

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 220/2018
(22) Anmeldetag: 24.07.2018
(43) Veröffentlicht am: 15.06.2019

(51) Int. Cl.: **F28D 20/02** (2006.01)
F28D 20/00 (2006.01)

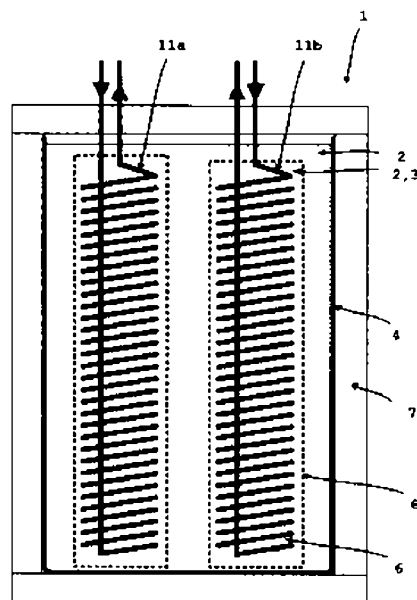
(56) Entgegenhaltungen:
WO 2011109885 A1
DE 2238612 A1

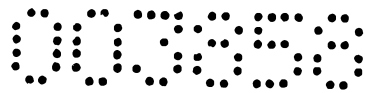
(71) Patentanmelder:
Maßwohl Josef Dipl. Ing. Dr. techn.
8350 Fehring (AT)

(72) Erfinder:
Maßwohl Josef Dipl. Ing. Dr. techn.
8350 Fehring (AT)

(54) **Wärmespeicher mit Rohrwärmetauscher in wärmeleitendem Granulat**

(57) Die Erfindung betrifft einen Wärme- beziehungsweise Kältespeicher (1), bei dem ein Rohrwärmetauscher (6) in ein granuläres Material (3) eingebettet wird. Dessen Porenraum wird von einem Speichermaterial (2) durchsetzt, wobei die Wärmeleitfähigkeit des granulären Materials (3) jene des Speichermaterials (2) im flüssigen Zustand um ein Mehrfaches übertrifft. Kostengünstige Speichermaterialien (2) mit hohen spezifischen Wärmekapazitäten und/oder Schmelzenthalpien, insbesondere Wasser und Paraffin, besitzen leider schlechte Wärmeleitwerte. Mit in diesen Materialien eingebetteten Rohrwärmetauschern (6) lassen sich deswegen nur relativ geringe thermische Leistungen erzielen. Die Erfindung löst dieses Problem, indem die Rohrwärmetauscher (6) in ein gut wärmeleitendes granuläres Material (3) eingebracht werden, wobei der Porenraum desselben bis zur Sättigung mit dem Speichermaterial (2) durchsetzt wird. Das granuläre Material (3) fixiert die Rohrwärmetauscher (6) auch mechanisch, wodurch aufwändige konstruktive Maßnahmen, wie sie nach dem Stand der Technik insbesondere bei Latentwärmespeichern notwendig sind, hinfällig werden.



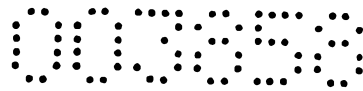


Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft einen Wärme- beziehungsweise Kältespeicher (1), bei dem ein Rohrwärmetauscher (6) in ein granulares Material (3) eingebettet wird. Dessen Porenraum wird von einem Speichermaterial (2) durchsetzt, wobei die Wärmeleitfähigkeit des granularen Materials (3) jene des Speichermaterials (2) im flüssigen Zustand um ein Mehrfaches übertrifft.

Kostengünstige Speichermaterialien (2) mit hohen spezifischen Wärmekapazitäten und/oder Schmelzenthalpien, insbesondere Wasser und Paraffin, besitzen leider schlechte Wärmeleitwerte. Mit in diesen Materialien eingebetteten Rohrwärmetauschern (6) lassen sich deswegen nur relativ geringe thermische Leistungen erzielen. Die Erfindung löst dieses Problem, indem die Rohrwärmetauscher (6) in ein gut wärmeleitendes granulares Material (3) eingebracht werden, wobei der Porenraum desselben bis zur Sättigung mit dem Speichermaterial (2) durchsetzt wird. Das granulare Material (3) fixiert die Rohrwärmetauscher (6) auch mechanisch, wodurch aufwändige konstruktive Maßnahmen, wie sie nach dem Stand der Technik insbesondere bei Latentwärmespeichern notwendig sind, hinfällig werden.

