



(10) **DE 10 2016 217 351 A1** 2018.03.15

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 217 351.0**

(22) Anmeldetag: **12.09.2016**

(43) Offenlegungstag: **15.03.2018**

(51) Int Cl.: **F02M 35/024 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**MAHLE International GmbH, 70376 Stuttgart, DE**

(74) Vertreter:  
**BRP Renaud und Partner mbB Rechtsanwälte  
Patentanwälte Steuerberater, 70173 Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:  
**Kaiser, Sven Alexander, 71336 Waiblingen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

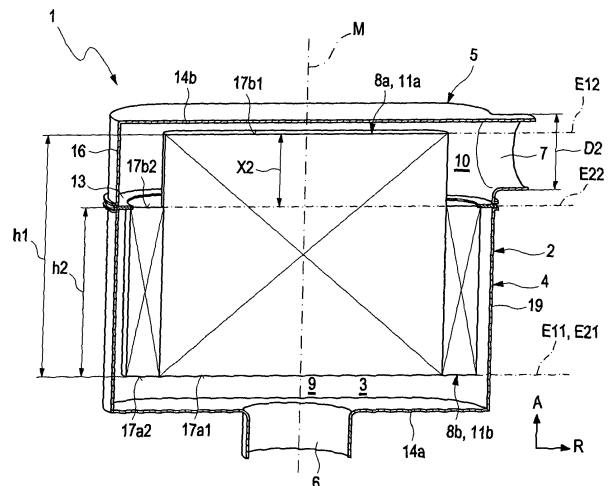
<b>US</b>	<b>2002 / 0 090 324</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2010 / 0 326 396</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>5 902 364</b>	<b>A</b>

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Filtereinrichtung, insbesondere Luftfilter, für eine Frischluftanlage einer Brennkraftmaschine**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Luftfiltereinrichtung (1) für eine Frischluftanlage einer Brennkraftmaschine. Die Luftfiltereinrichtung (1) umfasst ein Filtergehäuse (2), welches einen Gehäuseinnenraum (3) begrenzt und einen Gehäusetopf (4), einen Gehäusedecke (5), einen Reinlufteinlass (7) und einen Reinluftauslass (8) aufweist. Die Luftfiltereinrichtung (1) umfasst außerdem ein radial inneres und ein radial äußeres Wickelfilter (8a, 8b), die eine mit dem Rohlufteinlass (5) fluidisch verbundene Rohseite (9) von einer mit dem Reinluftauslass (6) fluidisch verbundenen Reinseite (10) trennen. Das radial innere Wickelfilter (8a) weist einen sich entlang einer axialen Richtung (A) erstreckenden zylindrischen inneren Filterkörper (11a) aus einem gewickelten Filtermedium auf. Das radial äußere Wickelfilter (8b) weist einen sich entlang der axialen Richtung (A) erstreckenden, ringförmigen äußeren Filterkörper (11b) aus einem gewickelten Filtermedium auf, welcher den inneren Filterkörper (11a) radial außen teilweise umhüllt. Der innere Filterkörper (11a) weist eine entlang der axialen Richtung (A) gemessene erste Bauhöhe (h1) auf, und der äußere Filterkörper (11b) weist eine entlang der axialen Richtung (A) gemessene zweite Bauhöhe (h2) auf, die von der ersten Bauhöhe (h1) verschieden ist.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Luftfiltereinrichtung für eine Frischluftanlage einer Brennkraftmaschine, sowie eine Frischluftanlage mit einer solchen Luftfiltereinrichtung.

**[0002]** Ein gattungsgemäßes Luftfilter ist beispielsweise aus der DE 27 567 51 A1 bekannt und umfasst ein Filtergehäuse, das einen Gehäusetopf, einen Gehäusedeckel, einen Lufteinlass zum Einleiten von Rohluft in das Filtergehäuse und einen Luftauslass zum Ausleiten der Reinluft aus dem Filtergehäuse aufweist. Ferner umfasst das Luftfilter ein Wickelfilter, das austauschbar im Filtergehäuse angeordnet ist und darin eine mit dem Rohlufteinlass fluidisch verbundene Rohseite von einer mit dem Reinluftauslass fluidisch verbundenen Reinseite trennt. Typischerweise sind am Filtergehäuse innenseitig Strömungselemente ausgeformt, welche das Strömungsverhalten der durch die Rohseite strömenden Rohluft, insbesondere unmittelbar nach dem Durchtritt durch den Rohlufteinlass, verbessern können.

**[0003]** Herkömmliche Filtereinrichtungen können zur Verbesserung der Filterwirkung nicht nur mit einem einzigen Filterelement, sondern mit zwei Filterelementen ausgestattet sein, wobei eines der beiden Filterelemente vom anderen Filterelement umhüllt wird.

**[0004]** Die vorliegende Erfindung beschäftigt sich mit dem Problem, für eine Luftfiltereinrichtung der eingangs genannten Art eine verbesserte Ausführungsform anzugeben, welche sich durch eine verbesserte Filterwirkung auszeichnet.

**[0005]** Diese Aufgabe wird durch den Gegenstand der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche.

**[0006]** Grundgedanke der Erfindung ist demnach, eine Luftfiltereinrichtung mit zwei Wickelfiltern auszustatten. Die beiden Wickelfilter werden jeweils durch ein gewickeltes Filtermedium mit wechselseitig verschlossenen Kanälen gebildet. Eines der beiden Wickelfilter, welches im Folgenden als „radial inneres Wickelfilter“ bezeichnet wird, besitzt die geometrische Formgebung eines Zylinders. Das andere der beiden Wickelfilter, welches im Folgenden als „radial äußeres Wickelfilter“ bezeichnet wird, besitzt die geometrische Formgebung eines Hohlzylinders. Das radial innere Wickelfilter ist erfindungsgemäß in dem hohlzylindrischen, radial äußeren Wickelfilter angeordnet. Mit anderen Worten, das radial äußere Wickelfilter wird teilweise, nämlich in der radialen Richtung des radial inneren Wickelfilters, vom radial äußeren Wickelfilter zumindest teilweise umhüllt. Das radial innere Wickelfilter ist dabei dichtend mit dem

radial äußeren Wickelfilter verbunden. Diese Verbindung kann direkt beispielsweise durch eine Verklebung der Filtermedien miteinander oder indirekt durch ein Zwischenstück gebildet sein. Hierbei kann das Zwischenstück auch einen Abstand der Wickelfilter zueinander überbrücken. Vorzugsweise ist das Zwischenstück mit der inneren Mantelfläche des äußeren Wickelfilters und mit der äußeren Mantelfläche des inneren Wickelfilters verklebt oder verschweißt.

**[0007]** Die beiden Wickelfilter weisen erfindungsgemäß entweder eine unterschiedliche axiale Bauhöhe auf oder sind entlang der axialen Richtung versetzt zueinander angeordnet. Möglich ist auch eine Kombination beider Varianten. Allen erfindungsgemäßen Varianten ist dabei gemeinsam, dass im Gehäuseinnenraum axial zumindest ein Bereich vorhanden ist, in welchem nur einer der beiden Filterkörper angeordnet ist, und zwar entweder im Bereich des Rohlufteinlasses oder des Reinluftauslasses oder in beiden Bereichen. Dies erlaubt eine verbesserte Einleitung der Rohluft in die Wickelfilter und eine verbesserte Ausleitung der Reinluft nach dem Durchströmen der Wickelfilter. Insbesondere kann die Rohluft rohseitig gleichmäßig im Gehäuseinnenraum verteilt werden, bevor sie auf die Wickelfilter wird. Nach dem Durchströmen der Wickelfilter wird ein reinseitiges Aufstauen der Reinluft im Gehäuseinnenraum verhindert. Eine erfindungsgemäße Realisierung der Filtereinrichtung erlaubt eine Minimierung des Bedarfs an Bauraum für die erfindungsgemäße Filtereinrichtung. Gleichzeitig kann die Filtereinrichtung flexibel an anwendungsspezifische Erfordernisse, etwa betreffend die Anordnung von Rohlufteinlass und Reinluftauslass, angepasst werden. Die Verwendung gleich zweier Wickelfilter erhöht dabei die mittels der Luftfiltereinrichtung erzielbare Filterwirkung.

**[0008]** Eine erfindungsgemäße Luftfiltereinrichtung für eine Frischluftanlage einer Brennkraftmaschine umfasst ein Filtergehäuse, welches einen Gehäuseinnenraum begrenzt und einen Gehäusetopf, einen Gehäusedeckel, einen Rohlufteinlass und einen Reinluftauslass aufweist. Die Luftfiltereinrichtung umfasst weiterhin ein radial inneres und ein radial äußeres Wickelfilter, die beide austauschbar im Gehäuseinnenraum angeordnet sind und im Gehäuseinnenraum eine mit dem Rohlufteinlass fluidisch verbundene Rohseite von einer mit dem Reinluftauslass fluidisch verbundenen Reinseite trennen. Das radial innere Wickelfilter weist einen sich entlang einer axialen Richtung erstreckenden zylindrischen inneren Filterkörper aus einem gewickelten Filtermedium auf. Entsprechend weist das radial äußere Wickelfilter einen sich entlang der axialen Richtung erstreckenden ringförmigen äußeren Filterkörper aus einem gewickelten Filtermedium auf. Die Filtermedien der beiden Filterkörper können verschieden oder identisch sein.

**[0009]** Erfindungsgemäß weist der innere Filterkörper beginnend bei einer ersten inneren Ebene und endend bei einer zweiten inneren Ebene eine sich entlang der axialen Richtung gemessene erste Bauhöhe auf. Der äußere Filterkörper weist beginnend bei einer ersten äußeren Ebene und endend bei einer zweiten äußeren Ebene eine sich entlang der axialen Richtung gemessene zweite Bauhöhe auf. Die besagten Ebenen erstrecken sich senkrecht zur axialen Richtung.

**[0010]** Erfindungsgemäß ist die axiale Position der ersten inneren Ebene von der axialen Position der ersten äußeren Ebene verschieden. Alternativ oder zusätzlich ist die axiale Position der zweiten inneren Ebene von der axialen Position der zweiten äußeren Ebene. Auf diese Weise wird die erfindungswesentliche Anordnung der beiden Filterkörper mit unterschiedlichen axialen Bauhöhen und/oder axial versetzt zueinander realisiert. Dadurch steht gegenüber herkömmlichen zweistufigen Wickelfiltern mit identischer Filterhöhe und axial nicht zueinander versetzten Filterkörpern eine vergrößerte Filterfläche zur Verfügung, wodurch ein verbesserter Filtereffekt erzielt wird.

**[0011]** Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist die zweite Bauhöhe von der ersten Bauhöhe verschieden. Bei einer dazu alternativen, ebenfalls bevorzugten Ausführungsform ist die zweite Bauhöhe gleich der ersten Bauhöhe, wobei die beiden Filterkörper axial versetzt zueinander angeordnet sind.

