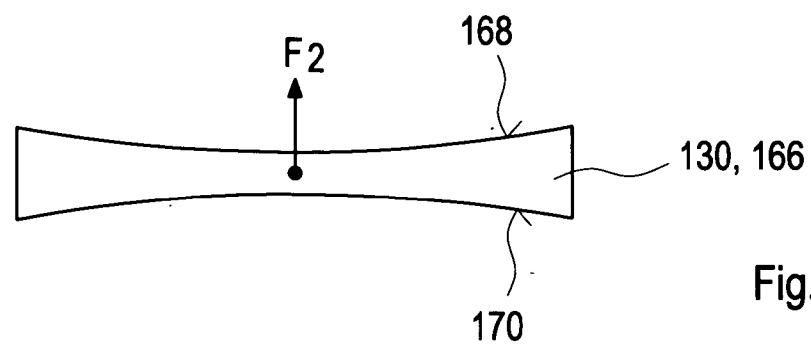
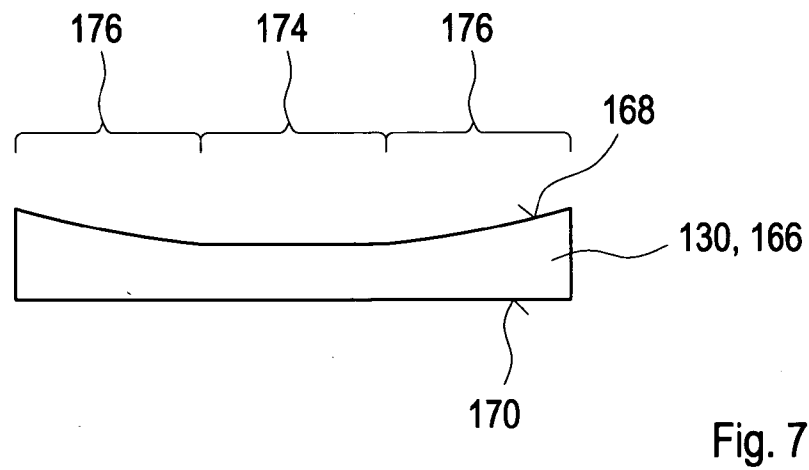
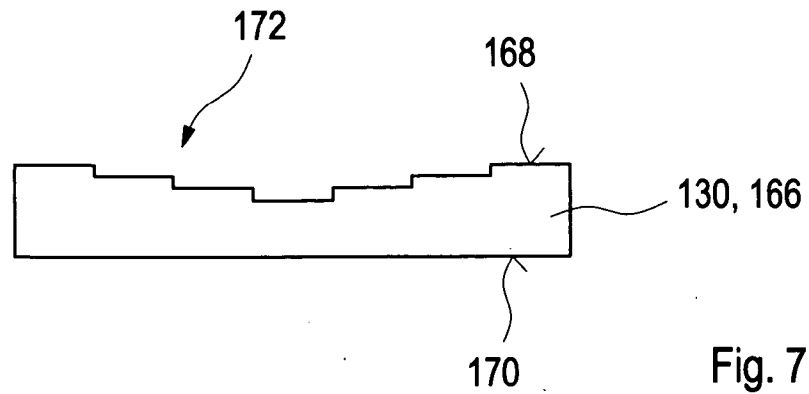