Fig. 1



Wärmespeicher mit Rohrwärmetauscher in wärmeleitendem Granulat

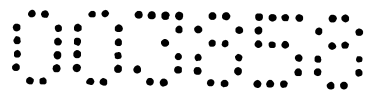
Die Erfindung betrifft Wärme- beziehungsweise Kältespeicher, wie sie insbesondere in der Heizungs-, Klima- und Sanitärtechnik, aber auch zur Bereitstellung von Prozesswärme/-kälte benötigt werden.

Nach dem Stand der Technik wird die Wärme und/oder Kälte über ein in einem Rohrwärmetauscher (insbesondere aus Kupfer, Edelstahl oder Polyethylen) strömenden Wärmeträgermedium auf ein flüssiges Speichermaterial (insbesondere Wasser oder Paraffin) übertragen beziehungsweise wieder von diesem entnommen. Zur Steigerung der Energiedichte kann der Speicher im Hinblick auf das Speichermaterial auch als Latentwärmespeicher ausgebildet sein.

Die Leistungsfähigkeit der Rohrwärmetauscher wird insbesondere durch folgende Maßnahmen gesteigert:

Aus **US 6,178,770 B1** ist ein Latentwärmespeicher (bevorzugt mit dem Phasenspeichermaterial Wasser/Eis) bekannt, bei dem das Rohr des Rohrwärmetauschers einen elliptischen oder rechteckigen Querschnitt aufweist, wodurch es gegenüber einem kreisförmigen Querschnitt zu einer Vergrößerung der Rohroberfläche und damit der Wärmeaustauschfläche kommt.

Aus **EP 3 147 584 B1** ist ein Flüssigkeitsspeicher mit ebenfalls elliptischem Rohrquerschnitt eines Rohrwärmetauschers bekannt. Die Längsachse des Rohrquerschnittes ist nun außerdem in einem Winkel von $\pm 30^\circ$ und $\pm 60^\circ$ zur Horizontalen geneigt, wodurch ein verbesserter Wärmeübergang im Hinblick auf die sich ausbildende freie Strömung des Speichermediums erzielt wird.



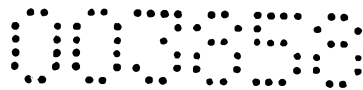
Aus **DE 20 2016 103 148 U1** ist ein Latentwärmespeicher bekannt, bei dem das Speichermedium (Phasenspeichermaterial) rund um eine Wärmequelle oder -senke von einem Geflecht (beispielsweise einem Drahtgeflecht, einer Wolle, einem Wellgitter) eines wärmeleitenden Materials durchzogen wird. Dadurch wird der resultierende Wärmeübergang zwischen Wärmequelle/-senke und Phasenspeichermaterial verbessert.

Aus **WO 2010/026017 A1** (Fig. 5) ist ein Kältegerät bekannt, bei welcher ein offenporiger Metallschaum an eine vom Wärmeträgermedium durchströmte Rohrleitung angeformt ist. Der offenporige Metallschaum realisiert eine große Oberfläche, über welche die über das Wärmeträgermedium in den Rohren herangeführte Wärme an ein Kühlmedium abgegeben werden kann.

Aus **EP 1 430 530 B1** ist ein Wärmetauscher bekannt, bei dem ein ebenfalls offenporiger Metallschaum stoffschlüssig mit einem Wärmeverteiler verbunden ist. Der Wärmeverteiler weist kanalförmige Strukturen auf, die der Aufnahme von Rohren dienen, die ihrerseits von einem flüssigen Wärmeträgermedium durchströmt werden. Wärmeverteiler und Metallschaum werden in einem Arbeitsgang durch Gießen hergestellt.

Aus dem Stand der Technik sind ebenfalls Latentwärmespeicher bekannt, bei denen das Phasenspeichermaterial einen aluminiumbasierten Metallschaum durchsetzt. Dabei kann die Wärmeleitung im Hinblick auf das Speichermaterial Paraffin etwa um den Faktor 24 (von $0,26 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ auf $6,3 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$) verbessert werden. Bei Wasser steigt der durchschnittliche Wärmeleitwert um den Faktor 12 (von $0,6 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ auf $7,2 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$).

