

(19)



(11)

EP 4 255 112 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
04.10.2023 Patentblatt 2023/40

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
H05B 6/10 (2006.01) **F24H 7/00** (2022.01)
F28D 20/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23164476.6**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
H05B 6/108; F24H 7/00; F28D 20/00

(22) Anmeldetag: **27.03.2023**

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

(71) Anmelder: **Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.**
53227 Bonn (DE)

(72) Erfinder: **BELIK, Sergej**
70193 Stuttgart (DE)

(74) Vertreter: **Fleck, Julia Maria**
Jeck, Fleck & partner mbB
Patentanwälte
Klingengasse 2
71665 Vaihingen/Enz (DE)

(30) Priorität: **28.03.2022 DE 102022107240**

(54) **WÄRMESPEICHERANORDNUNG UND VERFAHREN ZUR SPEICHERUNG UND/ODER ÜBERTRAGUNG VON WÄRME**

(57) Die Erfindung betrifft eine Wärmespeicheranordnung (10) zur Speicherung und/oder Übertragung von mittels elektromagnetischer Induktion erzeugter Wärme, umfassend einen Speicherraum (14) mit einem induktiv erwärmbaren Speichermaterial (12) und einer ersten Strömungsführung (24) zur Leitung von Wärmeträgermedium (16) in thermischem Kontakt zu dem Speichermaterial (12) von einer Eintrittsseite (34) zu einer Austrittsseite (36) und eine Induktoranordnung (40) mit einer um den Speicherraum (14) angeordneten Induktorvorrichtung (42) zur Erwärmung des Speichermaterials (12). Eine erhöhte Effizienz ist dadurch erreichbar, dass das

Speichermaterial (12) in Form zumindest eines Einsatzelements (13) vorliegt, welches ein elektrisch leitfähiges, keramisches Material umfasst oder daraus gebildet ist und als erste Strömungsführung (24) zumindest einen von dem Wärmeträgermedium (16) durchströmbaren Strömungspfad (54) aufweist, wobei ein spezifischer Hohlraumanteil und/oder eine spezifische Wärmeübertragungsfläche zwischen dem zumindest einen Strömungspfad (54) und dem Speichermaterial (12) innerhalb des Einsatzelements (13) in radialer Richtung nach außen hin zunehmen

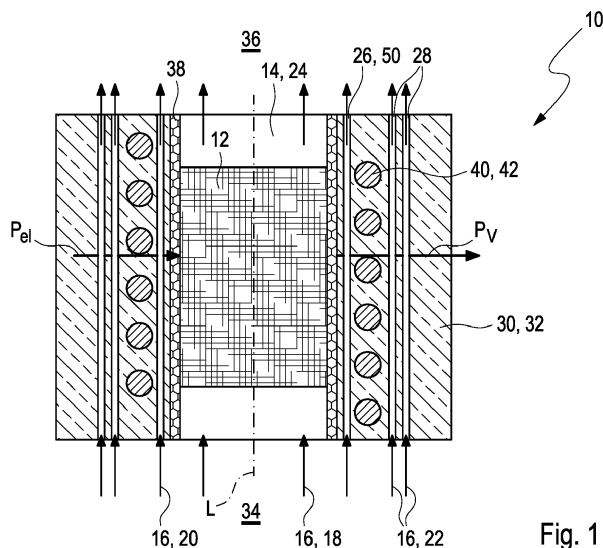


Fig. 1

EP 4 255 112 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Wärmespeicheranordnung zur Speicherung und/oder Übertragung von mittels elektromagnetischer Induktion erzeugter Wärme, umfassend einen Speicherraum mit einem induktiv erwärmbaren Speichermaterial und einer ersten Strömungsführung zur Leitung von Wärmeträgermedium in thermischem Kontakt zu dem Speichermaterial von einer Eintrittsseite zu einer Austrittsseite und eine Induktoranordnung mit einer um den Speicherraum angeordneten Induktorvorrichtung zur Erwärmung des Speichermaterials. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Speicherung und/oder Übertragung von Wärme in einer Wärmespeicheranordnung.

[0002] Eine derartige Wärmespeicheranordnung geht aus der DE 10 2019 207 967 A1 hervor. Dabei ermöglicht die Induktionserwärmung durch den berührungslosen Leistungstransport mit der direkten Wärmeerzeugung in dem Speichermaterial deutlich höhere Leistungsdichte und somit kompaktere Wandlungssysteme als beispielsweise bei Systemen unter Verwendung einer Widerstandsheizung.

[0003] Die DE 2 117 103 A zeigt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erzeugung eines erhitzten Mediums für Beheizungszwecke. Die Vorrichtung umfasst einen metallischen Block, der von Induktionsspulen und wärmeisolierenden Wandungen umgeben ist. Die Induktionsspulen bzw. Kupferspulen sind in einer feuerfesten keramischen, wärmeisolierenden, vorzugsweise hochporösen Masse eingebettet.

[0004] Die DE 10 2017 125 669 A1 zeigt einen Latentwärmespeicher mit einer Vielzahl von Wärmespeicherelementen.

[0005] Die DE 11 2018 001 252 T5 zeigt eine poröse Wabenwärmespeicherstruktur zum Einsatz auf dem Gebiet der Kraftfahrzeuge.

[0006] Weitere Vorrichtungen zur Speicherung und/oder Übertragung von Wärme sind in den Druckschriften DE 10 2011 109 779 A1, US 3 596 034 A, DE 2 117 103 A1, DE 10 2016 119 668 A1 und EP 2 574 756 A1 angegeben.

[0007] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Wärmespeicheranordnung der eingangs genannten Art mit einem verbesserten Wirkungsgrad bereitzustellen, sowie ein entsprechendes Verfahren.

[0008] Die Aufgabe wird für die Wärmespeicheranordnung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und/oder des Anspruchs 12 und für das Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 24 gelöst.

[0009] Bei der Wärmespeicheranordnung ist vorgesehen, dass das Speichermaterial in Form zumindest eines Einsatzelements vorliegt, welches (als Speichermaterial) ein elektrisch leitfähiges, keramisches Material umfasst oder daraus gebildet ist und als erste Strömungsführung zumindest einen von dem Wärmeträgermedium durchströmbaren Strömungspfad aufweist, wobei ein spezifischer Hohlraumanteil (von Wärmeträgermedium

durchströmbares bzw. durchströmtes Hohlraumvolumen, insbesondere Volumen des zumindest einen Strömungspfad, zu Gesamtvolumen des Einsatzelements z. B. innerhalb eines definierten Segments des Einsatzelements (wobei das Gesamtvolumen Speichermaterialvolumen und Hohlraumvolumen umfasst oder daraus gebildet ist)) und/oder eine spezifische Wärmeübertragungsfläche (Wärmeübertragungsfläche zu Gesamtvolumen z. B. innerhalb eines definierten Segments des Einsatzelements) zwischen dem zumindest einen Strömungspfad und dem Speichermaterial innerhalb des Einsatzelements, in radialer Richtung nach außen hin zu nehmen.

[0010] Der Hohlraumanteil kann beispielsweise, z. B. je nach Segment, zwischen 35 % und 90 % betragen. Ein insbesondere radial am weitesten innenliegendes Segment kann auch ohne Hohlraumanteil ausgebildet sein.

[0011] Die Wärmeübertragungsfläche kann beispielsweise, z. B. je nach Segment, bis zu mehr als 100 1/m, vorzugsweise mehr als 200 1/m, insbesondere mehr als 250 1/m betragen.

[0012] Die Außengestalt des Speicherraums und/oder des Einsatzelements und/oder die Anordnung der Induktorvorrichtung kann beispielsweise zylindrischer oder im Querschnitt (orthogonal zur Längsachse) polygonaler Art ausgebildet sein.

[0013] "Spezifisch" bedeutet hierbei bezogen auf ein bestimmtes Gesamtvolumen des Einsatzelements, beispielsweise eines definierten Segments des Einsatzelements.

[0014] In axialer Richtung kann/können der Hohlraumanteil und/oder die Wärmeübertragungsfläche beispielsweise konstant bleiben oder ebenfalls variieren.

[0015] Der Hohlraumanteil und/oder die Wärmeübertragungsfläche kann/können zwischen beispielsweise (gedachten) ringartigen, radial umeinander liegenden, Segmenten variieren, wobei er/sie in radial weiter außen liegenden Segmenten zunimmt/zunehmen.

[0016] Insbesondere ist das Einsatzelement unmittelbar (mit direktem Kontakt zwischen Speichermaterial und Wärmeträgermedium, ohne Zwischenordnung eines anderen Mediums) von Wärmeträgermedium durchströmbare bzw. durchströmt.

[0017] Insbesondere ist die Wärmespeicheranordnung zum Betrieb mit hohen Temperaturen in dem Speichermaterial und/oder in dem Wärmeträgermedium, von maximalen Temperaturen von mindestens 800 °C, vorzugsweise von mindestens 1000 °C, ausgebildet.

[0018] Auf diese Weise kann vorteilhaft in dem radial äußeren Bereich des Einsatzelements eine höhere Wärmeleistung an das Wärmeträgermedium übertragen und von diesem abtransportiert werden. So wird vorteilhaft die Verteilung der an das Wärmeträgermedium übertragenen thermischen Leistung an die Verteilung der bei der induktiven Erwärmung im Festkörper eingetragenen Leistung (d. h. an die Verteilung der Leistungsdichte) angepasst. Bei der induktiven Erwärmung wird aufgrund

des sogenannten (frequenzabhängigen) "Skin-Effekts" in den radial äußeren Bereichen des Einsatzelements eine höhere Leistung eingekoppelt als in den radial inneren Bereichen des Einsatzelements. Insgesamt kann durch diese Maßnahme die Effizienz der Wärmespeicheranordnung und damit der Wirkungsgrad gesteigert werden.