**[0012]** Bei einer vorteilhaften Weiterbildung steht am radial äußeren Filterkörper von dessen Mantelfläche im Bereich seiner Stirnseite eine radial nach außen weisende umlaufende Endscheibe ab, welche am Filtergehäuse befestigt ist. Alternativ kann auch ein axial und oder radial abstehender, hülsenförmiger Dichtungshalter angeordnet sein, der die Filterelemente im Filtergehäuse positioniert und abdichtet. Diese Maßnahme erleichtert eine einfache Montage beider Wickelfilter am Filtergehäuse.

**[0013]** Besonders bevorzugt kann die Endscheibe einen Befestigungsabschnitt aufweisen, der in einer vom Gehäusetopf und vom Gehäusedeckel gemeinsam gebildeten Aufnahme aufgenommen ist. Alternativ kann der Befestigungsabschnitt auch nur in einem der beiden Gehäuseteile aufgenommen sein.

**[0014]** Bei einer vorteilhaften Weiterbildung umfasst der Befestigungsabschnitt ein in der Aufnahme aufgenommenes Dichtungselement, mittels welchem die Rohseite gegen die Reinseite des Gehäuseinnenraums abgedichtet ist. Die genannten Maßnahmen erlauben eine einfache, gleichwohl mechanisch stabile Befestigung der beiden Wickelfilter am Filtergehäuse. Dies wirkt sich vorteilhaft auf die Herstellungskosten der Luftfiltereinrichtung aus.

**[0015]** Bei einer anderen vorteilhaften Weiterbildung ist der Rohlufteinlass oder der Reinluftauslass in einer Umfangswand des Gehäusedeckels angeordnet. Der Reinluftauslass bzw. der Rohlufteinlass ist hingegen in einer Stirnwand des Gehäusetopfs angeordnet. Diese Variante ermöglicht eine vorteilhafte, seitliche Ausströmung der Reinluft aus dem Gehäuseinnenraum.

**[0016]** Bei einer anderen vorteilhaften Weiterbildung sind der Rohlufteinlass und der Reinluftauslass in einander gegenüberliegenden Stirnwänden von Gehäusedeckel und Gehäusetopf angeordnet. Diese Variante erlaubt eine vorteilhafte axiale Einleitung der Rohluft in die Rohseite.

**[0017]** Bei einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung können der Rohlufteinlass in einer Umfangswand des Gehäusetopfs und der Reinluftauslass in einer Umfangswand des Gehäusedeckels angeordnet sein, oder umgekehrt.

**[0018]** Besonders bevorzugt sind die dem Gehäusetopf zugewandten Stirnseiten des inneren und des äußeren Filterkörpers bündig zueinander im Gehäuseinnenraum angeordnet. Alternativ dazu können die dem Gehäusedeckel zugewandten Stirnseiten des inneren und des äußeren Filterkörpers bündig zueinander im Gehäuseinnenraum angeordnet sein.

**[0019]** Bei einer vorteilhaften Weiterbildung ist zwischen dem inneren Filterkörper und dem Gehäusedeckel ein Stabilisierungselement angeordnet, welches sich axial einseitig am Gehäusedeckel und andererseits am inneren oder am äußeren Filterkörper abstützt. Mittels eines solchen Stabilisierungselements können unerwünschte Bewegungen der beiden Filterkörper in axialer Richtung verhindert werden.

**[0020]** Zweckmäßig besitzt besagtes Stabilisierungselement je nach Ausbildung und Anordnung der beiden Wickelfilter im Gehäuseinnenraum eine zylindrische, eine ringförmige oder eine ringsegmentförmige Geometrie. In allen drei Fällen lässt sich das Stabilisierungselement besonders einfach in den Gehäuseinnenraum einpassen.

**[0021]** Bei einer anderen bevorzugten Ausführungsform weisen die beiden Filterkörper in einem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung eine ovale oder eine kreisrunde Geometrie auf.

**[0022]** Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform gilt für den axialen Abstand  $X_1$  zwischen der ersten inneren Ebene und der ersten äußeren Ebene und dem Durchmesser  $D_1$  des Rohlufteinlasses mit kreisrunder Geometrie folgende Beziehung:  $X_1 \geq 0,2 \cdot D_1$ . Experimentelle Untersuchungen haben gezeigt, dass auf diese Weise sichergestellt werden

kann, dass zwischen nach Eintritt der Rohluft durch den Rohlufteinlass in den Gehäuseinnenraum ausreichend Volumen zur Verfügung steht, um in der Rohseite eine gleichmäßige Verteilung der Rohluft vor dem Durchströmen der Filterkörper sicherzustellen. Auf diese Weise wird eine gleichmäßige Belastung der Filterkörper beim Durchströmen mit der Rohluft sichergestellt. Alternativ oder zusätzlich gilt bei dieser Variante für den axialen Abstand  $X_2$  zwischen der zweiten inneren Ebene und der zweiten äußeren Ebene und dem Durchmesser  $D_2$  des Rohluftauslasses mit kreisrunder Geometrie folgende Beziehung:  $X_2 \geq 0,2 \cdot D_2$ . Experimentelle Untersuchungen haben ergeben, dass auf diese Weise für die Reinluft nach dem Durchströmen der Filterkörper im Gehäuseinnenraum ausreichend Volumen zur Verfügung steht, um ein Aufstauen der Luftmasse vor dem Austritt durch den Reinluftauslass zu verhindern.

**[0023]** Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform gilt für den axialen Abstand  $X_1$  zwischen der ersten inneren Ebene und der ersten äußeren Ebene und der Querschnittsfläche des Rohlufteinlasses mit beliebiger Geometrie folgende Beziehung:  $X_1 \geq 0,2 \cdot (4 \cdot Y_1 / \pi)^{0,5}$ . Experimentelle Untersuchungen haben gezeigt, dass auf diese Weise sichergestellt werden kann, dass zwischen nach Eintritt der Rohluft durch den Rohlufteinlass in den Gehäuseinnenraum ausreichend Volumen zur Verfügung steht, um eine gleichmäßige Verteilung der Rohluft vor dem Durchströmen der Filterkörper in der Rohseite sicherzustellen. Alternativ oder zusätzlich gilt bei dieser Variante für den axialen Abstand  $X_2$  zwischen der zweiten inneren Ebene und der zweiten äußeren Ebene und der Querschnittsfläche  $Y_2$  des Rohluftauslasses mit beliebiger Geometrie folgende Beziehung:  $X_2 \geq 0,2 \cdot (4 \cdot Y_2 / \pi)^{0,5}$ . Experimentelle Untersuchungen haben ergeben, dass auf diese Weise für die Reinluft nach dem Durchströmen der Filterkörper im Gehäuseinnenraum ausreichend Volumen zur Verfügung steht, um ein einseitiges Aufstauen der Luftmasse vor dem Austritt zu verhindern.

**[0024]** Die Erfindung betrifft ferner eine Frischluftanlage für eine Brennkraftmaschine mit einer vorangehend vorgestellten Luftfiltereinrichtung. Die voranstehend erläuterten Vorteile der erfindungsgemäßen Luftfiltereinrichtung übertragen sich daher auch auf die erfindungsgemäße Frischluftanlage.

**[0025]** Weitere wichtige Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, aus den Zeichnungen und aus der zugehörigen Figurenbeschreibung anhand der Zeichnungen.

**[0026]** Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen

oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

**[0027]** Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

**[0028]** Es zeigen, jeweils schematisch:

**[0029]** Fig. 1–Fig. 9 unterschiedliche Ausführungsbeispiele einer erfindungsgemäßen Luftfiltereinrichtung,

**[0030]** Fig. 10–Fig. 12 Weiterbildungen der Luftfiltereinrichtung der Fig. 1 bis Fig. 9 mit einem Stabilisierungselement zum Stabilisieren der Befestigung der Filterkörper im Filtergehäuse.

**[0031]** Die Fig. 1 zeigt in Beispiel einer erfindungsgemäßen Luftfiltereinrichtung **1** für eine Frischluftanlage einer Brennkraftmaschine in einer Schnittdarstellung. Die Luftfiltereinrichtung **1** umfasst ein Filtergehäuse **2**, welches einen Gehäuseinnenraum **3** begrenzt. Das Filtergehäuse **2** umfasst außerdem einen Gehäusetopf **4**, einen Gehäusedeckel **5**, einen Rohlufteinlass **6** sowie einen Reinluftauslass **7**.

**[0032]** Die Luftfiltereinrichtung **1** umfasst außerdem ein radial inneres Wickelfilter **8a** und ein radial äußeres Wickelfilter **8b**. Beide Wickelfilter **8a**, **8b** sind durch ein gewickeltes Filtermedium mit wechselseitig geschlossenen Kanälen gebildet, was in den Figuren aus Gründen der Übersichtlichkeit halber nicht genauer dargestellt ist. Beide Wickelfilter **8a**, **8b** sind austauschbar im Gehäuseinnenraum **3** angeordnet. Die beiden Wickelfilter **8a**, **8b** trennen eine mit dem Rohlufteinlass **6** fluidisch verbundene Rohseite **9** von einer mit dem Reinluftauslass **7** fluidisch verbundenen Reinseite **10**.

**[0033]** Entsprechend Fig. 1 weist das radial innere Wickelfilter **8a** einen sich entlang einer axialen Richtung **A** erstreckenden zylindrischen inneren Filterkörper **11a** aus dem gewickelten Filtermedium auf. Eine erste Stirnseite **17a1** des radial inneren Wickelfilters **8a** ist dem Gehäusetopf **4** zugewandt. Eine zweite Stirnseite **17b1** des radial inneren Wickelfilters **8a** ist dem Gehäusedeckel **5** zugewandt. Gemäß Fig. 1 weist das radial äußere Wickelfilter **8b** einen sich entlang der axialen Richtung **A** erstreckenden ringförmigen äußeren Filterkörper **11b** aus dem gewickelten Filtermedium auf. Eine erste Stirnseite **17a2** des radial äußeren Wickelfilters **8b** ist dem Gehäusetopf **4** zugewandt. Eine zweite Stirnseite **17b2** des radial äußeren Wickelfilters **8b** ist dem Gehäusedeckel **5** zugewandt.

**[0034]** Die axiale Richtung **A** der Luftfiltereinrichtung **1** ist dabei durch eine Längsmittelachse **M** des Filtergehäuses **2** definiert. Die axiale Richtung **A** erstreckt

sich parallel zur Längsmittelachse M. Eine radiale Richtung R steht senkrecht zur axialen Richtung A. Eine Umfangsrichtung U rotiert um die Längsmittelachse M um. Die gewickelten Filtermedien der beiden Filterkörper **11a**, **11b** können identisch oder verschieden sein. Die beiden Filterkörper **11a**, **11b** können koaxial zueinander im Gehäuseinnenraum **3** angeordnet sein.