Die **technische Aufgabe** der gegenständlichen Erfindung ist es, die Leistung von Rohrwärmetauschern (6), die in ein Speichermaterial (2) eingebettet sind, signifikant zu steigern. Die **Lösung der Aufgabe** erfolgt indem der

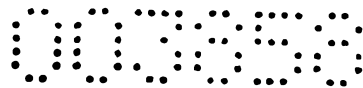


Rohrwärmetauscher (6) in die Matrix eines granularen Materials (3) eingebettet und dessen Porenzwischenraum bis zur Sättigung vom Speichermaterial (2) durchsetzt wird. Das granulare Material (3) weist dabei im Hinblick auf eine Optimierung des Porenvolumens eine enge Stufung der Korngröße auf, sowie eine Wärmeleitfähigkeit, welche jene des Speichermaterials (2) im flüssigen Zustand um ein Mehrfaches übertrifft. Der Vorteil dieser Lösung besteht in ihrer einfachen baulichen Realisierbarkeit (insbesondere für große unterirdische Speicher mit einem Energieinhalt von mehreren hundert oder tausend Kilowattstunden) sowie der breiten Verfügbarkeit und geringen Kosten von Materialien mit relativ hoher Wärmeleitfähigkeit, insbesondere auf der Basis der chemischen Elemente SiO_2 (Quarzkies) und Al_2O_3 (Korund). Der Nachteil eines - bezogen auf das Gesamtvolumen - relativ geringen Speichervolumens beziehungsweise einer relativ geringen Energiedichte wird bewusst in Kauf genommen beziehungsweise auf jenen Teil des Speichervolumens eingeschränkt, welcher den Rohrwärmetauscher (6) enthält.

Die resultierende Wärmeleitfähigkeit einer von einer Flüssigkeit durchsetzten Matrix eines Feststoffes lässt sich annähernd errechnen durch:

$$\Lambda_{\text{mixture}} = \Lambda_{\text{fluid}}^v \cdot \Lambda_{\text{solid}}^{1-v}$$

wobei v den Volumsanteil der Flüssigkeit darstellt, Λ_{mixture} die Wärmeleitfähigkeit des Gemischs, Λ_{fluid} jene der Flüssigkeit und Λ_{solid} jene des Feststoffs. Die Formel ist annähernd gültig, wenn die Wärmeleitfähigkeit des Feststoffes jene der Flüssigkeit um nicht mehr als das Fünffzehnfache übertrifft. Geht man beispielsweise von einem Porenvolumen von 40 Prozent aus und den Wärmeleitfähigkeiten $6,5 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ für Quarzkies beziehungsweise $0,6 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ für Wasser beziehungsweise $2,2 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ für Eis beziehungsweise $0,26 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ für Paraffin, ergeben sich die resultierenden



Wärmeleitfähigkeiten für das Kieswassergemisch zu $2,5 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ (Verbesserung um den Faktor 4,2), für das Kieseisgemisch zu $4,2 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ (Faktor 1,9) und für das Kiesparaffingemisch zu $1,8 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ (Faktor 6,9). Diese Werte sind zwar jenen der oben erwähnten Metallschaum-Lösung klar unterlegen, jedoch fallen im Gegenzug auch die Kosten für die Errichtung eines entsprechenden Speichers ungleich niedriger aus.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Die vorliegende Erfindung wird nun anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen und unter Bezugnahme auf die Zeichnungen erläutert.

Fig. 1 zeigt eine Variante des erfindungsgemäßen Wärmespeichers (1), welche einen Durchlauferhitzer für die hygienische Bereitstellung von Warmwasser realisiert.

Fig. 2 zeigt den schematischen Längs- und Querschnitt einer weiteren Variante des erfindungsgemäßen Wärmespeichers (1), bei der das gesamte Speichervolumen von einem granularen Material (3) durchsetzt wird.

Fig. 3 zeigt eine Variante des erfindungsgemäßen Wärmespeichers (1), der als Gesamtes in das Erdreich (9) eingebracht ist.

Fig. 4 zeigt eine schematische Einbindung des Wärmespeichers (1) in ein Heiz-/Kühlsystem.

Fig. 5 zeigt ein Beispiel aus dem Stand der Technik.