[0019] In einer vorteilhaft herstellbaren, strömungsgünstigen Auslegungsvariante ist der zumindest eine Strömungspfad durch zumindest einen durchgängigen Strömungskanal gebildet, dessen Mittellängsachse zumindest im Wesentlichen parallel zu einer Längsachse des Speicherraums angeordnet ist.

[0020] Vorzugsweise ist das Einsatzelement von einer Vielzahl von Strömungspfaden, insbesondere Strömungskanälen, durchsetzt, die symmetrisch, insbesondere drehsymmetrisch, um die Längsachse in dem Einsatzelement angeordnet sind.

[0021] Vorteilhafte Auslegungsmöglichkeiten ergeben sich, wenn das Speichermaterial in Form von sich axial erstreckenden Wandungen angeordnet ist, zwischen welchen die Strömungskanäle verlaufen, wobei die Wandungen im Querschnitt insbesondere als radiale Wandungen (in radiale Richtung verlaufend) und/oder (z. B. (kreis-)ringförmig und/oder polygonal) umlaufende Wandungen (in umlaufende Richtung verlaufend) angeordnet sind. Die Strömungskanäle können je nach Anordnung der Wandungen beispielsweise gerundete und/oder gerade Wandabschnitte, für einen gerundeten, z. B. kreisringartigen, und/oder polygonalen Strömungsquerschnitt, aufweisen. Die Wandungen können insbesondere bei konstantem Querschnitt in axialer Richtung in definierter Form beispielsweise durch Strangpressen oder Formgießen in hoher Stückzahl kostengünstig und mit einer präzisen vordefinierten Geometrie hergestellt werden.

[0022] Besonders bevorzugt nimmt/nehmen der Hohlraumanteil und/oder die Wärmeübertragungsfläche, auslegbar insbesondere über den Verlauf und/oder die Geometrie (z. B. die Stärke) der Wandungen und/oder die Verteilung und/oder (spezifische) Anzahl und/oder die Geometrie (z. B. der Strömungsquerschnitt) der Strömungskanäle, derart nach außen hin zu, dass eine gleichmäßige Temperaturverteilung, insbesondere in radialer Richtung und/oder in umlaufender Richtung, innerhalb des Speichermaterials erreichbar ist oder vorliegt. Eine gleichmäßige Temperaturverteilung liegt insbesondere vor, wenn eine Temperaturdifferenz, insbesondere in radialer Richtung, zwischen der minimalen und der maximalen Temperatur des Speichermaterials innerhalb des Einsatzelements in einem (z. B. simulierten) stationären und/oder quasistationären Betriebszustand (mit Erwärmung des Wärmeträgermediums auf Temperaturen von mindestens 800 °C, vorzugsweise mindestens 1000 °C) nicht größer ist als 400 K, vorzugsweise nicht größer als 300 K, insbesondere nicht größer ist als 200 K ist.

[0023] Die Auslegung, insbesondere hinsichtlich des

Kriteriums der gleichmäßigen Temperaturverteilung, erfolgt insbesondere numerisch, z. B. unter Verwendung der Finite-Elemente-Methode (FEM). In dem Auslegungsverfahren werden insbesondere in einer numerischen Simulation Maxwell-Gleichungen zur Beschreibung des Leistungseintrags durch die elektromagnetische Induktion gekoppelt mit Wärmetransport-Gleichungen zur Beschreibung der vorliegenden Wärmetransportprozesse sowie Wärmeverlustmechanismen und daraus die Temperaturverteilung innerhalb des Einsatzelements unter beispielhaften Betriebs-Randbedingungen ermittelt.

[0024] Als gegebene Randbedingung kann beispielsweise zumindest eine der folgenden Größen vorgegeben sein: eine Frequenz (der die Induktion bewirkenden elektrischen Spannung bzw. des induzierten elektrischen Stroms) zusammen mit Materialspezifika, z. B. des Speichermaterials, und somit die Eindringtiefe des Erwärmungsprozesses des Speichermaterials, eine am Induktor angelegte Wechselspannung bzw. Wechselstrom, Materialspezifika des Wärmeträgermediums, Betriebsgrößen wie Durchflussmengen des Wärmeträgermediums etc.. Freiheitsgrade zur Optimierung der spezifischen Hohlraumverteilung und/oder spezifischen Wärmeübertragungsflächen, um die gleichmäßige Temperaturverteilung zu erreichen, bildet für ein Satz an Materialspezifikationen des Speichermaterials z. B. zumindest eine der folgenden Größen: Anordnung und/oder Geometrie der Wandungen, Anordnung und/oder Geometrie und/oder die spezifische Anzahl der Strömungspfade bzw. Strömungskanäle. Das Einsatzelement kann zur Berechnung z. B. in unterschiedliche Segmente (z. B. in 1 bis n Segmente), beispielsweise in umlaufende, ineinander liegende, aneinander angrenzende (Ring-)Segmente unterteilt werden, zwischen welchen sich die Freiheitsgrade zu Optimierungszwecken unterscheiden können.

[0025] Insbesondere bei vorstehend angegebener Auslegung kann vorteilhafterweise eine Stärke der, insbesondere radialen, Wandungen im Querschnitt in radialer Richtung nach außen hin abnehmen (nach innen hin zunehmen). Die Abnahme kann kontinuierlich oder diskret (z. B. zwischen den einzelnen (Ring-)Segmenten) erfolgen. Alternativ kann die Wandstärke konstant bleiben. Durch die nach innen hin zunehmende Wandstärke wird der thermische Widerstand innerhalb des Speichermaterials nach innen hin verkleinert und so eine bessere Wärmeleitung von radial außen, wo eine deutlich höhere Leistung eingekoppelt wird, nach innen, wo eine deutlich geringere Leistung eingekoppelt wird, ermöglicht. So wird eine gleichmäßigere Temperaturverteilung innerhalb des Einsatzelements erreicht.

[0026] Sowohl zugunsten der Wärmeleitung für eine gleichmäßige Temperaturverteilung als auch für eine vorteilhafte Kompensation von thermo-mechanischen Spannungen sind vorzugsweise zumindest einige der radialen Wandungen, vorzugsweise in drehsymmetrischer Anordnung, strahlartig radial durchgängig von einer in-

nersten umlaufenden Wandung zu einer äußersten umlaufenden Wandung angeordnet.

[0027] Insbesondere bei Verwendung eines feststoffartigen Wärmeträgermediums (beispielsweise von Sand und/oder Bauxit und/oder Kalk, insbesondere in pulverartiger und/oder granularer Form) kann es vorteilhaft sein, wenn die Strömungskanäle in Strömungs- bzw. Flussrichtung, insbesondere in Schwerkraftrichtung (axialer Richtung), einen sich stetig und/oder monoton verengenden Strömungsquerschnitt aufweisen, wobei sich insbesondere die Wandungen konstant, trichterartig, aneinander annähern. Dabei ist vorzugsweise die Wärmespeicheranordnung mit ihrer axialen Richtung (in Richtung Längsachse L) derart ausgerichtet, dass der zumindest eine Strömungspfad in Schwerkraftrichtung, insbesondere senkrecht, verläuft. Durch diese Ausbildung weist der zumindest eine Strömungspfad, bzw. weisen insbesondere die Strömungskanäle, zur Strömungsführung in Flussrichtung eine Verengung auf. Neben der radialen Hohlraumverteilung ergibt sich eine sich ändernde Hohlraumverteilung in axialer Richtung. Auf diese Weise wird bei einem Granulat an Wärmeträgermedium vorteilhafterweise im oberen Eintrittsbereich eine Stauzone vermieden. So wird eine längere Verweilzeit zur effizienten Wärmeübertragung durch Wärmeleitung und/oder Strahlung innerhalb des Einsatzelements erreicht. Diese Maßnahme wirkt dem Nachteil der typischerweise geringen Wärmeleitung eines granularen Wanderbetts entgegen. Herstellbar ist ein derartiges Design beispielsweise mittels additiver Fertigung (3D-Druck), insbesondere unter Verwendung von Siliziumcarbid.

[0028] Vorzugsweise weist das Wärmeträgermedium ein Gas, insbesondere Luft oder Wasserstoff, und/oder einen Feststoff, z. B. Sand und/oder Bauxit und/oder Kalk, auf oder ist daraus gebildet.

[0029] Vorzugsweise ist das Speichermaterial elektrisch leitend und weist eine elektrische Leitfähigkeit von 10^3 S/m bis 10^6 S/m auf. Auf diese Weise kann ein hoher induktiver Wirkungsgrad des Speichermaterials, von vorzugsweise 90 % oder mehr, erreicht werden.

[0030] Vorteilhaft kann sein, wenn das Speichermaterial eine Dichte in einem Bereich von etwa 2500 kg/Kubikmeter oder mehr, insbesondere von ca. 3000 kg/Kubikmeter oder mehr aufweist.

[0031] Es kann vorgesehen sein, dass das Speichermaterial eine Wärmekapazität bei konstantem Druck und/oder einer Temperatur von 1000 °C oder mehr von ca. 600 J/(kgK) oder mehr, insbesondere von etwa 900 J/(kgK) oder mehr, aufweist.