**[0035]** Zur Verdeutlichung sind in **Fig. 2** die beiden Wickelfilter **8a**, **8b** bzw. die beiden Filterkörper **11a**, **11b** ohne das Filtergehäuse **2** in perspektivischer Darstellung gezeigt. Wie die **Fig. 1** und **Fig. 2** erkennen lassen, steht am äußeren Filterkörper **11b** von dessen Mantelfläche im Bereich der dem Gehäusedeckel **5** zugewandten Stirnseite **17b** radial nach außen eine umlaufende Endscheibe **13** ab, welche am Filtergehäuse **2** befestigt ist. Auf diese Weise können die beiden Filterkörper **11a**, **11b** am Filtergehäuse **2** gehalten werden.

**[0036]** Im Beispiel der **Fig. 1** – wie auch in allen anderen noch zu diskutierenden Beispielen weist der innere Filterkörper **11a** beginnend bei einer ersten inneren Ebene E11 und endend bei einer zweiten inneren Ebene E12 eine entlang der axialen Richtung A gemessene erste Bauhöhe h1 auf. Der äußere Filterkörper **11b** weist beginnend bei einer ersten äußeren Ebene E21 und endend bei einer zweiten äußeren Ebene E22 eine entlang der axialen Richtung A gemessene zweite Bauhöhe h2 auf. Die besagten Ebenen E11, E12, E21, E22 erstrecken sich quer zur axialen Richtung A. Die axialen Positionen der Ebenen E11, E12, E21, E22 werden durch die axialen Positionen der ersten bzw. zweiten Stirnseite **17a1**, **17b1** des radial inneren Wickelfilters **8a** bzw. der ersten bzw. zweiten Stirnseite **17a2**, **17b2** des radial äußeren Wickelfilters **8b** definiert.

**[0037]** Im Beispiel gemäß **Fig. 1** ist die axiale Position der zweiten inneren Ebene E12 von der axialen Position der zweiten äußeren Ebene E22 verschieden. Die axialen Positionen der ersten inneren Ebene E11 und der ersten äußeren Ebene E21 sind hingegen identisch. Die zweite Bauhöhe h2 ist von der ersten Bauhöhe h1 verschieden. Im Beispiel der **Fig. 1** weist die erste Bauhöhe h1 einen größeren Wert auf als die zweite Bauhöhe h2.

**[0038]** Im Beispiel der **Fig. 1** und **Fig. 2** weisen die beiden Filterkörper **11a**, **11b** sowie das Filtergehäuse **2** in einem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung A eine ovale Geometrie auf. Möglich ist aber auch eine kreisrunde Geometrie (nicht gezeigt).

**[0039]** Der Rohlufteinlass **6** ist in einer Stirnwand **14a** des Gehäusetopfs **4** angeordnet. Der Reinluftauslass **7** ist in einer Umfangswand **16** des Gehäusedeckels **5** angeordnet. Die beiden dem Gehäusetopf **4** zugewandten Stirnseiten **17a1**, **17a2** des inneren

und des äußeren Filterkörpers **11a**, **11b** sind bündig zueinander im Gehäuseinnenraum **3** angeordnet.

**[0040]** Die Luftfiltereinrichtung **1** gemäß den **Fig. 1** und **Fig. 2** erlaubt eine überwiegend axiale Durchströmung der beiden Filterkörper **11a**, **11b**, ein axiales Einleiten der Rohluft in den Gehäuseinnenraum **3** sowie ein Ausleiten der Reinluft aus dem Gehäuseinnenraum **3** entlang der radialen Richtung R. Der Rohlufteinlass **6** und Der Reinluftauslass **7** können bzgl. ihrer Anordnung im Gehäusetopf **4** bzw. im Gehäusedeckel **5** vertauscht sein.

**[0041]** Die **Fig. 3** und **Fig. 4** zeigen eine Variante des Beispiels der **Fig. 1** und **Fig. 2**. Die **Fig. 3** zeigt die Luftfiltereinrichtung **1** ohne Filtergehäuse **2**, die **Fig. 4** mit Filtergehäuse **2**. Auch im Beispiel der **Fig. 3** und **Fig. 4** weisen die beiden Filterkörper **11a**, **11b** sowie das Filtergehäuse **2** im Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung A eine ovale Geometrie auf. Möglich ist aber auch eine kreisrunde Geometrie (nicht gezeigt). Im Beispiel der **Fig. 3** bzw. **Fig. 4** ist die axiale Position der ersten inneren Ebene E11 von der axialen Position der ersten äußeren Ebene E21 verschieden. Die axialen Positionen der zweiten inneren Ebene E12 und der zweiten äußeren Ebene E22 sind hingegen identisch. Des Weiteren weist die erste Bauhöhe h1 des inneren Filterkörpers **11a** einen größeren Wert auf als die zweite Bauhöhe h2 des äußeren Filterkörpers **11b**. Im Gegensatz zum Beispiel der **Fig. 1** und **Fig. 2** sind bei der Luftfiltereinrichtung **1** gemäß den **Fig. 3** und **Fig. 4** die dem Gehäusedeckel **5** zugewandten Stirnseiten **17b1**, **17b2** des ersten und des zweiten Filterkörpers **11a**, **11b** bündig zueinander im Gehäuseinnenraum **3** angeordnet. Der Rohlufteinlass **6** ist in einer Umfangswand **19** des Gehäusetopfs **4** angeordnet. Außerdem ist der Reinluftauslass **7** in einer Stirnwand **14b** des Gehäusedeckels **5** angeordnet. Bei der Luftfiltereinrichtung **1** gemäß den **Fig. 3** bzw. **Fig. 4** ist eine radiale Einströmung der Rohluft und eine axiale Ausströmung der Reinluft möglich. Der Rohlufteinlass **6** und der Reinluftauslass **7** können bzgl. ihrer Anordnung im Gehäusetopf **4** bzw. im Gehäusedeckel **5** vertauscht sein.

**[0042]** Die **Fig. 5** bis **Fig. 8** zeigen drei weitere Varianten der Luftfiltereinrichtung **1**, deren Filterkörper **11a**, **11b** sich hinsichtlich ihrer axialen Bauhöhen h1, h2 und ihrer Relativpositionen zueinander entlang der axialen Richtung A voneinander unterscheiden. Die **Fig. 5**, **Fig. 6** und **Fig. 7** zeigen jeweils nur die beiden Wickelfilter **8a** **8b** bzw. Filterkörper **11a**, **11b** ohne das Filtergehäuse **2**. Die **Fig. 8** zeigt die Anordnung der **Fig. 7** mit dem Filtergehäuse **2**.

**[0043]** Im Beispiel gemäß **Fig. 5** ist die axiale Position der zweiten inneren Ebene E12 von der axialen Position der zweiten äußeren Ebene E22 verschieden. Die axialen Positionen der ersten inneren Ebene E11 und der ersten äußeren Ebene E21 sind hinge-

gen identisch. Im Beispiel der **Fig. 5** weist die zweite Bauhöhe  $h_2$  des äußeren Filterkörpers **11b** einen größeren Wert auf als die erste Bauhöhe  $h_1$  des inneren Filterkörpers **11a**. Die dem Gehäusetopf **4** zugewandten Stirnseiten **17a1**, **17a2** des inneren und des äußeren Filterkörpers **11a**, **11b** sind bündig zueinander im Gehäuseinnenraum **3** angeordnet (der Gehäusetopf **4** ist in **Fig. 5** der Übersichtlichkeit halber nicht gezeigt). Entsprechend sind die dem Gehäusedeckel **5** zugewandten Stirnseiten **17b** des inneren und des äußeren Filterkörpers **11a**, **11b** axial versetzt zueinander angeordnet.

**[0044]** Im Beispiel der **Fig. 6** ist die axiale Position der ersten inneren Ebene  $E_{11}$  von der axialen Position der ersten äußeren Ebene  $E_{21}$  verschieden. Die axialen Positionen der zweiten inneren Ebene  $E_{12}$  und der zweiten äußeren Ebene  $E_{22}$  sind hingegen identisch. Auch im Beispiel der **Fig. 6** weist die zweite Bauhöhe  $h_2$  des äußeren Filterkörpers **11b** einen größeren Wert auf als die erste Bauhöhe  $h_1$  des inneren Filterkörpers **11a**. Die dem Gehäusedeckel **5** zugewandten Stirnseiten **17b1**, **17b2** des inneren und des äußeren Filterkörpers **11a**, **11b** sind bündig zueinander im Gehäuseinnenraum **3** angeordnet (der Gehäusedeckel **5** ist in **Fig. 6** der Übersichtlichkeit halber nicht gezeigt). Entsprechend sind die dem Gehäusetopf **4** zugewandten Stirnseiten **17a** des inneren und des äußeren Filterkörpers **11a**, **11b** axial versetzt zueinander angeordnet.

**[0045]** Beim Beispiel der **Fig. 7** weist die erste Bauhöhe  $h_1$  des inneren Filterkörpers **11a** einen größeren Wert auf als die zweite Bauhöhe  $h_2$  des äußeren Filterkörpers **11b**. Sowohl die ersten Stirnseiten **17a1**, **17a2** der beiden Filterkörper **11a**, **11b** als auch die den Stirnseiten **17a1**, **17a2** axial gegenüberliegenden Stirnseiten **17b1**, **17b2** sind axial versetzt zueinander angeordnet, so dass der äußere Filterkörper **11b** den inneren Filterkörper **11a** entlang der axialen Richtung  $A$  vollständig umhüllt. Folglich sind bei der Luftfiltereinrichtung **1** der **Fig. 7** die axialen Positionen aller vier Ebenen, also der ersten inneren Ebene  $E_{11}$ , der ersten äußeren Ebene  $E_{21}$ , der zweiten inneren Ebene  $E_{12}$  und der zweiten äußeren Ebene  $E_{22}$  verschieden. Besonders bevorzugt kann der innere Filterkörper **11a** bzgl. der axialen Richtung  $A$  mittig zum äußeren Filterkörper **11b** angeordnet sein. Diese Variante erweist sich als besonders vorteilhaft, wenn die Rohluft in radialer Richtung  $R$  in den Gehäuseinnenraum **3** eingeleitet und auch in radialer Richtung  $R$  wieder aus dem Gehäuseinnenraum **3** ausgeleitet werden soll.

**[0046]** Dies verdeutlicht die **Fig. 8**, welche der Darstellung der **Fig. 7** um das Filtergehäuse **2** ergänzt entspricht. Wie **Fig. 8** erkennen lässt, sind der Rohlufteinlass **6** in der Umfangswand **19** des Gehäusetopfs **4** und der Reinluftauslass **7** in der Umfangswand **16** des Gehäusedeckels **5** angeordnet. Der

Rohlufteinlass **6** und der Reinluftauslass **7** sind in einem jeweiligen axialen Bereich im Filtergehäuse **2** angeordnet, in welchen sich der innere Filterkörper **11a** erstreckt, nicht aber der äußere Filterkörper **11b**. Dies ermöglicht eine wirksame Einleitung der Rohluft in die Rohseite **9** bzw. der Reinluft aus der Reinseite **10**.