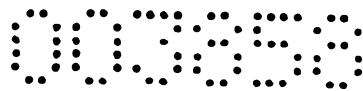
Detaillierte Beschreibung der Ausführungsbeispiele

Fig. 1 zeigt eine Variante des erfindungsgemäßen Wärmespeichers (1), welche einen Durchlauferhitzer für die hygienische Bereitstellung von Warmwasser realisiert. Er besteht aus zwei Rohrwärmetauschern (6), wobei der eine

(11b) zur Beladung des Speichers (1) und der andere (11a) zur Entnahme von im Durchlauf erwärmtem Warmwasser verwendet wird. Die wendelförmigen Rohrwärmetauscher (6) befinden sich jeweils in einem mit dem granularen Material (3) befüllten Rohr (8), welches durch eine Perforierung für das Speichermaterials (2) durchlässig gemacht wird. Das den Rohrwärmetauscher (6) umgebende granulare Material (3) erhöht seine Leistung signifikant, ist doch die Wärmeleitfähigkeit der mit Wasser durchsetzten Matrix in Abhängigkeit vom verwendeten Material um das vier- bis zwölfwache größer als jene von Wasser. Gleichzeitig wird die Korngröße und Stufung des granularen Materials (3) im Hinblick auf eine möglichst geringe Behinderung der freien Konvektion so gewählt, dass die hydraulische Leitfähigkeit des Wassers hoch bleibt: eine enge Stufung und Korngrößen von über 2 Millimeter halten den hydraulischen Leitwert über 10^{-2} m/s. Der Lochdurchmesser der Perforierung muss selbstverständlich die Korngröße unterschreiten.

In der gegenständlichen Variante liegt der Wärmespeicher in druckloser Ausführung vor. Selbstverständlich kann er aber auch druckbehaftet ausgebildet werden; in diesem Fall könnte die Beladung oder Entladung direkt erfolgen und damit auf einen der Wärmetauscher verzichtet werden.

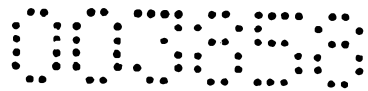
Fig. 2 zeigt den schematischen Längs- und Querschnitt einer weiteren Variante des erfindungsgemäßen Wärmespeichers (1), bei der das gesamte Speichervolumen von einem granularen Material (3) durchsetzt wird. Er besteht aus einem Speicherkörper, aufgebaut aus einem granulearem Material (3) und einem in dessen Porenraum befindlichen und wenigstens in einer Betriebsart flüssigen Speichermaterial (2), einer Speicherhülle (4), welche ein Auslaufen des Speichermaterials (2) verhindert, einer thermischen Isolation (7), welche den Speicherkörper thermisch gegen die



Umgebung isoliert, sowie wenigstens einen in das granulare Material (3) eingebetteten Rohrwärmetauscher (6).

Der Wärme- bzw. Kältetransport aus oder in den Wärmespeicher (1) erfolgt über ein im Rohrwärmetauscher (6) strömendes Wärmeträgermedium (5), insbesondere Ethylenglykol oder Wasser. Im Hinblick auf eine einfache Errichtung des Wärmespeichers (1) besteht der Rohrwärmetauscher (6) aus äquidistant beabstandeten, horizontalen Rohrmatten (6a), die hydraulisch mithilfe eines externen Verteilers parallelgeschaltet sind. Das Rohr einer Rohrmatte (6a) ist dabei spiralförmig in einer Ebene verlegt, wobei die Rohrwindungen in einer ersten, unteren Lage vom Verteiler weg- und in einer zweiten, oberen Lage wieder zu diesem zurückführen. Auf diese Weise erreicht man den gleichen Effekt wie bei einer bifilaren Wicklung, nämlich eine annähernd konstante Wärmeleistung über die gesamte Länge des Rohrwärmetauschers (6). Als Rohrmaterial kommt typischerweise Polyethylen (PE) zum Einsatz, wegen seiner Elastizität und Zähigkeit bevorzugt PE-X (vernetztes Polyethylen), wie es auch bei Fußbodenheizungen verwendet wird. Bei der Errichtung des Wärmespeichers (1) wird nun zunächst eine Schicht des granularen Materials (3) eingebracht und annähernd plan gezogen; darauf wird dann eine vorgefertigte Rohrmatte (6a) mit langen, geraden Anschlussstücken gehoben; die Anschlussstücke werden mit großem Biegeradius abgebogen und senkrecht aus dem Wärmespeicher (1) geführt. Auf diese Weise kann der gesamte Wärmespeicher (1) schichtweise errichtet werden. Die Anschlussstücke der Rohrmatten (6a) werden schließlich zu einem externen Verteiler geführt und dort parallelgeschaltet.