[0032] Das Speichermaterial weist vorzugsweise eine Wärmeleitfähigkeit von etwa 15 W pro (Meter mal Kelvin) oder mehr, insbesondere von 20 W pro (Meter mal Kelvin) oder mehr auf.

[0033] Zweckmäßig ist es, wenn das Speichermaterial eines oder mehrere der folgenden Materialien umfasst oder daraus gebildet ist: carbidkeramische Materialien, insbesondere Siliziumcarbid und/oder Titancarbid, sili-

zidkeramische Materialien, insbesondere Molybdän-Disilizid, boridkeramische Materialien, insbesondere Titanborid.

[0034] Eine thermische Entkopplung des Einsatzelements von der Induktoranordnung einhergehend mit einer Wirkungsgradoptimierung wird erreicht, wenn zwischen dem Mantel und dem Speicherraum zumindest ein Isoliermittel zur thermischen Isolation angeordnet ist, z. B. aus hochtemperaturfestem und/oder mikroporösem Material.

[0035] Alternativ oder zusätzlich wird die Aufgabe dadurch gelöst, dass die Wärmespeicheranordnung einen umlaufend um den Speicherraum angeordneten, elektrisch nicht-leitenden Mantel umfasst, in welchen die Induktorvorrichtung eingebracht (z. B. innerhalb eines Induktorkanals eingegossen) ist, wobei in dem Mantel zumindest eine weitere Strömungsführung zur Leitung eines Anteils des Wärmeträgermediums angeordnet ist. Dadurch wird auch der Mantel mittels des Wärmeträgermediums gekühlt und es können dadurch Wirkungsgradeinbußen bedingt durch eine notwendige Prozesskühlung der Induktorvorrichtung minimiert werden. Auf diese Weise wird der Wirkungsgrad der Wärmespeicheranordnung verbessert.

[0036] Der Mantel umfasst insbesondere Beton und/oder ist aus selbigem gebildet.

[0037] Zusätzlich kann die Induktorvorrichtung durch ein anderes Kühlmedium, beispielsweise Kühlwasser, gekühlt sein.

[0038] Das Speichermaterial kann als Einsatzelement und/oder mit poröser Struktur und/oder als Schüttung (ohne definiert ausgerichtete Strömungspfade) vorliegen.

[0039] Zweckmäßig ist es, wenn das Speichermaterial auch im Zusammenhang mit der oben angegebenen, besonderen Ausbildung des Mantels aus elektrisch leitfähigem Material gebildet ist und eines oder mehrere der folgenden Materialien umfasst oder daraus gebildet ist: carbidkeramische Materialien, insbesondere Siliziumcarbid und/oder Titancarbid, silizidkeramische Materialien, insbesondere Molybdän-Disilizid, boridkeramische Materialien, insbesondere Titanborid.

[0040] Vorzugsweise weist das Wärmeträgermedium ein Gas, insbesondere Luft oder Wasserstoff, und/oder einen Feststoff, z. B. Sand und/oder Bauxit und/oder Kalk, auf oder ist daraus gebildet.

[0041] Vorzugsweise umfasst dabei die weitere Strömungsführung eine zweite Strömungsführung, die radial zwischen dem Speicherraum und der Induktorvorrichtung angeordnet ist. Vorzugsweise ist die zweite Strömungsführung in ihrem Längsverlauf parallel zu der Längsachse L und/oder zu der Achse angeordnet, um die auch die Induktorvorrichtung angeordnet ist.

[0042] Dabei kann besonders bevorzugt die zweite Strömungsführung als, insbesondere (vollständig) umlaufend, um den Speicherraum angeordneter Ringkanal ausgebildet sein, z. B. in Art eines umlaufenden, z. B. zylindrischen, Spaltraums). Vorzugsweise sind dabei nur

derart wenige Stützstrukturen zwischen einer Innenwand und einer Außenwand des Ringskanals vorhanden, wie zur mechanischen Stabilisierung der Wärmespeicherrangordnung benötigt werden. Durch diese Ausbildung wird vorteilhaft die Wärmeleitung innerhalb des Mantels zwischen der Induktorvorrichtung und dem Speichermaterial zumindest weitgehend unterbrochen. Auf diese Weise wird die thermische Isolation zwischen der Induktorvorrichtung und dem Speichermaterial verbessert, was mit einer verbesserten Effizienz und Erhöhung des Wirkungsgrades einhergeht.

[0043] Vorzugsweise umfasst die weitere Strömungsführung zumindest eine dritte Strömungsführung, welche in einem die Induktorvorrichtung radial außen umgebenden Teil des elektrisch nicht-leitenden Mantels angeordnet ist. Auf diese Weise kann auch die radial nach außen in den Mantel eintretende Wärme abgeführt und/oder in den Prozess reintegriert werden.

[0044] Für eine effiziente Wärmeübertragung zwischen dem Mantel und dem Wärmeträgermedium weist die dritte Strömungsführung vorzugsweise zumindest einen, vorzugsweise eine Vielzahl von, den Mantel durchsetzenden Kanal/Kanäle auf. Die Kanäle können auch in radialer Richtung versetzt sein bzw. in ihrem Verlauf eine radiale Richtungskomponente aufweisen.

[0045] Ebenfalls einer effizienten Wärmeübertragung ist es zuträglich, wenn zumindest ein Kanal der weiteren Strömungsführungen, insbesondere der dritten Strömungsführung, eine die Wärmeübertragung verbessernde Kanalgeometrie und/oder erhöhte Wandrauhigkeit (gegenüber einer, soweit mit dem Mantelmaterial möglichen, glatten Ausbildung der Mantelwand) aufweist. Entsprechende Geometrien und/oder Wandstrukturen bzw. Wand-Oberflächenbeschaffenheit können insbesondere in einem Gussverfahren eines Mantels aus Beton vorteilhaft realisiert werden.

[0046] Vorzugsweise geht die zumindest eine weitere Strömungsführung zumindest teilweise von der Eintrittsseite aus, wobei das Wärmeträgermedium von einem Gesamtstrom in einen ersten Anteil zur Durchströmung der ersten Strömungsführung und zumindest einen weiteren Anteil zur Durchströmung der zumindest einen weiteren Strömungsführung aufteilbar und/oder aufgeteilt ist. So ist eine einfache Prozessführung erreichbar, innerhalb der der Gesamtstrom an Wärmeträgermedium an die Wärmespeicheranordnung herangeführt und dort aufgeteilt wird.

[0047] Der erste Anteil dient insbesondere dazu, die in das Speichermaterial eingekoppelte Leistung abzuführen. Der zweite Anteil dient z. B. dazu eine Erwärmung der Induktorvorrichtung durch das erwärmte Speichermaterial durch Unterbrechung des Wärmerückflusses an die Induktorvorrichtung zu verhindern. Zusätzlich kann die Abwärme des zweiten Anteils genutzt, insbesondere in den Prozess reintegriert werden. Der dritte Anteil dient insbesondere zur Abwärmenutzung, in dem die bei Durchströmung des Mantels aufgenommene Wärme in den Prozess reintegriert wird.

[0048] Die Aufteilung der Anteile erfolgt beispielsweise aufgrund der Auslegung der Geometrien der Strömungsführungen, z. B. derart, dass der erste Anteil zumindest 70 %, vorzugsweise zumindest 80 %, besonders bevorzugt zumindest 90 % des Gesamtstromes beträgt und die weiteren Anteile maximal 30 %, vorzugsweise maximal 20 %, besonders bevorzugt maximal 10 %.

[0049] Das Verhältnis der Anteile kann vorteilhafterweise während des Betriebs variierbar sein. Dazu können z. B. Mittel zur Geometrieänderung z. B. am Eintritt in die Strömungsführungen vorhanden sein. Dabei kann der erste Anteil beispielsweise anfangs bis zu 100 % betragen und innerhalb des Betriebs auf z. B. minimal 90 %, 80 % oder 70 % reduziert werden.

[0050] Einer vorteilhaften Wärmenutzung durch Reintegration in den Gesamtprozess ist es zuträglich, wenn die zumindest eine weitere Strömungsführung zumindest teilweise auf der Austrittsseite mündet, wobei die Anteile des Wärmeträgermediums auf der Austrittsseite zusammenführbar und/oder zusammengeführt sind.

[0051] Bei der Zusammenführung kann es vorteilhaft sein, wenn an der Austrittsseite, anschließend an den Mantel, eine Sammelvorrichtung angeordnet ist, in dem die Anteile zusammenführbar und/oder zusammengeführt sind. Die Sammelvorrichtung kann insbesondere umlaufend außen anschließend an dem Mantel angeordnet sein, so dass alle Strömungsführungen innerhalb der Sammelvorrichtung münden. Die Sammelvorrichtung kann beispielsweise eine, z. B. konusartige, Querschnittsverengung aufweisen. Die Temperatur des Wärmeträgermediums der weiteren Anteile liegt deutlich unterhalb der Temperatur des Wärmeträgermediums des ersten Anteils, beispielsweise bei bis zu 150 °C oder bis zu 100 °C. Auf diese Weise können vorteilhaft die weiteren Anteile bei Eintritt in die Sammelvorrichtung eine Kühlwirkung in Art einer Filmkühlung auf die Wände der Sammelvorrichtung entfalten. Dabei wird die auf die Sammelvorrichtung wirkende Strahlungswärme durch die weiteren Anteile konvektiv abgeführt, so dass die Temperaturanforderungen für diese Komponente deutlich abgesenkt werden und den Einsatz von verfügbaren und damit kostengünstigen Feuerfestwerkstoffen (anstelle einer Hochtemperatur-Keramik) erlauben.