**[0047]** In der **Fig. 8** ist auch ein axialer Abstand  $X_1$  zwischen der ersten inneren Ebene  $E_{11}$  und der ersten äußeren Ebene  $E_{21}$  vermerkt. Für den Abstand  $X_1$  und den Durchmesser  $D_1$  des Rohlufteinlasses **6** mit kreisrunder Geometrie folgende Beziehung:  $X_1 \geq 0,2 \cdot D_1$ . Experimentelle Untersuchungen haben gezeigt, dass auf diese Weise sichergestellt werden kann, dass zwischen nach Eintritt der Rohluft durch den Rohlufteinlass **6** in den Gehäuseinnenraum **3** ausreichend Volumen zur Verfügung steht, um eine gleichmäßige Verteilung der Rohluft vor dem Durchströmen der Filterkörper **11a**, **11b** in der Rohseite **9** sicherzustellen. Auf diese Weise wird eine gleichmäßige Belastung der Filterkörper **11a**, **11b** beim Durchströmen mit der Rohluft sichergestellt. Besitzt der Rohlufteinlass **6** keine kreisrunde Geometrie, so dass eine Querschnittsfläche des Rohlufteinlasses **6** beliebige Geometrie aufweist, so ändert sich obiger Zusammenhang zu  $X_1 \geq 0,2 \cdot (4 \cdot Y_1 / \pi)^{0,5}$ . Dabei ist  $Y_1$  die Querschnittsfläche des Rohlufteinlasses **6**.

**[0048]** In der **Fig. 8** ist außerdem ein axialer Abstand  $X_2$  zwischen der zweiten inneren Ebene  $E_{12}$  und der zweiten äußeren Ebene  $E_{22}$  vermerkt. Für den axialen Abstand  $X_2$  zwischen der zweiten inneren Ebene  $E_{12}$  und der zweiten äußeren Ebene  $E_{22}$  und den Durchmesser  $D_2$  des Reinluftauslasses **7** mit kreisrunder Geometrie folgende Beziehung:  $X_2 \geq 0,2 \cdot D_2$ . Experimentelle Untersuchungen haben ergeben, dass auf diese Weise für die Reinluft nach dem Durchströmen der Filterkörper im Gehäuseinnenraum **3** ausreichend Volumen zur Verfügung steht, um ein Aufstauen der Luftmasse vor dem Austritt durch den Reinluftauslass **7** zu verhindern. Besitzt der Reinluftauslass **7** keine kreisrunde Geometrie, so dass eine Querschnittsfläche des Reinluftauslasses **7** eine beliebige Geometrie aufweist, so ändert sich obiger Zusammenhang zu  $X_2 \geq 0,2 \cdot (4 \cdot Y_2 / \pi)^{0,5}$ . Dabei ist  $Y_2$  die Querschnittsfläche des Reinluftauslasses **7**. Obige Beziehungen gelten selbstredend nicht nur für das Beispiel der **Fig. 8**, sondern, soweit sinnvoll, auch für die anderen vorliegend erläuterten und noch zu erläuternden Beispiele. Insbesondere gelten obige Zusammenhänge für diejenigen Varianten, in welchen Rohlufteinlass **6** bzw. Rohlufteinlass **7** umfangsseitig im Filtergehäuse **2** angeordnet sind.

**[0049]** Beim Beispiel der **Fig. 9** weist die zweite Bauhöhe  $h_2$  des äußeren Filterkörpers **11b** einen größeren Wert auf als die erste Bauhöhe  $h_1$  des inneren Filterkörpers **11a**. Sowohl die ersten Stirnseiten **17a1**, **17a2** der beiden Filterkörper **11a**, **11b** als auch die

den Stirnseiten **17a1**, **17a2** axial gegenüberliegenden Stirnseiten **17b1**, **17b2** sind axial versetzt zueinander angeordnet, so dass der äußere Filterkörper **11b** den inneren Filterkörper **11a** entlang der axialen Richtung A vollständig umhüllt. Somit sind auch bei der Luftfiltereinrichtung **1** der **Fig. 9** die axialen Positionen aller vier Ebenen, also der ersten inneren Ebene E11, der ersten äußeren Ebene E21, der zweiten inneren Ebene E12 und der zweiten äußeren Ebene E22 verschieden. Besonders bevorzugt kann der innere Filterkörper **11a** bzgl. der axialen Richtung A mittig zum äußeren Filterkörper **11b** angeordnet sein. Diese Variante erweist sich als besonders vorteilhaft, wenn die Rohluft in axialer Richtung A in den Gehäuseinnenraum **3** eingeleitet und auch in axialer Richtung A wieder aus dem Gehäuseinnenraum **3** ausgeleitet werden soll. Auf diese Weise werden zwischen den beiden Filterkörpern **11a**, **11b** und dem Gehäusestopf **4** bzw. dem Gehäusedeckel **5** jeweils eine Verteilerzone **15a** zum Verteilen der in die Rohseite **9** eingebrachten Rohluft auf die Filterkörper **11a**, **11b** sowie eine Sammlerzone **15b** zum Sammeln der gefilterten Reinluft vor dem Ausleiten aus der Reinseite **10** gebildet.

**[0050]** Die **Fig. 10** illustriert eine Weiterbildung der Luftfiltereinrichtung **1**. Bei der Luftfiltereinrichtung **1** gemäß **Fig. 10** ist axial zwischen dem inneren Filterkörper **11a** und dem Gehäusedeckel **5** ein Stabilisierungselement **20** angeordnet, welches keinen nennenswerten Druckwiderstand für die Luft bildet. Beispielsweise kann dieses Stabilisierungselement eine grobe Gitterstruktur aufweisen. Dabei weist die zweite Bauhöhe  $h_2$  des radial äußeren Filterkörpers **11b** einen größeren Wert auf als die erste Bauhöhe  $h_1$  des inneren Filterkörpers **11a**. Das Stabilisierungselement **20** kann sich somit axial am Gehäusedeckel **5** und am radial inneren Filterkörper **11a** abstützen. Das Stabilisierungselement **20** wird radial außen vom äußeren Filterkörper **11b** eingefasst. Das Stabilisierungselement **20** kann beispielsweise mittels einer Klebverbindung dauerhaft am Gehäusedeckel **5** fixiert sein. Mittels des Stabilisierungselements **20** kann der radial innere Filterkörper **11a** hinsichtlich unerwünschter axialer Relativbewegungen gegenüber dem Filtergehäuse **2** stabilisiert werden. Im Beispiel der **Fig. 10** besitzt das Stabilisierungselement **20** die geometrische Formgebung eines ovalen Zylinders.

**[0051]** Alternativ zu dem Stabilisierungselement kann auch ein Sicherheitselement vorgesehen werden, welches im Falle des Filterwechsels oder falls der Wickelfilter beschädigt ist, verhindert, dass Verunreinigungen in den Reinluftauslass gelangen.

**[0052]** Die **Fig. 11** zeigt eine alternative Variante des Beispiels der **Fig. 10**. Im Beispiel der **Fig. 11** weist die erste Bauhöhe  $h_1$  des inneren Filterkörpers **11a** einen größeren Wert auf als die zweite Bauhöhe  $h_2$  des ä-

ßeren Filterkörpers **11b**. Das Stabilisierungselement **20** stützt sich axial einseitig am Gehäusedeckel **5** und andererseits am äußeren Filterkörper **11b** ab. Das Stabilisierungselement **20** besitzt eine ringförmige geometrische Formgebung und fasst den inneren Filterkörper **11a** radial außen ein. Das Stabilisierungselement **20** kann beispielsweise lösbar durch Klemmkraft oder mittels einer Klebverbindung dauerhaft am Gehäusedeckel **5** fixiert sein. Im Beispiel der **Fig. 11** besitzt das Stabilisierungselement **20** eine ringförmige geometrische Formgebung. Mittels des Stabilisierungselements **20** gemäß **Fig. 11** kann der äußere Filterkörper **11b** hinsichtlich unerwünschter axialer Relativbewegungen gegenüber dem Filtergehäuse **2** stabilisiert werden.

**[0053]** Das Beispiel der **Fig. 12** zeigt eine weitere, vereinfachte Variante des Beispiels der **Fig. 11**, bei welcher das Stabilisierungselement **20** ringsegmentförmig ausgebildet ist und sich im Bereich des Reinluftauslasses **7** axial einseitig am Gehäusedeckel **5** und andererseits am äußeren Filterkörper **11b** abstützt.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 2756751 A1 [0002]



## Patentansprüche

1. Luftfiltereinrichtung (1) für eine Frischluftanlage einer Brennkraftmaschine,

– mit einem Filtergehäuse (2), welches einen Gehäuseinnenraum (3) begrenzt und einen Gehäusetopf (4), einen Gehäusedecke (5), einen Rohlufteinlass (6) und einen Reinluftauslass (7) aufweist,

– mit einem radial inneren und einem radial äußeren Wickelfilter (8a, 8b), jeweils aus einem gewickelten Filtermedium, die beide austauschbar im Gehäuseinnenraum (3) angeordnet sind und darin eine mit dem Rohlufteinlass (5) fluidisch verbundene Rohseite (9) von einer mit dem Reinluftauslass (6) fluidisch verbundenen Reinseite (10) trennen,

– wobei das radial innere Wickelfilter (8a) einen sich entlang einer axialen Richtung (A) erstreckenden zylindrischen inneren Filterkörper (11a) aus einem gewickelten Filtermedium aufweist,

– wobei das radial äußere Wickelfilter (8b) einen sich entlang der axialen Richtung (A) erstreckenden ringförmigen äußeren Filterkörper (11b) aus einem gewickelten Filtermedium aufweist, welcher den inneren Filterkörper (11a) radial außen teilweise umhüllt,

**dadurch gekennzeichnet**, dass

der innere Filterkörper (11a) beginnend bei einer ersten inneren Ebene (E11) und endend bei einer zweiten inneren Ebene (E12) eine sich entlang der axialen Richtung (A) gemessene erste Bauhöhe (h1) aufweist und der äußere Filterkörper (11b) beginnend bei einer ersten äußeren Ebene (E21) und endend bei einer zweiten äußeren Ebene (E22) eine sich entlang der axialen Richtung gemessene zweite Bauhöhe (h2) aufweist,

– wobei eine axiale Position der ersten inneren Ebene (E12) von der axialen Position der ersten äußeren Ebene (E21) verschieden ist und/oder die axiale Position der zweiten inneren Ebene (E12) von der axialen Position der zweiten äußeren Ebene (E22) verschieden ist.

2. Luftfiltereinrichtung nach Anspruch 1,

**dadurch gekennzeichnet**, dass

die zweite Bauhöhe (h2) von der ersten Bauhöhe (h1) verschieden ist, oder dass

die zweite Bauhöhe (h2) gleich der ersten Bauhöhe (h1) ist, wobei die beiden Filterkörper (11a, 11b) axial versetzt zueinander angeordnet sind.