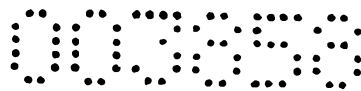
Viele Speichermaterialien (2) mit einer hohen Wärmekapazität und/oder - im Hinblick auf einen Latentwärmespeicher - einer hohen Schmelzenthalpie haben leider schlechte



Wärmeleitwerte, wodurch große Wärmeaustauschflächen notwendig sind, um die Energie von einem Wärmeträger (5) auf das Speichermaterial (2) beziehungsweise umgekehrt zu übertragen.

Das Problem eines schlechten Wärmeübergangs zwischen Speichermaterial (2) und Rohrwärmetauscher (6) ist insbesondere auch bei sogenannten Eisspeichern gegeben. Diese nutzen die Schmelzenthalpie des Mediums Wasser ($333 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$); während das Eis aber eine Wärmeleitfähigkeit von $2,2 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ besitzt und die Energieübertragung bei der Einbringung von „Kälte“ in den Speicher deswegen gut ist, beträgt die Wärmeleitfähigkeit von Wasser nur $0,6 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, wodurch – bedingt durch die Bildung eines Wasserfilms zwischen Rohrwärmetauscher (6) und Eis – bedeutende Leistungseinbußen bei der Entnahme der gespeicherten Kälte hinzunehmen sind. Dieses spezielle Problem wird bei der gegenständlichen Erfindung durch die Einbringung des Rohrwärmetauschers (6) in einen Koffer aus Rundkies mit einer engen Stufung der Korngröße gelöst. Die höchste Wärmeleitfähigkeit natürlicher Materialien besitzt reiner Quarzsand ($6,5 - 12 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$), aber auch wassergesättigte Matrizen von Sanden mit hohem Quarzanteil erreichen Wärmeleitwerte von über $3 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ und eine wassergesättigter Matrix eines Standardrundkieses mit einer Stufung von 4/8 Millimeter immerhin $2,5 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$.

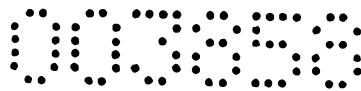
Die Verwendung eines enggestuften Rundkieses als Matrixmaterial hat nun neben der hohen Wärmeleitfähigkeit der gesättigten Matrix eine Reihe von weiteren Vorteilen: zum einen ist ein Porenraum von etwa 42 Prozent des Gesamtvolumens gegeben; das Material ist außerdem kostengünstig, weltweit verfügbar und einfach zu verarbeiten. Darüber hinaus ist es selbstverdichtend und schon in Ermangelung scharfer Kanten auch den Rohrwärmetauscher (6) und die Speicherhülle (4).



Die genannte Bauweise des Wärmespeichers (1) löst ein weiteres Problem, das sich üblicherweise aus der Volumszunahme des Wassers beim Übergang zu Eis (Anomalie des Wassers) ergibt: Die Eisbildung beim Einbringen der Kälte erfolgt zuerst um die Rohre des Rohrwärmetauschers (6). Da dieser in äquidistant beabstandete Rohrmatten (6a) aufgeteilt ist, und in jeder Rohrmatte (6) die Kälte gleichmäßig über die Länge des Speichers einbracht wird, gibt es genügend Kanäle, über die das verdrängte Wasser zunächst nach oben hin entweichen und von dort aus weiter abgeleitet werden kann. Bei der Entnahme der Kälte kommt es dann zur Ausbildung kleiner Hohlräume zwischen dem Eis und dem Rohrwärmetauscher (6), aber auch dies stellt kein Problem dar, weil die Gewichtslast des Speicherkörpers vom Kies aufgenommen wird und nicht unmittelbar den Rohrwärmetauscher (6) belastet.

Fig. 3 zeigt eine Variante des erfindungsgemäßen Wärmespeichers (1), der als Gesamtes in das Erdreich (9) eingebracht ist. Er entspricht in weiten Teilen der zuvor vorgestellten Variante. Die externe Parallelschaltung der Rohrmatten (6a) durch einen Soleverteiler (10a) in einem Verteilschacht (10b) ist nun zusätzlich zeichnerisch angedeutet.