[0052] In einer kosteneffizienten Ausbildungsvariante sind zwischen der Sammelvorrichtung und dem Mantel strömungstechnische Dichtmittel angeordnet, die insbesondere nicht hochtemperaturfest ausgebildet sind, z. B. aus Graphit-Material (mit einer Temperaturfestigkeit von bis zu 400 °C). Dies ist insbesondere aufgrund der Kühlwirkung der weiteren Anteile, insbesondere durch die dritte Strömungsführung, möglich. Mittels der Graphitdichtung ist eine deutlich verbesserte Dichtwirkung erzielbar als mittels der Hochtemperaturdichtung. So können Transmissionswärmeverluste durch einen Leckagestrom an Wärmeträgermedium nach außen minimiert werden.

[0053] Für eine weitere Optimierung der thermischen Isolation einhergehend mit einer Wirkungsgradoptimie-

zung ist zwischen dem Mantel und dem Speicherraum zumindest ein Isoliermittel zur thermischen Isolation angeordnet, z.B. aus hochtemperaturfestem und/oder mikroporösem Material.

[0054] Insbesondere bei Verwendung eines feststoffartigen Wärmeträgermediums (beispielsweise von Sand und/oder Bauxit und/oder Kalk, insbesondere in pulverartiger und/oder granularer Form) kann es vorteilhaft sein, wenn die Strömungskanäle in Strömungs- bzw. Flussrichtung, insbesondere in Schwerkraftrichtung (axialer Richtung), einen sich stetig und/oder monoton verengenden Strömungsquerschnitt aufweisen, wobei sich insbesondere die Wandungen konstant, trichterartig, aneinander annähern. Dabei ist vorzugsweise die Wärmespeicheranordnung mit ihrer axialen Richtung (in Richtung Längsachse L) derart ausgerichtet, dass der zumindest eine Strömungspfad in Schwerkraftrichtung, insbesondere senkrecht, verläuft.

[0055] Ferner umfasst die Erfindung ein Verfahren zur Speicherung und/oder Übertragung von mittels elektromagnetischer Induktion erzeugter Wärme in einer Wärmespeicheranordnung, die insbesondere nach einem der vorhergehenden Ansprüche ausgebildet ist, bei dem in einem Speicherraum angeordnetes Speicher material mittels einer um den Speicherraum angeordneten Induktorvorrichtung einer Induktoranordnung induktiv erwärmt wird und wobei die Wärme bei der Entnahme an ein Wärmeträgermedium übertragen wird, welches von einer Eintrittsseite zu einer Austrittsseite durch zumindest eine erste Strömungsführung strömt und/oder fließt.

[0056] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine Wärmespeicheranordnung mit einer in einem Mantel eingebrachten Induktorvorrichtung, wobei der Mantel weitere Strömungsführungen umfasst, in schematischer Darstellung im Längsschnitt,

Fig. 2 ein Teil einer weiteren beispielhaften Wärmespeicheranordnung mit Strömungsführungen und einer Sammelvorrichtung in schematischer Darstellung im Längsschnitt,

Fig. 3 eine Wärmespeicheranordnung mit Anordnung eines Speicher materials als Einselement in einer ersten Ausführungsvariante in schematischer Darstellung im Querschnitt,

Fig. 4 eine Wärmespeicheranordnung mit Anordnung eines Speicher materials als Einselement in einer weiteren Ausführungsvariante in schematischer Darstellung im Querschnitt,

Fig. 5 ein Einselement zum Einsatz in einer Wärmespeicheranordnung in einer weiteren Ausführungsvariante im Querschnitt und

Fig. 6 eine Wärmespeicheranordnung mit sich in Strömungs-/Flussrichtung verengenden Strömungskanälen in schematischer Darstellung im Längsschnitt.

[0057] Fig. 1 zeigt eine Wärmespeicheranordnung 10 zur Speicherung und/oder Übertragung von Wärme an ein Wärmeträgermedium 16 in schematischer Darstellung im Längsschnitt. Die Wärmespeicheranordnung 10 umfasst einen zentral auf einer Längsachse L der Wärmespeicheranordnung 10 angeordneten Speicherraum 14 mit einem induktiv erwärmbaren, elektrisch leitfähigen Speicher material 12. Der Speicherraum 14 umfasst eine erste Strömungsführung 24 zur Leitung von Wärmeträgermedium 16 in thermischem Kontakt zu dem Speicher material 12. Das Speicher material 12 ist insbesondere ein elektrisch leitfähiges Keramikmaterial mit einem spezifischen Hohlraumanteil.

[0058] Die erste Strömungsführung 24 erstreckt sich von einer Eintrittsseite 34, wo das Wärmeträgermedium 16 in den Speicherraum 14 und/oder in das Speicher material 12 eintritt, zu einer hier beispielhaft gegenüberliegend angeordneten Austrittsseite 36, wo das Wärmeträgermedium 16 aus dem Speicherraum 14 und/oder aus dem Speicher material 12 austritt.

[0059] Zur Erzeugung von Wärme innerhalb des Speicher materials 12 umfasst die Wärmespeicheranordnung 10 zudem eine Induktoranordnung 40 mit einer um den Speicherraum 14 umlaufend angeordneten Induktorvorrichtung 42, insbesondere eine Spule, zur Erwärmung des Speicher materials 12 mittels elektromagnetischer Induktion (vgl. Fig. 1: "P_{el}"). Die Induktorvorrichtung 42 kann in einem Induktorkanal 44 angeordnet sein und durch ein separates Kühlmedium (z. B. Wasser) gekühlt werden. Die Induktionserwärmung ermöglicht vorteilhaft einen berührungslosen Leistungstransport mit unmittelbarer Wärmeherzeugung innerhalb des Speicher materials 12, ohne den Leistungseintrag limitierenden Wärmetransport z. B. durch Wärmeleitung. Dadurch sind vorteilhaft hohe Leistungsdichten und somit eine vergleichsweise (z. B. zur Verwendung einer Widerstandsheizung) kompakte Ausbildung der Wärmespeicheranordnung 10 erreichbar.

[0060] Zwischen dem Speicher material 12 und der Induktorvorrichtung 42, insbesondere zwischen dem Mantel 30 und dem Speicher material 12, ist zur weitgehenden thermischen Entkopplung ein umlaufend angeordnetes Isoliermittel 38 vorhanden.

[0061] Weiterhin umfasst die Wärmespeicheranordnung 10 einen (vollständig) umlaufend um den Speicherraum 14 angeordneten Mantel 30, in welchen die Induktorvorrichtung 42 eingebracht, insbesondere eingegossen, ist. Der Mantel 30 besteht aus einem elektrisch nicht leitenden, insbesondere mechanisch stabilen Mantel material 32, insbesondere aus Beton.

[0062] Als eine Effizienz- bzw. Wirkungsgrad-steigernde Maßnahme sind in dem Mantel 30 beispielhaft eine zweite Strömungsführung 26 und eine dritte Strömungs-

führung 28 angeordnet. Die zweite Strömungsführung 26 dient zur Leitung eines zweiten Anteils 20 und die dritte Strömungsführung 28 zur Leitung eines dritten Anteils 22 an Wärmeträgermedium 16, neben einem ersten Anteil 18 an Wärmeträgermedium 16, welcher im Betrieb die erste Strömungsführung 24 durchströmt. Dadurch kann eine Verlustleistung "P_V" (Wärmeverluste an die Umgebung) reduziert werden, wobei aus dem Speichermedium 12 entweichende Wärme von dem Wärmeträgermedium 16 aufgenommen und in den Prozess reintegriert werden kann, wie die nachfolgenden Ausführungen zeigen.

[0063] Die zweite Strömungsführung 26 ist radial zwischen dem Speicherraum 14 und der Induktorvorrichtung 42 angeordnet. Die zweite Strömungsführung ist als insbesondere (vollständig) um den Speicherraum umlaufender Ringkanal 50 ausgebildet. Der Ringkanal 50 ist insbesondere zylindrisch ausgebildet und/oder koaxial zur Längsachse L und/oder zu dem Speicherraum 14 der Wärmespeicheranordnung 10 angeordnet.

[0064] Zur mechanischen Stabilisierung sind vorzugsweise Stützstrukturen zwischen einer Innenwand und einer Außenwand des Ringkanals 50 angeordnet (hier nicht gezeigt). Diese sind vorzugsweise in möglichst geringer Anzahl vorhanden und/oder mit geringen Kontaktflächen zwischen Innen- und Außenwand versehen und/oder thermisch isolierend ausgebildet. Durch diese Ausbildung wird vorteilhaft die Wärmeleitung innerhalb des Mantels 30 zwischen der Induktorvorrichtung und dem Speichermedium 12 zumindest weitgehend unterbrochen und so die thermische Isolation zwischen der Induktorvorrichtung und dem Speichermedium 12 verbessert.

[0065] Die dritte Strömungsführung 28 ist in dem die Induktorvorrichtung 42 radial außen umgebenden Teil des Mantels 30 angeordnet. Dabei weist die dritte Strömungsführung 28 beispielsweise eine Vielzahl von den Mantel 30 durchsetzenden Kanälen auf, die auch in radialer Richtung versetzt zueinander angeordnet sein können (in Fig. 1 und Fig. 2 durch zwei radial versetzte Kanäle angedeutet). Auf diese Weise kann auch die radial nach außen in den Mantel 30 eintretende Wärme abgeführt und/oder in den Prozess reintegriert werden, wodurch der Wirkungsgrad des Prozesses erhöht werden kann.