3. Luftfiltereinrichtung nach Anspruch 1 oder 2,

**dadurch gekennzeichnet**, dass am äußeren Filterkörper (11b) von einer Stirnseite (17b2) oder von einer Mantelfläche des äußeren Filterkörpers (11b) radial nach außen eine umlaufende Endscheibe (13) absteht, welche am Filtergehäuse (2) befestigt ist.

4. Luftfiltereinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Rohlufteinlass (6) oder der Reinluftauslass (7) in einer Umfangswand (16) des Gehäusedeckels (5) angeordnet

ist und dass der Reinluftauslass (7) oder der Rohlufteinlass (6) in einer Stirnwand (14a, 14b) des Gehäusetopfs (4) oder des Gehäusedeckels (5) angeordnet ist, oder umgekehrt.

5. Luftfiltereinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Rohlufteinlass (6) und der Reinluftauslass (7) in einander gegenüberliegenden Stirnwänden des Gehäusetopfs (4) bzw. des Gehäusedeckels (5) angeordnet sind.

6. Luftfiltereinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Rohlufteinlass (6) in einer Umfangswand (19) des Gehäusetopfs (4) und der Reinluftauslass (7) in einer Umfangswand (16) des Gehäusedeckels (5) angeordnet sind, oder umgekehrt.

7. Luftfiltereinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

**dadurch gekennzeichnet**, dass

die dem Gehäusetopf (4) zugewandten Stirnseiten (17a1, 17a2) des inneren und äußeren Filterkörpers (11a, 11b) bündig zueinander im Gehäuseinnenraum (3) angeordnet sind, oder dass

die dem Gehäusedeckel (5) zugewandten Stirnseiten (17b1, 17b2) des inneren und äußeren Filterkörpers (11a, 11b) bündig zueinander im Gehäuseinnenraum (3) angeordnet sind.

8. Luftfiltereinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen dem inneren Filterkörper (11a) und dem Gehäusedeckel (5) ein Stabilisierungselement (20) angeordnet ist, welches sich axial einseitig am Gehäusedeckel (5) und andererseits am inneren oder am äußeren Filterkörper (11a, 11b) abstützt.

9. Luftfiltereinrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Stabilisierungselement (20) eine zylindrische oder eine ringförmige oder eine ringsegmentförmige geometrische Formgebung besitzt.

10. Luftfiltereinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die beiden Filterkörper (11a, 11b) in einem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung (A) eine ovale oder eine kreisrunde Geometrie aufweisen.

11. Luftfiltereinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche

**dadurch gekennzeichnet**, dass

– für einen axialen Abstand  $X1$  zwischen der ersten inneren Ebene (E11) und der ersten äußeren Ebene (E21) und dem Durchmesser  $D1$  des Rohlufteinlasses (6) mit kreisrunder Geometrie folgende Beziehung gilt:  $X1 \geq 0,2 \cdot D1$ ; und/oder dass

– für den axialen Abstand  $X_2$  zwischen der zweiten inneren Ebene (E21) und der zweiten äußeren Ebene (E22) und dem Durchmesser  $D_2$  des Rohluftauslasses (7) mit kreisrunder Geometrie folgende Beziehung gilt:  $X_1 \geq 0,2 \cdot D_2$ .

12. Luftfilterreinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche

**dadurch gekennzeichnet, dass**

– für den axialen Abstand ( $X_1$ ) zwischen der ersten inneren Ebene (E11) und der ersten äußeren Ebene (E21) und der Querschnittsfläche ( $Y_1$ ) des Rohlufteinlasses (6) mit beliebiger Geometrie folgende Beziehung gilt:  $X_1 \geq 0,2 \cdot (4 \cdot Y_1 / \pi)^{0,5}$ ; und/oder dass

– für den axialen Abstand ( $X_2$ ) zwischen der zweiten inneren Ebene (E21) und der zweiten äußeren Ebene (E22) und der Querschnittsfläche ( $Y_2$ ) des Rohluftauslasses (7) mit beliebiger Geometrie folgende Beziehung gilt:  $X_2 \geq 0,2 \cdot (4 \cdot Y_2 / \pi)^{0,5}$ .

13. Frischluftanlage für eine Brennkraftmaschine mit einer Luftfilterreinrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