Fig. 6 B

5/6



6/6

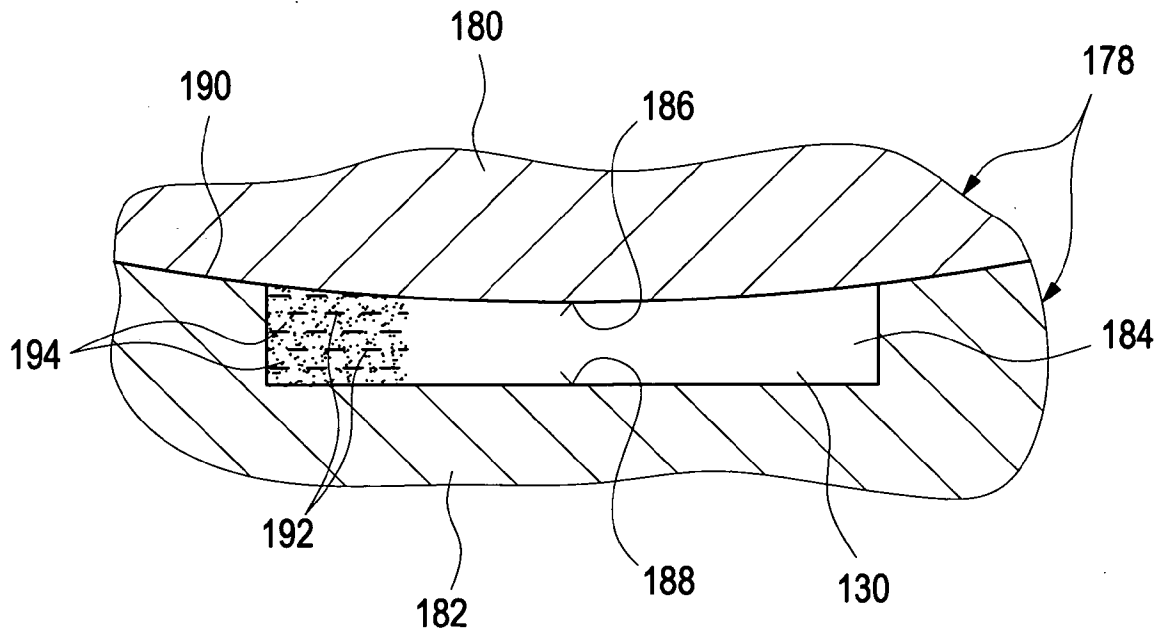


Fig. 8

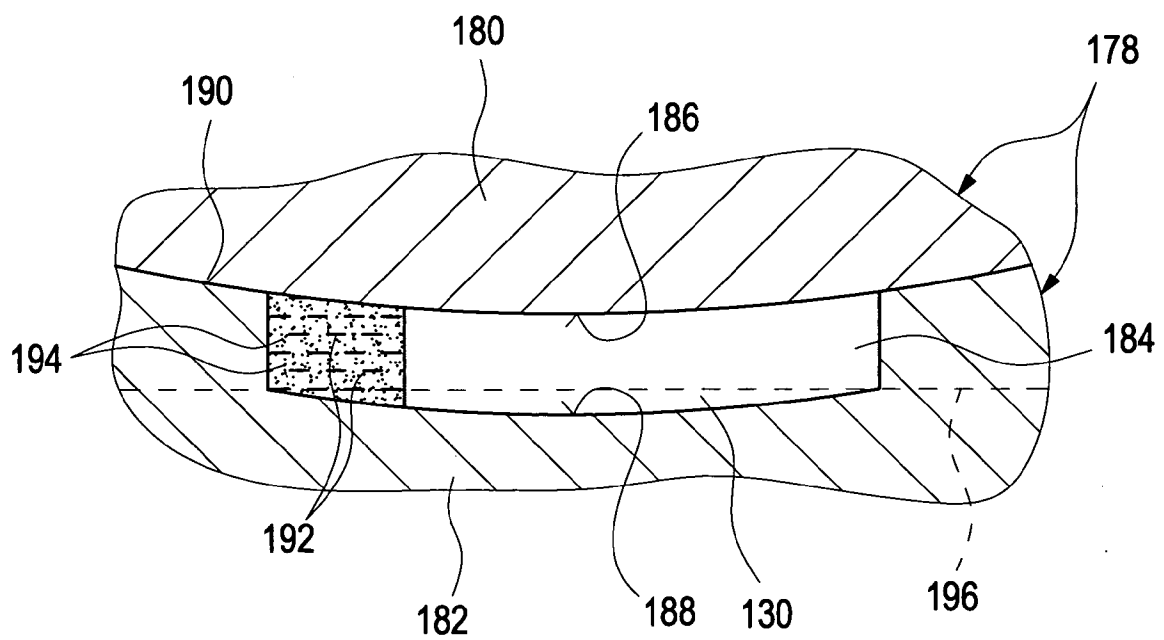


Fig. 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2008/008068

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. F17C3/08 F17C13/00

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)
 F17C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 195 44 593 A1 (MESSER GRIESHEIM GMBH [DE]; BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE] AIR LIQUI) 5 June 1997 (1997-06-05) column 3, line 4 - column 4, line 43; figure 2	1-15
A	DE 23 36 889 A1 (HOELL METALLWARENFAB KARL) 11 April 1974 (1974-04-11) page 4, paragraph 3 - page 6, paragraph 1	1-15
A	US 4 750 631 A (HASTINGS ROGER N [US] ET AL) 14 June 1988 (1988-06-14) column 2, line 11 - column 3, line 4	1-15
A	DE 101 48 586 C1 (HANS ZUCKER GMBH & CO KG [DE]) 5 December 2002 (2002-12-05) paragraph [0038] - paragraph [0043]	1-15

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *G* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

22 Oktober 2008

Date of mailing of the international search report

31/10/2008

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

Stängl, Gerhard

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2008/008068

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19544593	A1	05-06-1997	EP 0781958 A2	02-07-1997
DE 2336889	A1	11-04-1974	AT 322438 B CH 559676 A5	26-05-1975 14-03-1975
US 4750631	A	14-06-1988	NONE	
DE 10148586	C1	05-12-2002	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2008/008068

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. F17C3/08 F17C13/00

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
F17C

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 ÜNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 195 44 593 A1 (MESSER GRIESHEIM GMBH [DE]; BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE] AIR LIQUI) 5. Juni 1997 (1997-06-05) Spalte 3, Zeile 4 - Spalte 4, Zeile 43; Abbildung 2	1-15
A	DE 23 36 889 A1 (HOELL METALLWARENFAB KARL) 11. April 1974 (1974-04-11) Seite 4, Absatz 3 - Seite 6, Absatz 1	1-15
A	US 4 750 631 A (HASTINGS ROGER N [US] ET AL) 14. Juni 1988 (1988-06-14) Spalte 2, Zeile 11 - Spalte 3, Zeile 4	1-15
A	DE 101 48 586 C1 (HANS ZUCKER GMBH & CO KG [DE]) 5. Dezember 2002 (2002-12-05) Absatz [0038] - Absatz [0043]	1-15



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

g Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

22. Oktober 2008

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

31/10/2008

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

Stängl, Gerhard

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2008/008068

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
DE 19544593	A1	05-06-1997	EP	0781958 A2	02-07-1997
DE 2336889	A1	11-04-1974	AT	322438 B	26-05-1975
			CH	559676 A5	14-03-1975
US 4750631	A	14-06-1988	KEINE		
DE 10148586	C1	05-12-2002	KEINE		