[0066] Wie in Fig. 2 in einem Ausschnitt einer weiteren Wärmespeicheranordnung 10 angedeutet, kann insbesondere die dritte Strömungsführung 28 eine die Wärmeübertragung verbessernde Wandstruktur (erhöhte Wandrauhigkeit 52) und/oder eine die Wärmeübertragung verbessernde Kanalgeometrie (hier nicht gezeigt) aufweisen.

[0067] Die zweite Strömungsführung 26 und die dritte Strömungsführung 28 gehen von der Eintrittsseite 34 aus. So ist im Betrieb das Wärmeträgermedium 16, das in einem Gesamtstrom an die Wärmespeicheranordnung 10 heranströmt, aufteilbar in den ersten Anteil 18 zur Durchströmung der ersten Strömungsführung 24, in den

zweiten Anteil 20 zur Durchströmung der zweiten Strömungsführung 26 und in den dritten Anteil 22 zur Durchströmung der dritten Strömungsführung 28. Die Größe der Anteile lässt sich insbesondere vorab z. B. durch die Geometrie in der Strömungsführungen 24, 26 und 28 und damit verbundenen Druckverlusten auslegen. Insbesondere ist der erste Anteil 18 größer als die Summe des zweiten Anteils 20 und des dritten Anteils 22, vorzugsweise 70 % des Gesamtanteils oder mehr.

[0068] Die Höhe des ersten Anteils kann z. B. durch Geometrieänderung am Eintritt in die Strömungsführungen 24, 26, 28 variiert werden und beispielsweise anfangs bis zu 100 % betragen und innerhalb des Betriebs auf z. B. minimal 80 % oder 70 % reduziert werden.

[0069] Die unterschiedlichen Anteile 18, 20 und 22 erfüllen im Betrieb unterschiedliche Funktionen. Der erste Anteil 18 dient dazu, die in das Speichermedium 12 elektromagnetisch eingekoppelte Leistung abzuführen. Der zweite Anteil 20 dient dazu, zusätzlich zu dem Isoliermittel 38, eine Erwärmung der Induktorvorrichtung 42 durch das erwärmte Speichermedium 12 durch Unterbrechung des Wärmerückflusses an die Induktorvorrichtung 42 zu minimieren. Zusätzlich kann die Induktorvorrichtung 42 durch ein anderes Kühlmedium, beispielsweise Kühlwasser, gekühlt sein. Zusätzlich kann die Abwärme des zweiten Anteils 20 genutzt werden. Der dritte Anteil 22 dient insbesondere zur Abwärmenutzung, indem die bei Durchströmung des Mantels 30 aufgenommene Wärme in den Prozess reintegriert wird.

[0070] Das Wärmeträgermedium 16 des ersten Anteils 18 weist Temperaturen von beispielsweise 1000 °C bis 2000 °C auf. Das Wärmeträgermedium 16 des zweiten Anteils 20 weist Temperaturen von beispielsweise zwischen 40 °C und 400 °C auf. Das Wärmeträgermedium 16 des dritten Anteils 22 weist Temperaturen von beispielsweise zwischen 40 °C und 100 °C auf.

[0071] Für die Reintegration der durch den zweiten Anteil 20 und den dritten Anteil 22 aufgenommenen Wärme in den Prozess ist es vorteilhaft, wenn die zweite Strömungsführung 26 und die dritte Strömungsführung 28 auf der Austrittsseite 24 münden. Auf diese Weise sind die Anteile 18, 20, 22 des Wärmeträgermediums auf der Austrittsseite 34 wieder zu dem Gesamtstrom zusammenführbar bzw. zusammengeführt.

[0072] Wie Fig. 2 zeigt, weist die Wärmespeicheranordnung 10 zur Zusammenführung der Anteile 18, 20, 22 eine Sammelvorrichtung 46 auf. Die Sammelvorrichtung 46 ist (vollständig) umlaufend radial außen anschließend an den Mantel 30 angeordnet, so dass die Strömungsführungen 24, 26, 28 innerhalb der Sammelvorrichtung 46 münden. Die Sammelvorrichtung 46 weist beispielhaft eine konische Verengung auf.

[0073] Insbesondere der dritte Anteil 22 entfaltet bei Ausströmen des Wärmeträgermediums 16 aufgrund der vergleichsweise niedrigen Temperatur eine Kühlwirkung auf die Sammelvorrichtung 46 in Art einer Filmkühlung. Dabei wird die auf die Sammelvorrichtung 46 wirkende Strahlungswärme konvektiv abgeführt, so dass die Tem-

peraturanforderungen für diese Komponente deutlich abgesenkt werden.

[0074] Aufgrund der Kühlwirkung ist es möglich, ein zwischen der Sammelvorrichtung 46 und dem Mantel 30 angeordnetes Dichtmittel 48 nicht hochtemperaturfest auszubilden, beispielsweise aus einem handelsüblichen Material wie Graphit-Material, wodurch eine erhöhte Dichtwirkung unter Vermeidung von Verlusten aufgrund von Leckageströmen erzielt wird.

[0075] Eine weitere Effizienz- bzw. Wirkungsgrad-steigernde Maßnahme besteht in einer optimierten Ausbildung bzw. Anordnung des Speichermaterials 12 und/oder der ersten Strömungsführung 24.

[0076] Derart optimierte Ausbildungen bzw. Anordnungen sind in Fig. 3, Fig. 4 und Fig. 5 gezeigt. Das Speichermaterial 12 liegt dabei in Form eines Einsatzelements 13 vor. Das Einsatzelement 13 umfasst ein elektrisch leitfähiges, keramisches Material als Speichermaterial 12 oder ist daraus gebildet. Ferner weist das Einsatzelement 13 als erste Strömungsführung 24 eine Vielzahl von mit dem Wärmeträgermedium 16 durchströmbareren Strömungspfade 54 auf. Die spezifischen Hohlraumanteile und/oder spezifischen Wärmeübertragungsflächen zwischen den Strömungspfaden 54 und dem Speichermaterial 12 innerhalb des Einsatzelements 13 nehmen in radialer Richtung nach außen hin zu. Dadurch kann die Temperaturverteilung innerhalb des Speichermaterials 12 verbessert werden, indem dem sogenannten "Skin-Effekt" Rechnung getragen wird.

[0077] Vorzugsweise nehmen die spezifischen Hohlraumanteile und/oder spezifischen Wärmeübertragungsflächen derart nach außen hin zu, dass im Betrieb eine gleichmäßige Temperaturverteilung innerhalb des Speichermaterials 12 erreicht wird, zumindest in einem stationären (oder quasistationären) Betriebszustand. Eine gleichmäßige Temperaturverteilung liegt insbesondere vor, wenn eine Temperaturdifferenz, insbesondere in radialer Richtung, zwischen der minimalen und der maximalen Temperatur des Speichermaterials 12 innerhalb des Einsatzelements 13 in einem stationären und/oder quasistationären Betriebszustand nicht größer ist als 400 K, vorzugsweise nicht größer als 300K, insbesondere nicht größer ist als 200 K ist.

[0078] Die Auslegung, insbesondere hinsichtlich des Kriteriums der gleichmäßigen Temperaturverteilung, erfolgt vorzugsweise numerisch, z. B. unter Verwendung der Finite-Elemente-Methode (FEM). In dem Auslegungsverfahren werden insbesondere in einer numerischen Simulation Maxwell-Gleichungen zur Beschreibung des Leistungseintrags durch die elektromagnetischen Induktion gekoppelt mit Wärmetransport-Gleichungen zur Beschreibung der vorliegenden Wärmetransportprozesse und daraus die Temperaturverteilung innerhalb des Einsatzelements 13 unter beispielhaften Betriebs-Randbedingungen ermittelt.

[0079] Die Strömungspfade 54 sind durch von der Eintrittsseite 34 zur Austrittsseite 36 durchgängige Strö-

mungskanäle 55 gebildet, die das Einsatzelement 13 durchsetzen und deren Mittellängsachsen zumindest im Wesentlichen parallel zu der Längsachse L des Speicherraums 14 bzw. der Wärmespeicheranordnung 10 angeordnet sind.

[0080] Ein zentrischer Hohlraum 64 dient beispielsweise zu Montagezwecken, z. B. nicht als durchströmbarer bzw. durchströmter Hohlraum.

[0081] Fig. 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei dem die Strömungskanäle 55, drehsymmetrisch um die Längsachse L in dem Einsatzelement 13 angeordnet sind. Die Strömungskanäle 55 verlaufen zwischen im Querschnitt umlaufenden Wandungen 58 und radialen Wandungen 56. Die umlaufenden Wandungen 58 sind in dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3 polygonal, hier beispielhaft oktagonale, angeordnet. Die radialen Wandungen 56 kreuzen die umlaufenden Wandungen 58 an den Ecken des Polygons. So sind die Strömungskanäle 55 jeweils von geraden Wandabschnitten umgrenzt und weisen einen trapezartigen Strömungsquerschnitt auf.