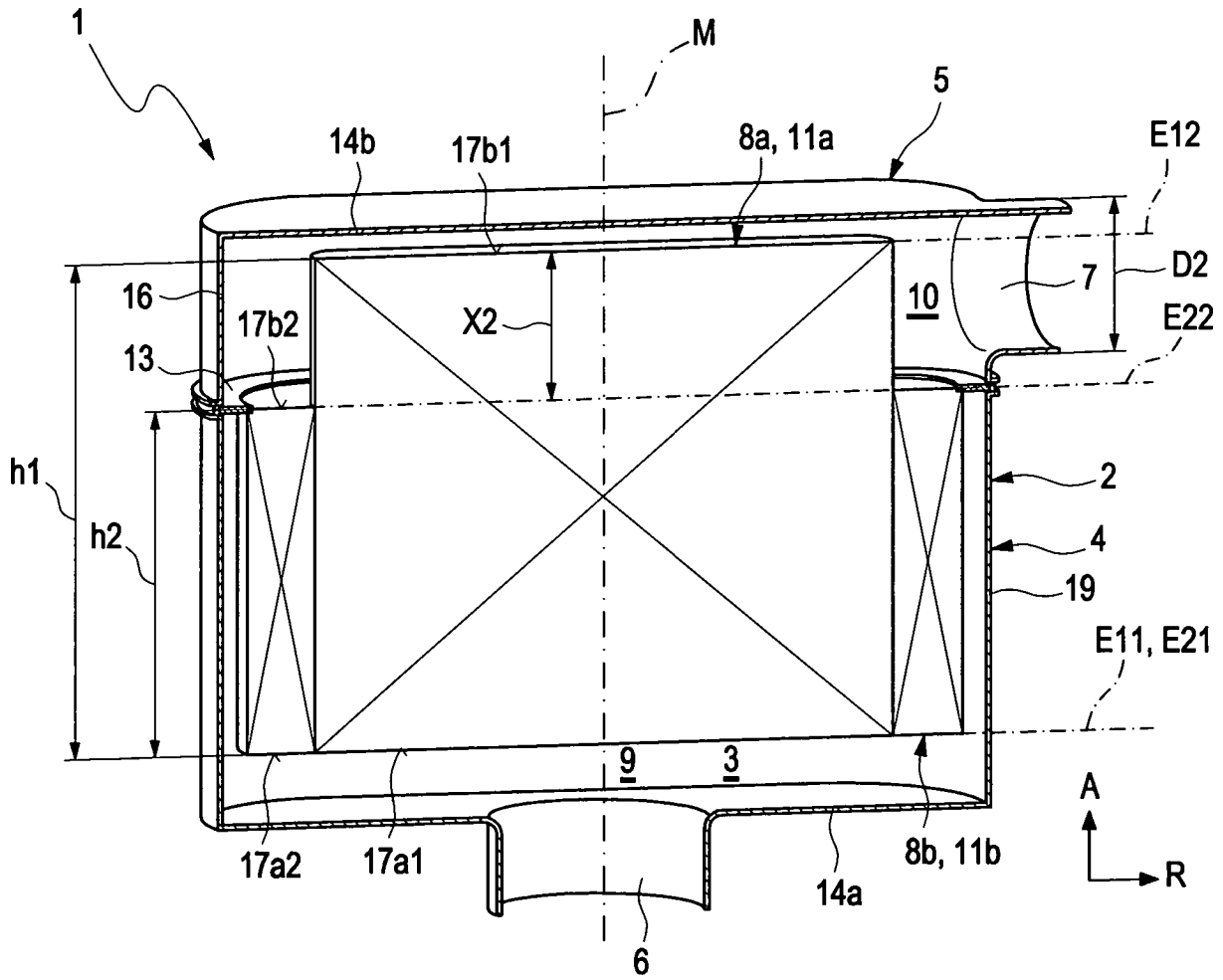


Fig. 1

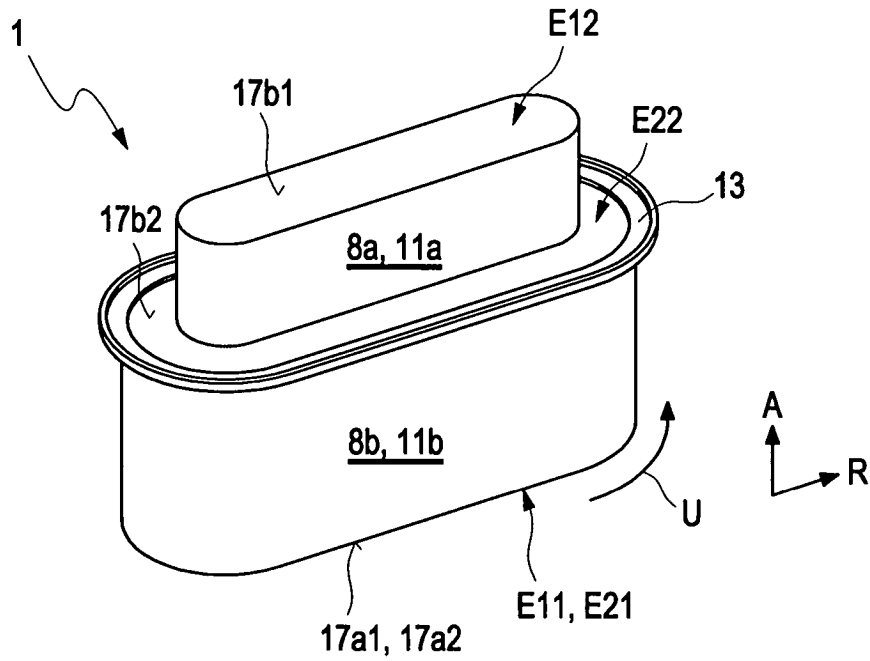


Fig. 2

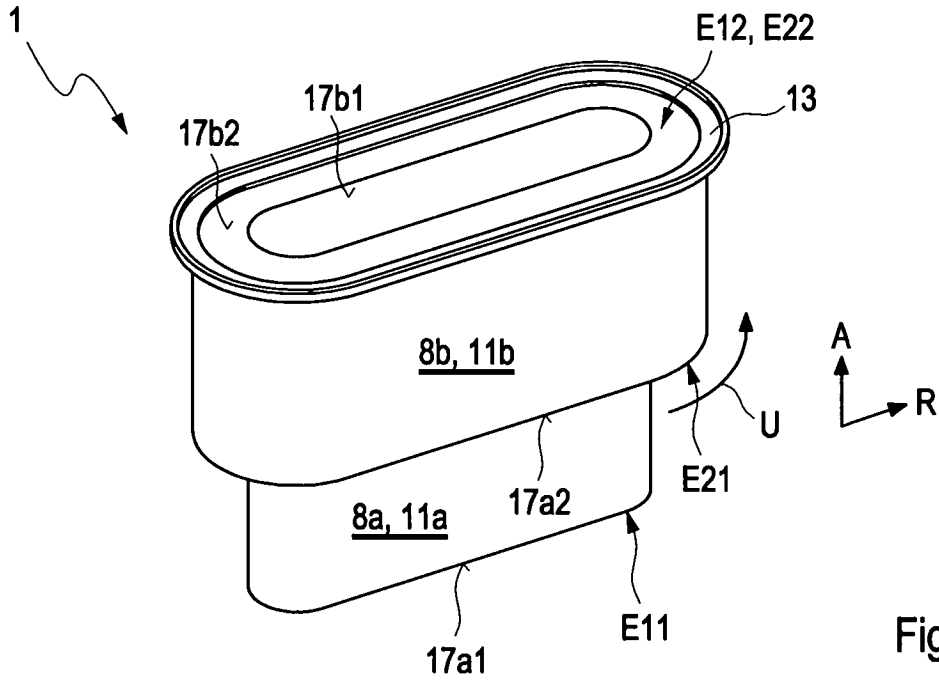


Fig. 3

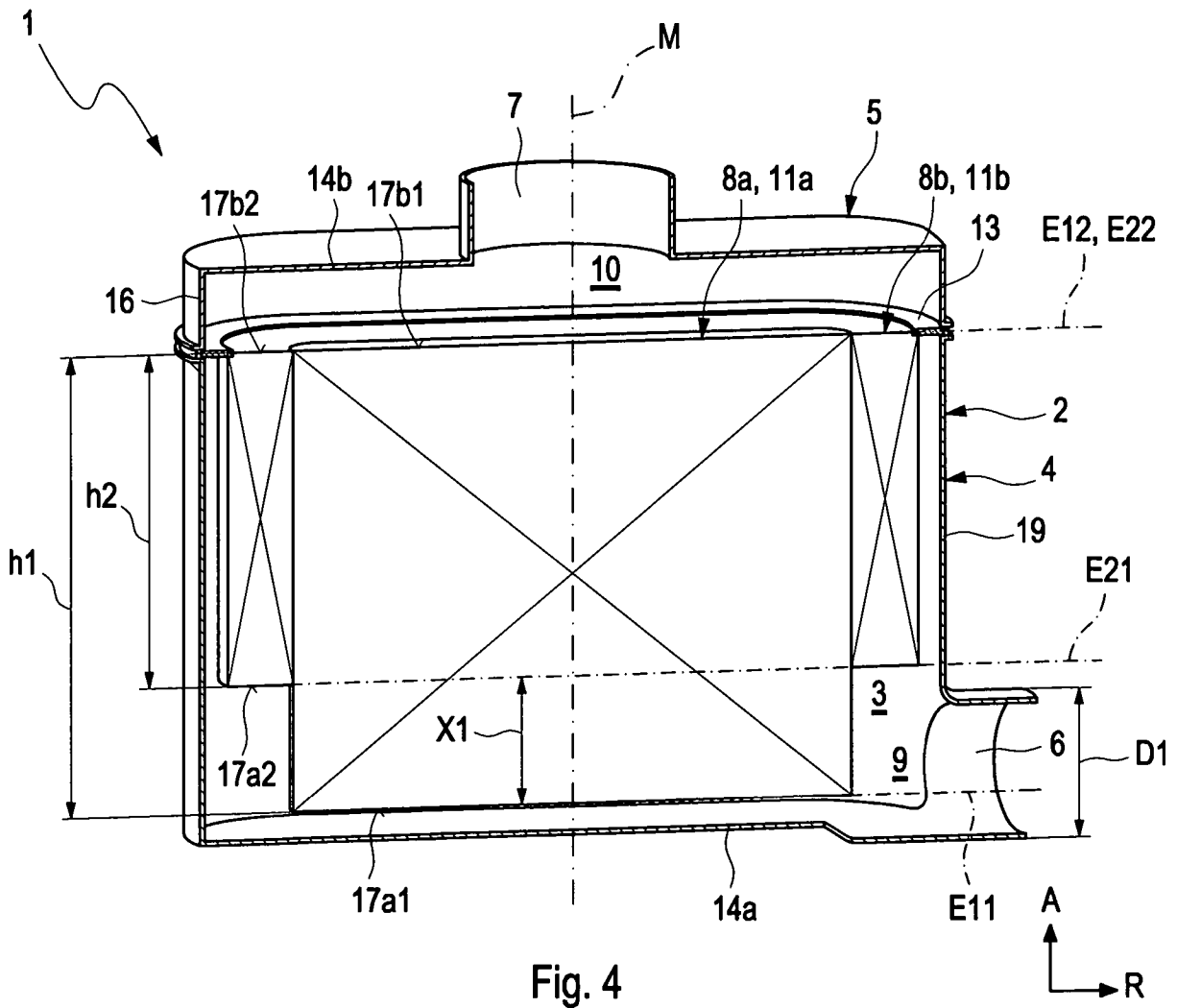
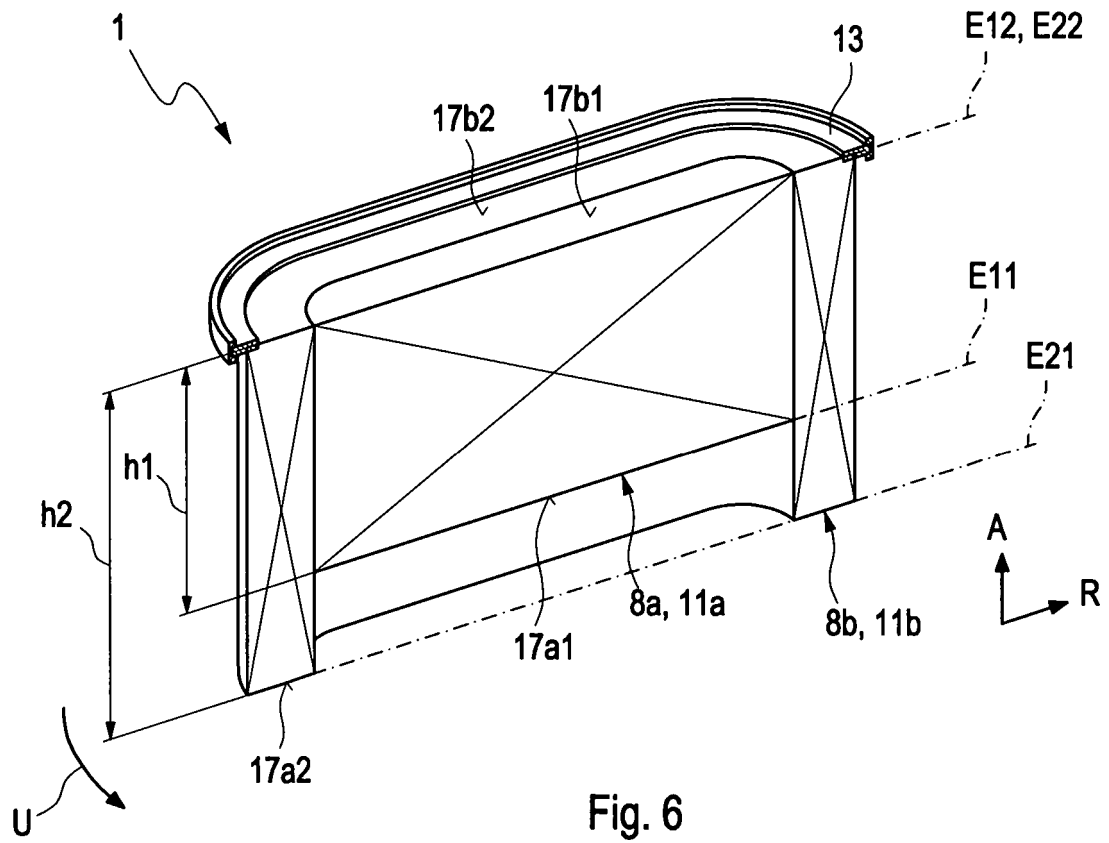
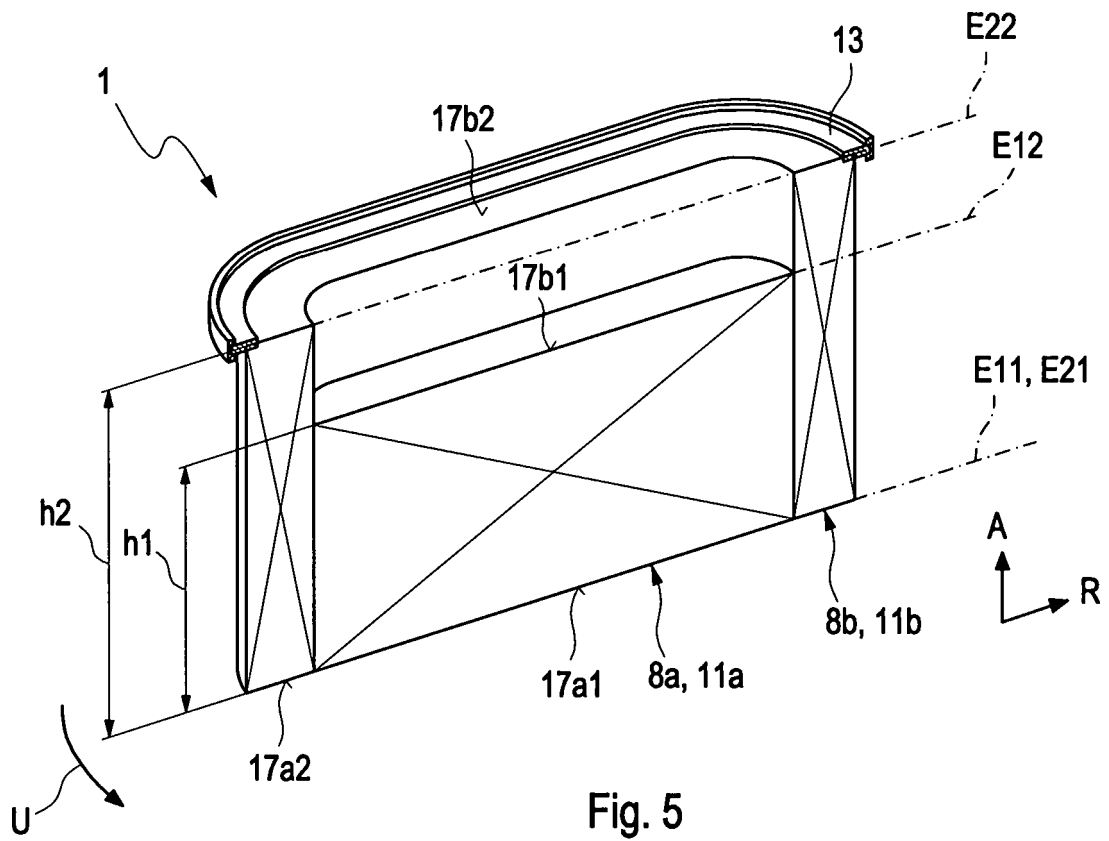


Fig. 4



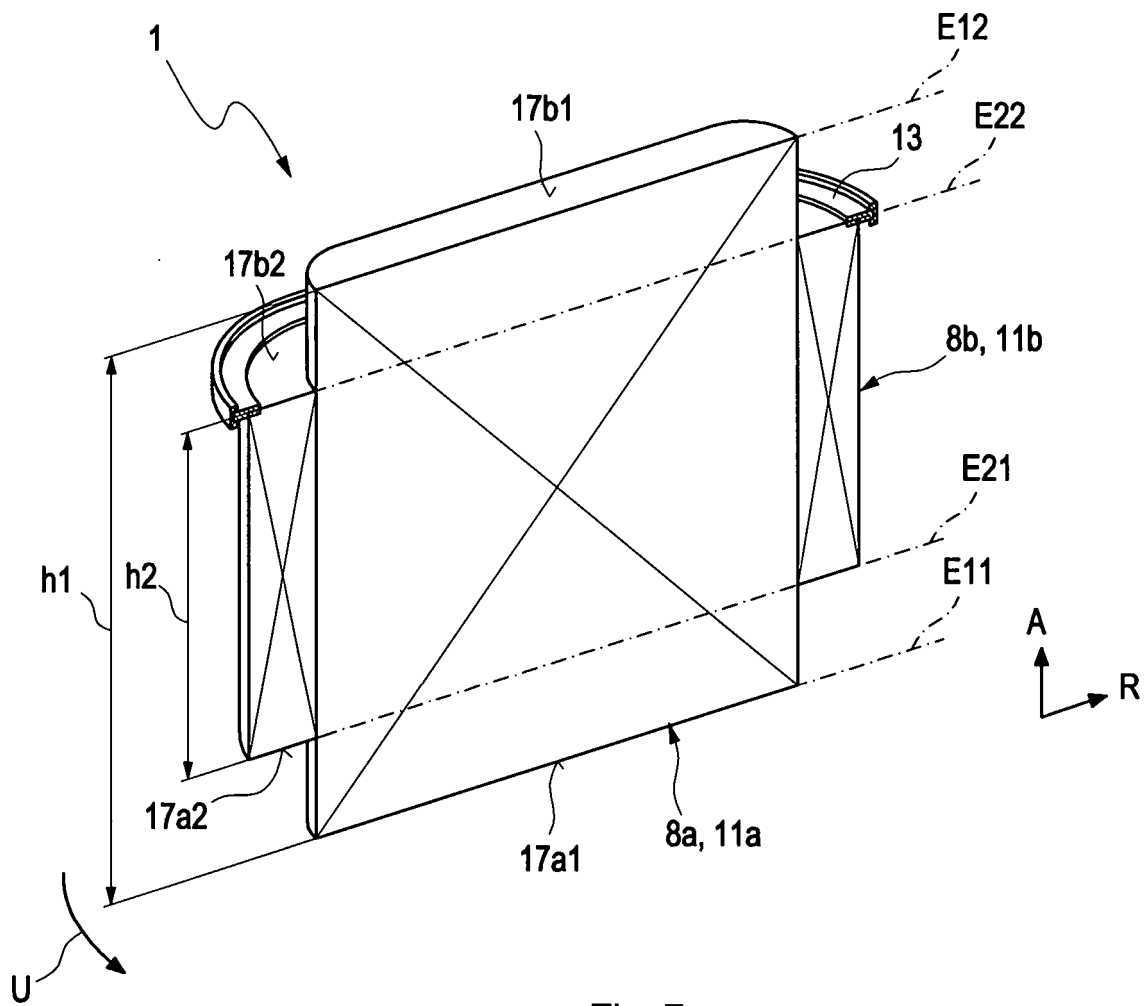


Fig. 7

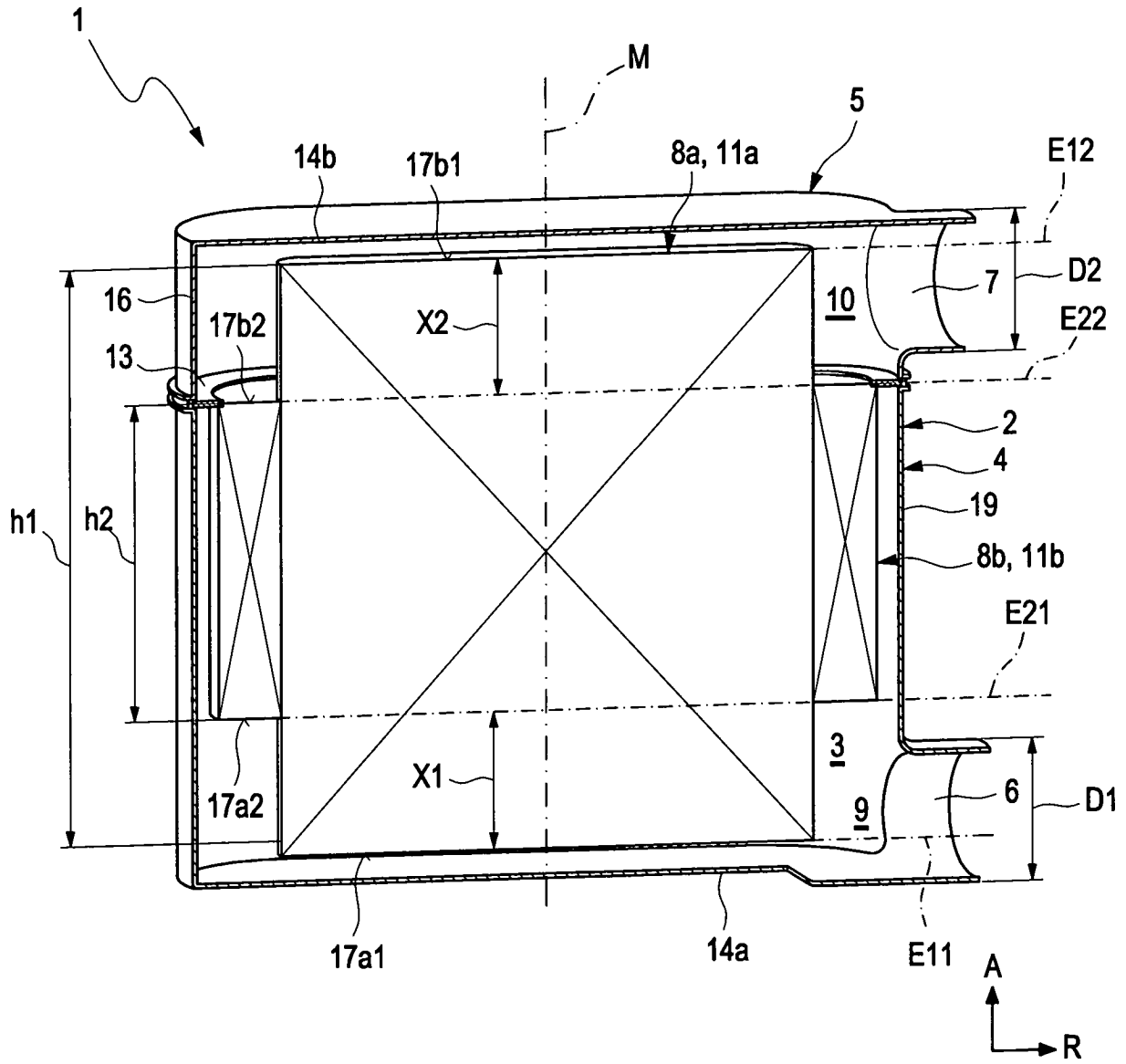
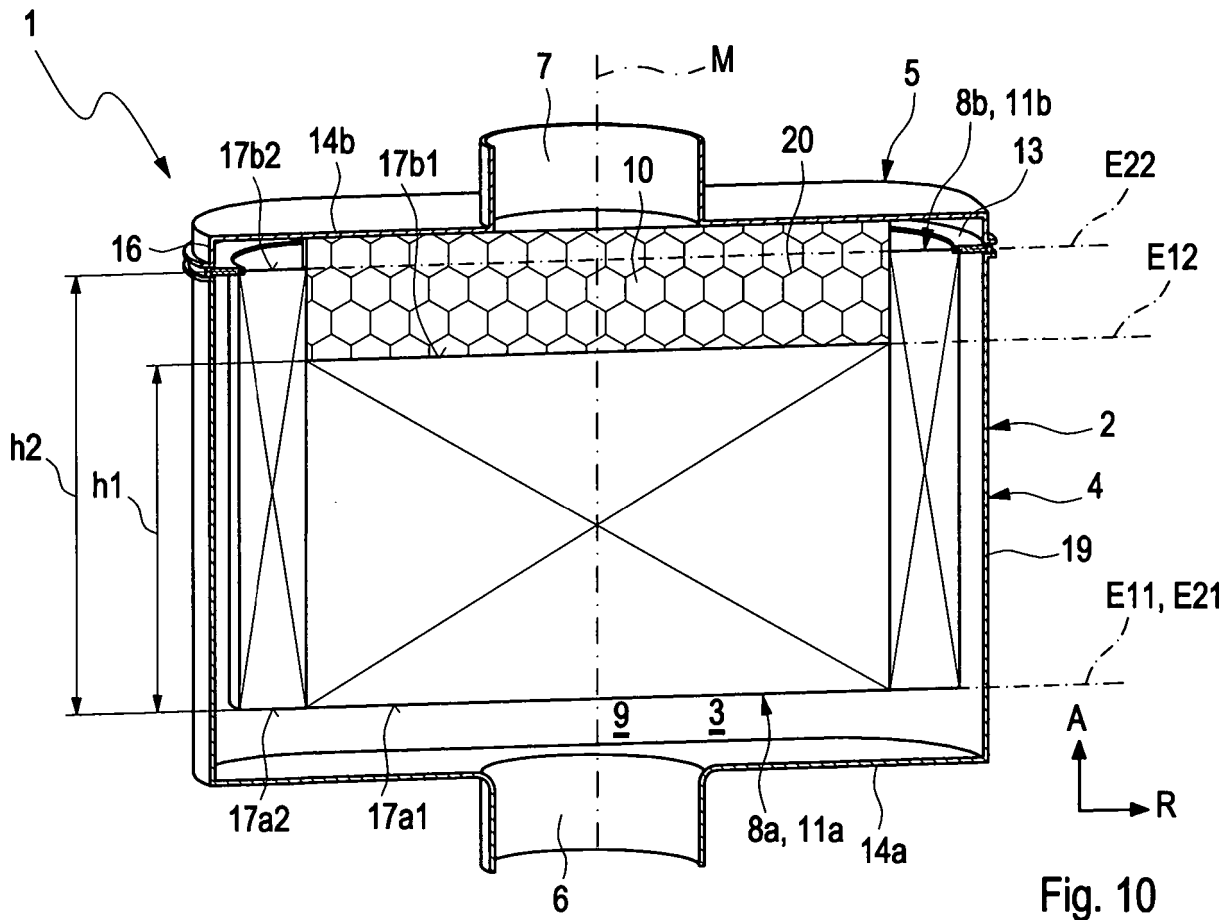
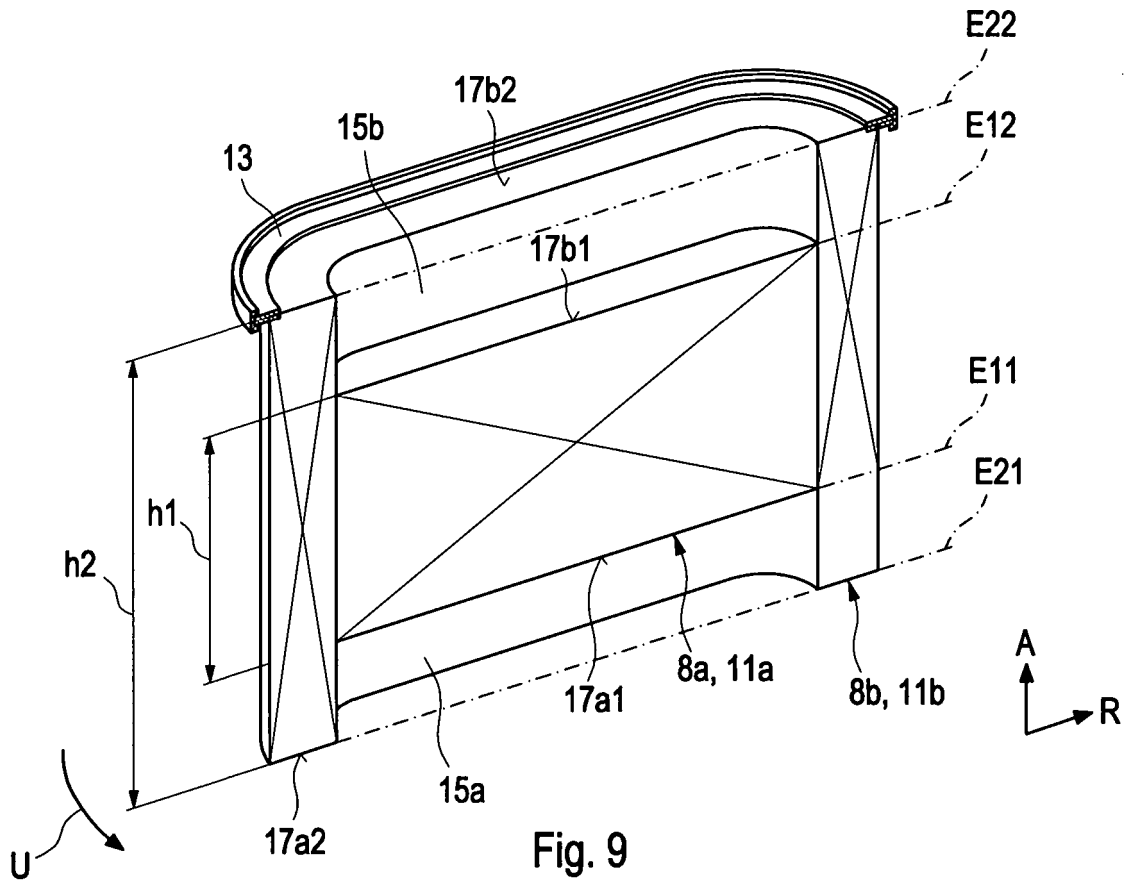