[0082] Wie Fig. 3 weiter zeigt, nimmt die Wandstärke der radialen Wandungen 56 nach außen hin ab. Dabei weist in Fig. 3 beispielhaft ein erstes, inneres Ringsegment 60 radiale Wandungen 56 mit größerer Wandstärke auf als ein zweites, äußeres Ringsegment 62. Auf diese Weise wird zum einen der Hohlraumanteil nach außen hin erhöht. Zusätzlich wird die Wärmeleitung von außen nach innen durch Reduktion des Wärmeleitwiderstands der radialen Wandungen 56 verbessert, so dass diese Ausbildung zu einer gleichmäßigen Temperaturverteilung beiträgt.

[0083] Der verbesserten Wärmeleitung ist ebenfalls zuträglich, dass, wie in Fig. 3 gezeigt, die radialen Wandungen 56 strahlartig radial durchgängig von der innersten umlaufenden Wandung 58 zu der äußersten umlaufenden Wandung 58 verlaufen.

[0084] Fig. 4 zeigt eine Wärmespeicheranordnung 10 mit einer weiteren, hinsichtlich der Verteilung des Wärmeübergangs optimierten Ausführungsform des Einsatzelements 13. Dabei sind die umlaufenden Wandungen 58 kreisringförmigen ausgebildet und können je nach Segment (s_1 bis s_n) eine unterschiedliche Wandstärke aufweisen. Die radialen Wandungen 56 sind hier beispielhaft mit konstanter Wandstärke ausgebildet.

[0085] Fig. 5 zeigt eine weitere, hinsichtlich der Verteilung des Wärmeübergangs optimierte Ausführungsform des Einsatzelements 13. Hierbei ist in radialer Richtung eine Vielzahl von Strömungskanälen 55 in Ringsegmenten angeordnet. Die spezifische Anzahl der Strömungskanäle 55 nimmt dabei in radialer Richtung nach außen hin zu und ist in einem äußeren Ringsegment maximal. Dies wird in bei dem in Fig. 5 gezeigten Ausführungsbeispiel dadurch erreicht, dass die Anzahl der radialen Wandungen 56 nach außen hin zunimmt. Die Wandstärke der radialen Wandungen 56 ist beispielhaft konstant.

[0086] Fig. 6 zeigt eine insbesondere zum Betrieb mit einem granularen Feststoff als Wärmeträgerfluid 16 (z. B. Sand und/oder Bauxit und/oder Kalk) optimierte Aus-

bildungsvariante der Wärmespeicheranordnung 10. Dabei ist die Eintrittsseite 34 bezüglich einer Schwerkrafttrichtung oben und die gegenüberliegende Austrittsseite 36 unten angeordnet, wobei die Wärmespeicheranordnung 10 mit ihrer axialen Richtung (in Richtung Längsachse L) derart ausgerichtet ist, dass der zumindest eine Strömungspfad in Schwerkrafttrichtung, insbesondere senkrecht, verläuft. Dabei weisen die Strömungskanäle 55 in Strömungs- bzw. Flussrichtung, insbesondere in Schwerkrafttrichtung (axialer Richtung), einen sich stetig und/oder monoton verengenden Strömungsquerschnitt auf, wobei sich die Wandungen 56, 58 konstant, trichterartig, aneinander annähern. Diese Ausbildung betrifft in Fig. 6 beispielhaft sowohl die erste Strömungsführung 24 als auch die dritte Strömungsführung 28. Die zweite Strömungsführung 26 ist vorliegend mit parallel verlaufenden Wandungen ausgebildet, könnte jedoch ebenfalls trichterartig ausgebildet sein. Ebenso wäre eine derartige Ausbildung betreffend nur eine der Strömungsführungen 24, 26 und 28 möglich, wobei auch z. B. keine zweite Strömungsführung 26 und/oder dritte Strömungsführung 28 vorhanden sein könnte.

Patentansprüche

1. Wärmespeicheranordnung (10) zur Speicherung und/oder Übertragung von mittels elektromagnetischer Induktion erzeugter Wärme, umfassend

- einen Speicherraum (14) mit einem induktiv erwärmbaren Speichermaterial (12) und einer ersten Strömungsführung (24) zur Leitung von Wärmeträgermedium (16) in thermischem Kontakt zu dem Speichermaterial (12) von einer Eintrittsseite (34) zu einer Austrittsseite (36) und
- eine Induktoranordnung (40) mit einer um den Speicherraum (14) angeordneten Induktorvorrichtung (42) zur Erwärmung des Speichermaterials (12),

wobei das Speichermaterial (12) in Form zumindest eines Einselements (13) vorliegt, welches ein elektrisch leitfähiges, keramisches Material umfasst oder daraus gebildet ist und als erste Strömungsführung (24) zumindest einen von dem Wärmeträgermedium (16) durchströmbaren Strömungspfad (54) aufweist, wobei ein spezifischer Hohlraumanteil und/oder eine spezifische Wärmeübertragungsfläche zwischen dem zumindest einen Strömungspfad (54) und dem Speichermaterial (12) innerhalb des Einselements (13) in radialer Richtung nach außen hin zunehmen.

2. Wärmespeicheranordnung (10) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** der zumindest eine Strömungspfad (54) durch zumindest einen durchgängigen Strömungskanal

(55) gebildet ist, dessen Mittellängsachse (M) zumindest im Wesentlichen parallel zu einer Längsachse (L) des Speicherraums (14) angeordnet ist.

3. Wärmespeicheranordnung (10) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** das Einselement (13) von einer Vielzahl von Strömungspfaden, insbesondere Strömungskanälen (55), durchsetzt ist, die symmetrisch, insbesondere dreh-symmetrisch, um die Längsachse (L) in dem Einselement (13) angeordnet sind.

4. Wärmespeicheranordnung (10) nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** das Speichermaterial (12) in Form von sich axial erstreckenden Wandungen (56, 58) angeordnet ist, zwischen welchen die Strömungskanäle (55) verlaufen, wobei die Wandungen (56, 58) im Querschnitt insbesondere als radiale Wandungen (56) und/oder umlaufende Wandungen (58) angeordnet sind.

5. Wärmespeicheranordnung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** der Hohlraumanteil und/oder die Wärmeübertragungsfläche, insbesondere der Verlauf und/oder die Geometrie der Wandungen (56, 58) und/oder die Verteilung und/oder die Geometrie und/oder die spezifische Anzahl der Strömungskanäle (55), derart nach außen hin zunehmen, dass eine gleichmäßige Temperaturverteilung, insbesondere in radialer Richtung und/oder in umlaufender Richtung, innerhalb des Speichermaterials (12) erreichbar ist oder vorliegt, wobei eine Temperaturdifferenz zwischen einer minimalen und einer maximalen Temperatur des Speichermaterials (12) innerhalb des Einselements (13) in einem stationären und/oder quasistationären Betriebszustand nicht größer ist als 400 K, vorzugsweise nicht größer als 300 K, insbesondere nicht größer als 200 K ist.

6. Wärmespeicheranordnung (10) nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**,

dass eine Stärke der, insbesondere radialen, Wandungen (58) im Querschnitt in radialer Richtung nach außen hin abnimmt und/oder **dass** zumindest einige der radialen Wandungen (56), vorzugsweise in dreh-symmetrischer Anordnung, strahlartig radial durchgängig von einer innersten umlaufenden Wandung (58) zu einer äußersten umlaufenden Wandung (58) angeordnet sind.

7. Wärmespeicheranordnung (10) nach einem der An-

sprüche 2 bis 6,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Strömungskanäle (55) in Strömungs-/Flussrichtung, insbesondere in Schwerkraftrichtung, einen sich stetig und/oder monoton verengenden Strömungsquerschnitt aufweisen, wobei sich insbesondere die Wandungen konstant, trichterartig, aneinander annähern.

8. Wärmespeicheranordnung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Wärmeträgermedium (16) ein Gas, insbesondere Luft oder Wasserstoff, und/oder einen Feststoff, z. B. Sand und/oder Bauxit und/oder Kalk, aufweist oder daraus gebildet ist.
9. Wärmespeicheranordnung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Speichermaterial (12) elektrisch leitend ist und eine elektrische Leitfähigkeit von 10^3 S/m bis 10^6 S/m aufweist.
10. Wärmespeicheranordnung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Speichermaterial (12) eines oder mehrere der folgenden Materialien umfasst oder daraus gebildet ist: carbidkeramische Materialien, insbesondere Siliziumcarbid und/oder Titancarbid, silizidkeramische Materialien, insbesondere Molybdän-Disilizid, boridkeramische Materialien, insbesondere Titanborid.
11. Wärmespeicheranordnung (10) zur Speicherung und/oder Übertragung von mittels elektromagnetischer Induktion erzeugter Wärme, insbesondere nach einem der vorhergehenden Ansprüche, umfassend
 - einen Speicherraum (14) mit einem induktiv erwärmbaren Speichermaterial (12) und einer ersten Strömungsführung (24) zur Leitung von Wärmeträgermedium (16) in thermischem Kontakt zu dem Speichermaterial (12) von einer Eintrittsseite (34) zu einer Austrittsseite (36) und
 - eine Induktoranordnung (40) mit einer um dem Speicherraum (14) angeordneten Induktorvorrichtung (42) zur Erwärmung des Speichermaterials (12),
dadurch gekennzeichnet,
dass die Wärmespeicheranordnung (10) einen umlaufend um den Speicherraum (14) angeordneten elektrisch nicht-leitenden Mantel (30) umfasst, in welchen die Induktorvorrichtung (42) eingebracht ist, wobei in dem Mantel (30) zumindest eine weitere

Strömungsführung (26, 28) zur Leitung eines Anteils (20, 22) des Wärmeträgermediums (16) angeordnet ist.