Fig. 8





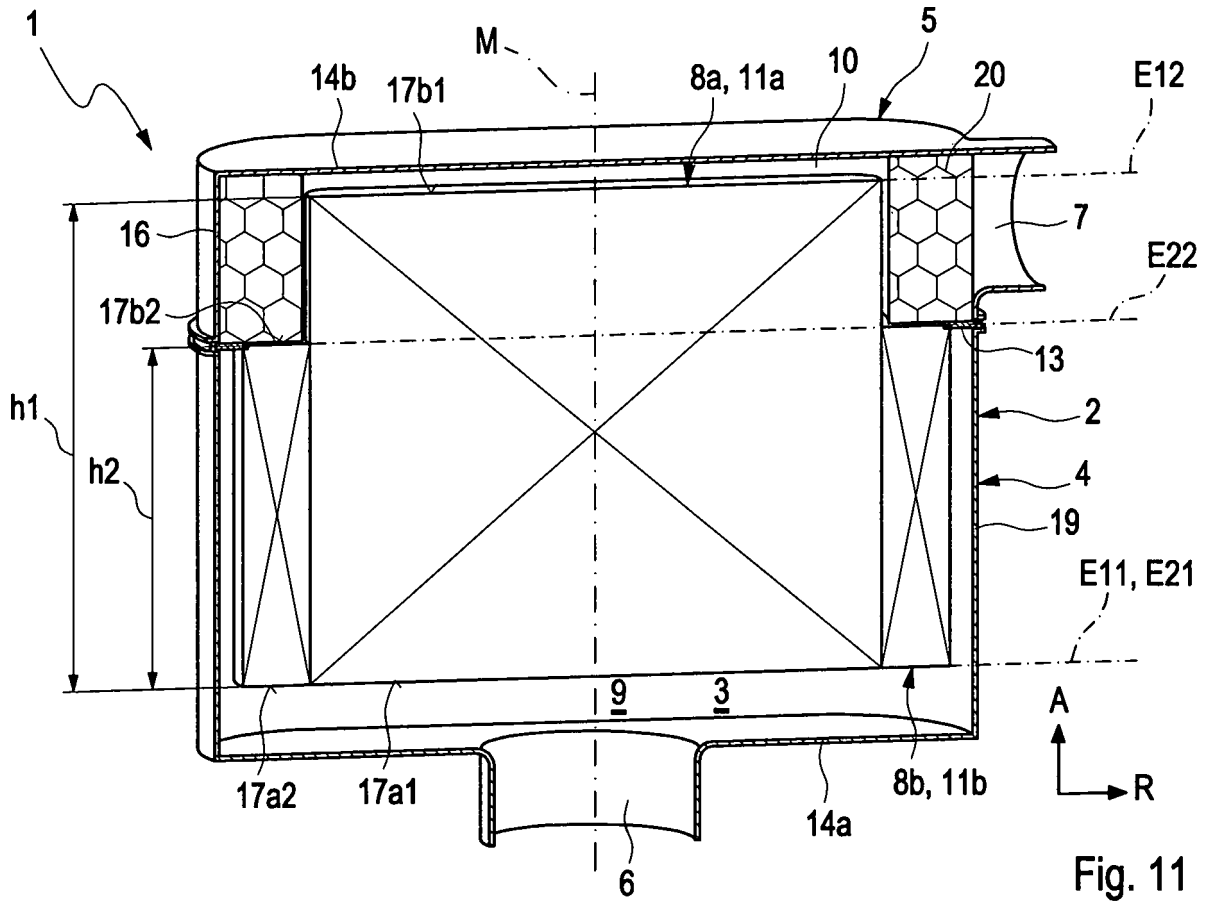


Fig. 11

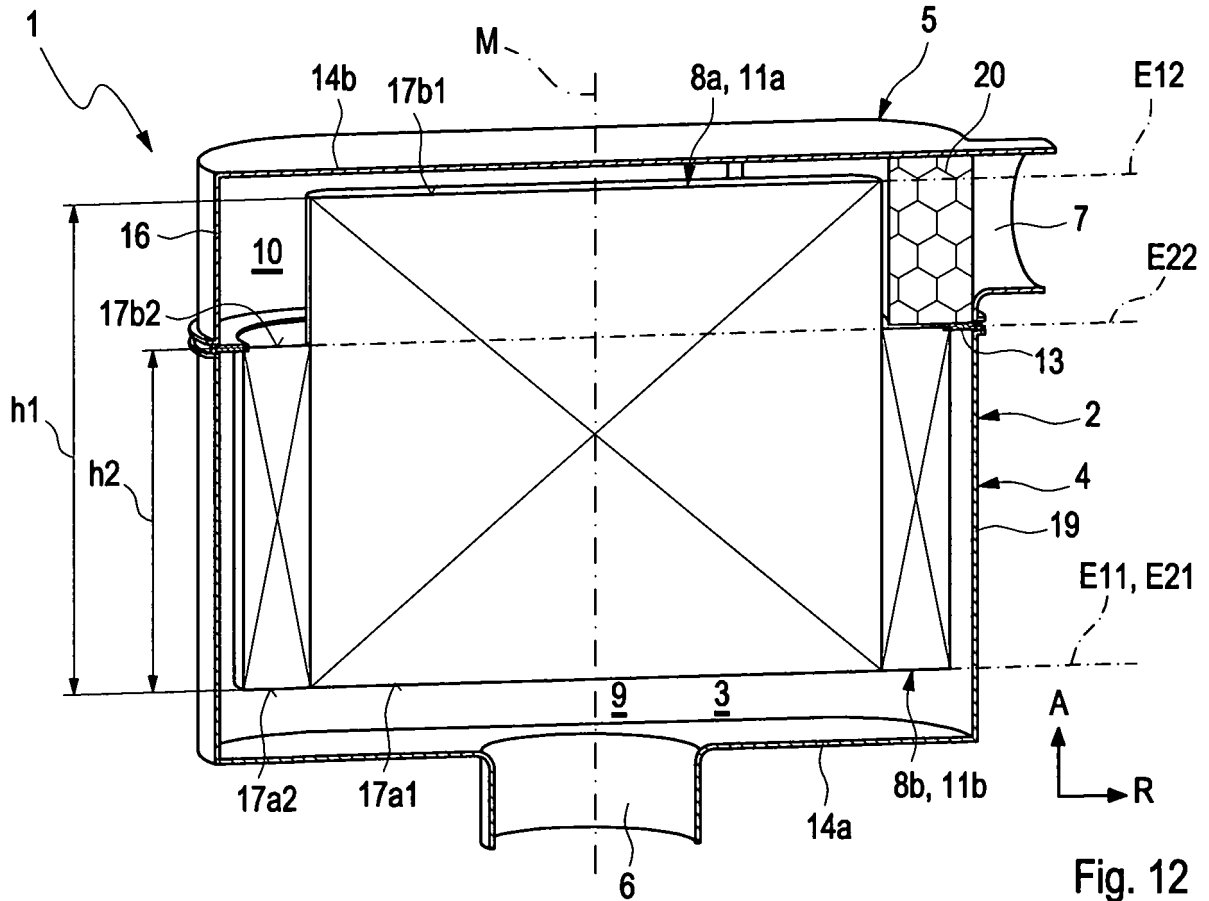


Fig. 12