12. Wärmespeicheranordnung (10) nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet,
dass die weitere Strömungsführung (26, 28) zumindest eine zweite Strömungsführung (26) umfasst, die radial zwischen dem Speicherraum (14) und der Induktorvorrichtung (42) angeordnet ist, wobei insbesondere vorgesehen ist, die zweite Strömungsführung (26) als, vorzugsweise umlaufend, um den Speicherraum (14) angeordneter Ringkanal (50) ausgebildet ist.
13. Wärmespeicheranordnung (10) nach einem der Ansprüche 11 oder 12,
dadurch gekennzeichnet,
dass die weitere Strömungsführung (26, 28) eine dritte Strömungsführung (28) umfasst, welche in einem die Induktorvorrichtung (42) radial außen umgebenden Teil des elektrisch nicht-leitenden Mantels (30) angeordnet ist, wobei die Ausgestaltung insbesondere so ausgeführt ist, dass die dritte Strömungsführung (28) zumindest einen, vorzugsweise eine Vielzahl von, den Mantel (30) durchsetzenden Kanal/Kanäle aufweist.
14. Wärmespeicheranordnung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass zumindest ein Kanal der weiteren Strömungsführungen (26, 28), insbesondere der dritten Strömungsführung (28), eine die Wärmeübertragung verbessernde Kanalgeometrie und/oder erhöhte Wandrauigkeit aufweist.
15. Wärmespeicheranordnung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die zumindest eine weitere Strömungsführung (26, 28) zumindest teilweise von der Eintrittsseite (34) ausgeht, wobei das Wärmeträgermedium (16) von einem Gesamtstrom in einen ersten Anteil (18) zur Durchströmung der ersten Strömungsführung (24) und zumindest einen weiteren Anteil (20, 22) zur Durchströmung der zumindest einen weiteren Strömungsführung (26, 28) aufteilbar und/oder aufgeteilt ist, wobei insbesondere das Verhältnis der Anteile (18, 20, 22) während des Betriebs variierbar ist.
16. Wärmespeicheranordnung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die zumindest eine weitere Strömungsführung (26, 28) zumindest teilweise auf der Austrittsseite (34) mündet, wobei die Anteile (18, 20, 22) des Wär-

meträgermediums (16) auf der Austrittsseite (34) zusammenführbar und/oder zusammengeführt sind.

17. Wärmespeicheranordnung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

dass an der Austrittsseite (34), anschließend an den Mantel (30), eine Sammelvorrichtung (46) angeordnet ist, in dem die Anteile (18, 20, 22) zusammenführbar und/oder zusammengeführt sind, wobei die Ausgestaltung insbesondere so ausgeführt ist,

dass zwischen der Sammelvorrichtung (46) und dem Mantel Dichtmittel (48) angeordnet sind, die insbesondere nicht hochtemperaturfest ausgebildet sind, z. B. aus Graphit-Material.

18. Wärmespeicheranordnung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

dass zwischen dem Mantel (30) und dem Speicher-
raum (14) zumindest ein Isoliermittel (38) zur ther-
mischen Isolation angeordnet ist, z. B. aus hochtem-
peraturfester und mikroporöser Isolation.

19. Verfahren zur Speicherung und/oder Übertragung
von mittels elektromagnetischer Induktion erzeugter
Wärme in einer Wärmespeicheranordnung (10), die
insbesondere nach einem der vorhergehenden An-
sprüche ausgebildet ist, bei dem in einem Speicher-
raum (14) angeordnetes Speichermaterial (12) mit-
tels einer um dem Speicherraum (14) angeordneten
Induktorvorrichtung (42) einer Induktoranordnung
(40) induktiv erwärmt wird und wobei die Wärme bei
der Entnahme an ein Wärmeträgermedium (16)
übertragen wird, welches von einer Eintrittsseite (34)
zu einer Austrittsseite (36) durch zumindest eine ers-
te Strömungsführung (24) strömt und/oder fließt.

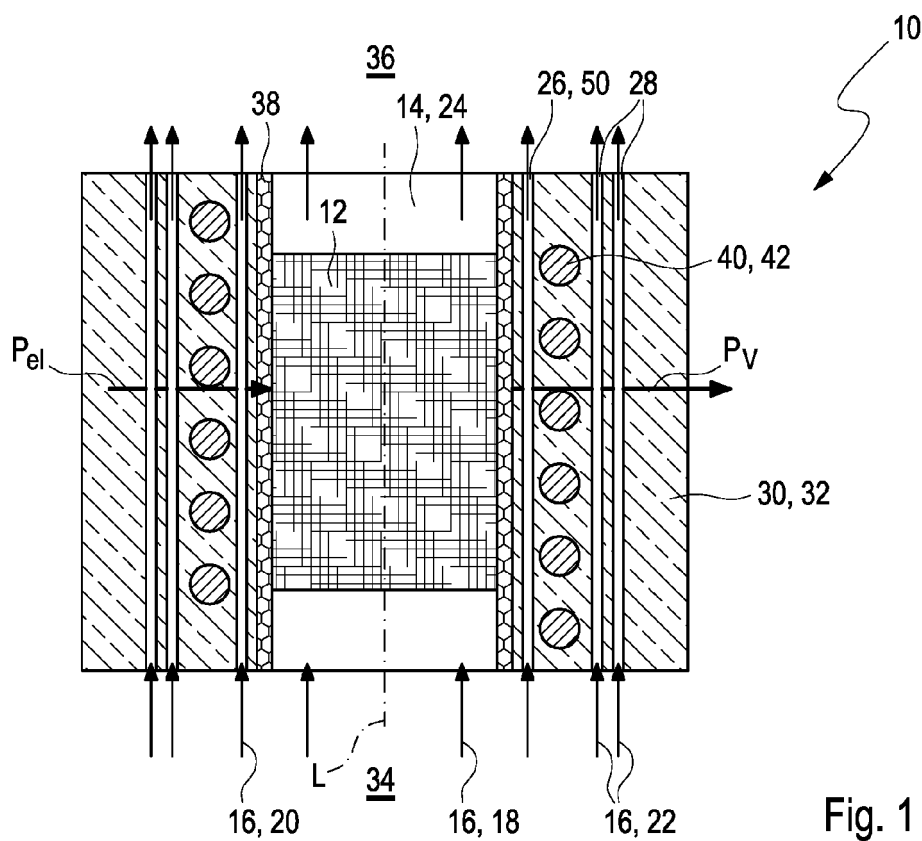


Fig. 1

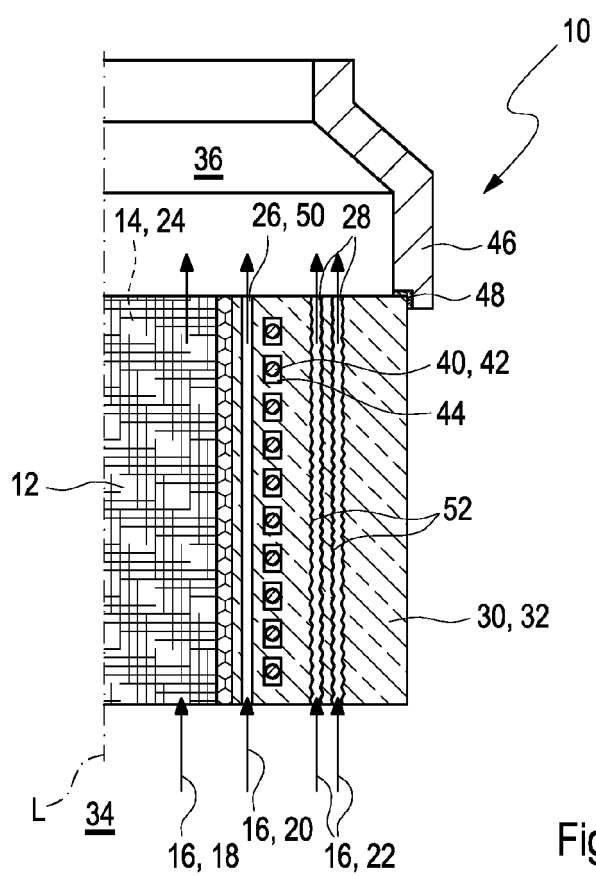


Fig. 2

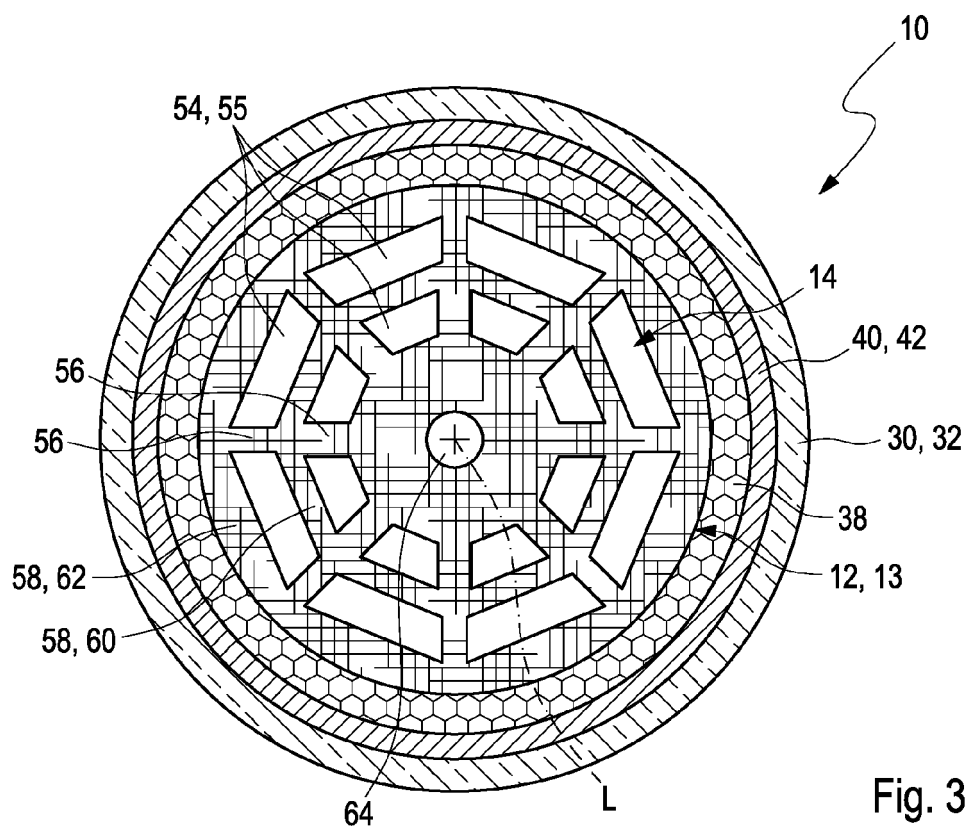


Fig. 3

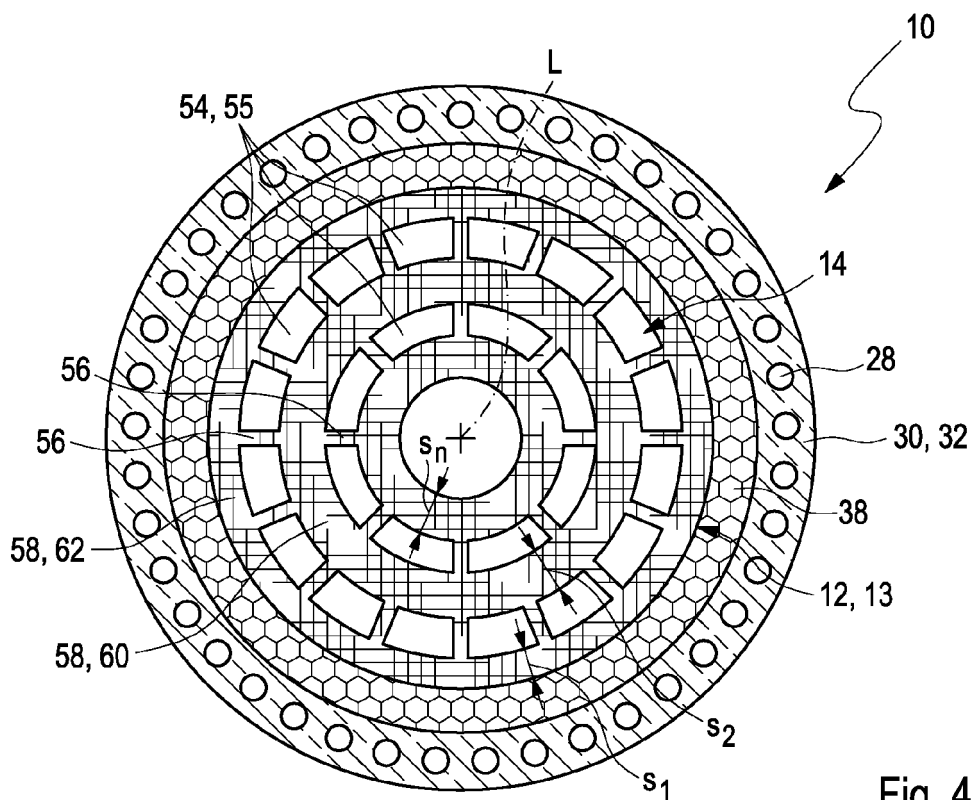


Fig. 4

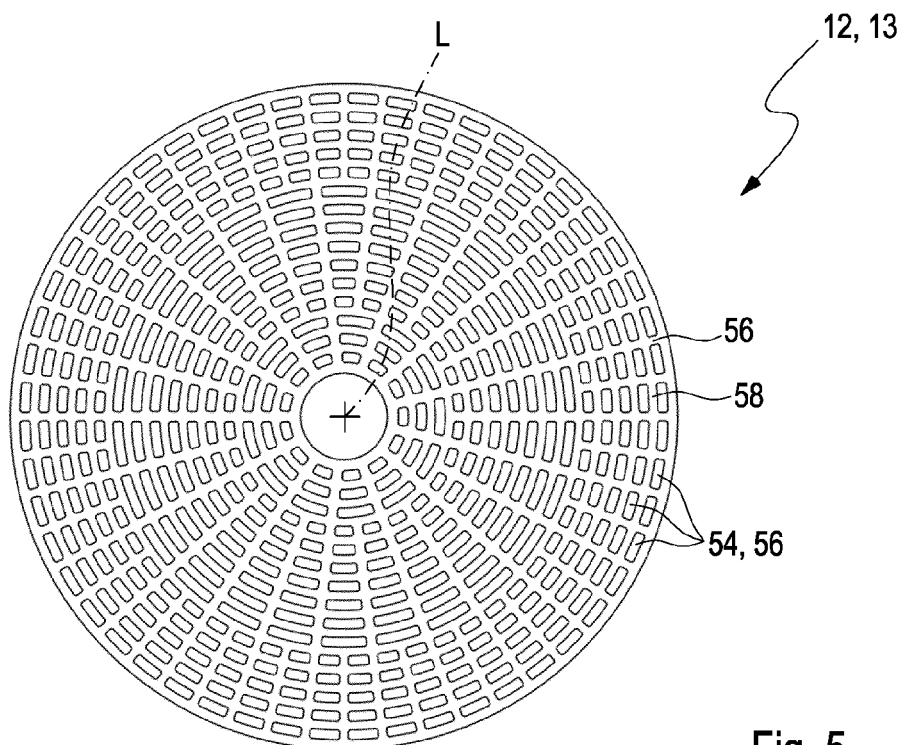


Fig. 5

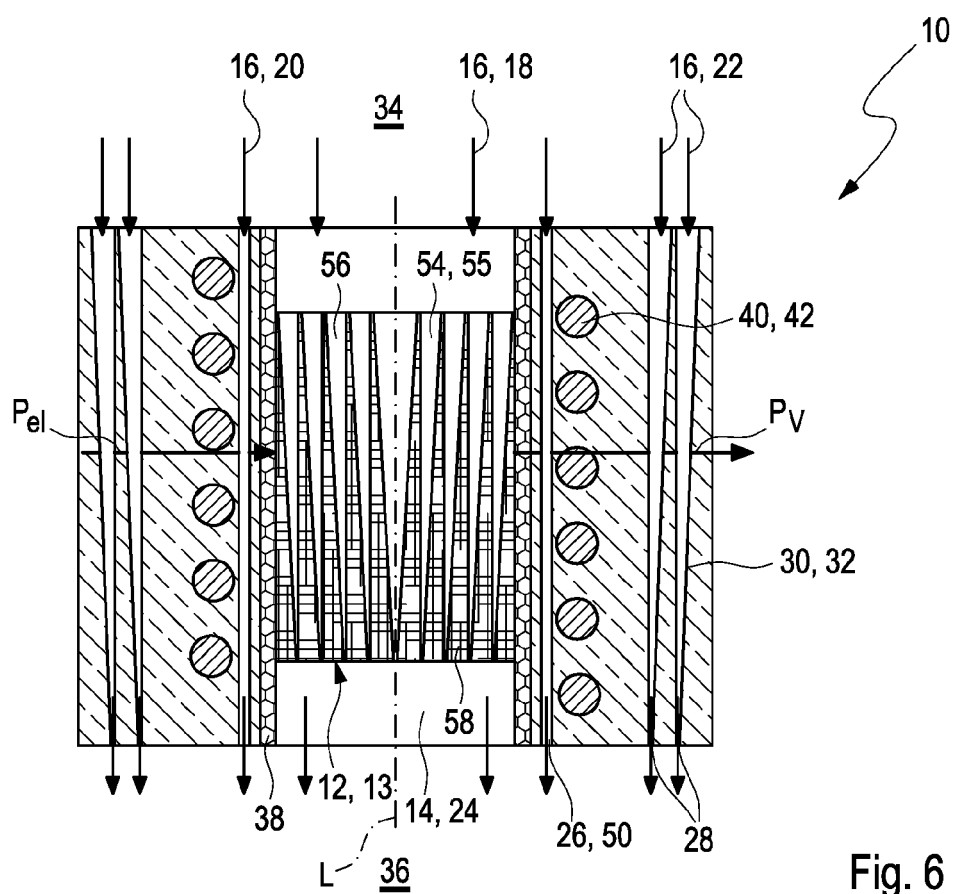


Fig. 6

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102019207967 A1 **[0002]**
- DE 2117103 A **[0003]**
- DE 102017125669 A1 **[0004]**
- DE 112018001252 T5 **[0005]**
- DE 102011109779 A1 **[0006]**
- US 3596034 A **[0006]**
- DE 2117103 A1 **[0006]**
- DE 102016119668 A1 **[0006]**
- EP 2574756 A1 **[0006]**