Die thermische Isolierung (7) des Wärmespeichers (1) erfolgt nun bevorzugt durch handelsübliche Isoliervverbundplatten (7a), bestehend aus einem beidseitig mit Metall oder glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) beschichteten Dämmstoff, insbesondere Polyurethan (PU) oder Polyisocyanurate (PIR). Die Beanspruchung der Platten auf Durchbiegung kann vernachlässigt werden, wenn der Speicher bei seiner Errichtung innen und außen schichtweise mit dem granularen Material (3), bevorzugt einem Rundkies mit einer engen Stufung zwischen 4 und 8 Millimeter, befüllt wird. Die Befüllung des Raums zwischen Erdreich (9) und Wärmespeicher

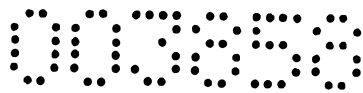


(1) mit dem Kies hat außerdem den Vorteil, dass eine gute Drainagewirkung gegeben ist, und dadurch die thermische Isolation des Wärmespeichers (1) gegenüber dem umgebenden Erdreich (9) verbessert wird. Zur Vermeidung von Verunreinigungen des Drainagekörpers empfiehlt sich außerdem die Einbringung eines Vlieses zwischen diesem und dem Erdreich (9).

Die Beladung und Entladung des Wärmespeichers (1) mit dem flüssigen Speichermaterial (2) erfolgt über ein perforiertes Rohr (8); gleichzeitig kann über dieses Rohr (8) auch der Füllstand des Speichers kontrolliert werden.

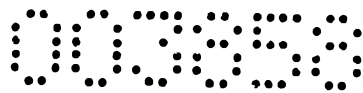
Fig. 4 zeigt eine schematische Einbindung des Wärmespeichers (1) in ein Heiz-/Kühlsystem. Die Beladung und Entladung des Speichers (1) erfolgt bei geschlossenem Speicher-Bypassventil (15b); im Falle der Beladung ist die Wärmepumpe/Kältemaschine (12) aktiv, bei der Entladung inaktiv. Die Wärme/Kälte wird über einen Koppelwärmetauscher (13) an den Verbraucher (14) abgegeben. Das Verbraucher-Bypassventil (15a) kann geöffnet werden, wenn die gesamte Leistung der Wärmepumpe/Kältemaschine (12) der Beladung des Speichers (1), das Speicher-Bypassventil (15b) dann, wenn die gesamte Leistung der Wärmepumpe/Kältemaschine (12) dem Verbraucher (14) zugeführt werden soll.

Fig. 5 zeigt ein Beispiel aus dem Stand der Technik. Ein Metallschaum umfasst dabei einen Rohrwärmetauscher, der von einem Wärmeträgermedium durchströmt wird. Der Metallschaum vergrößert die Wärmeaustauschfläche mit einem Kühlmedium und ist gut wärmeleitend mit dem Rohrwärmetauscher verbunden.



Bezugszeichenaufstellung

- 1 Wärmespeicher
- 2 Speichermaterial
- 3 Granulares Material
- 4 Speicherhülle
- 5 Wärmeträgermedium
- 6 Rohrwärmetauscher
- 6a Rohrmatte
- 7 Thermische Isolierung
- 7a Isolierverbundplatten
- 8 Perforiertes Rohr
- 9 Erdreich
- 10a Soleverteiler
- 10b Verteilschacht
- 11a Entladewärmetauscher
- 11b Ladewärmetauscher
- 12 Wärmepumpe / Kältemaschine
- 13 Koppelwärmetauscher
- 14 Verbraucher
- 15a Verbraucher-Bypassventil
- 15b Speicher-Bypassventil



Patentansprüche

1. Wärmespeicher (1) bestehend aus:

a) wenigstens einen in ein granulares Material (3) eingebetteten Rohrwärmetauscher (6), durchströmt von einem Wärmeträgermedium (5),

b) einem wenigstens in einer Betriebsart des Wärmespeichers (1) flüssigen Speichermaterial (2),

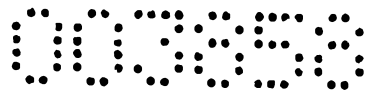
gekennzeichnet dadurch, dass das Speichermaterial (2) den Porenzwischenraum des granularen Materials (3) bis zur Sättigung durchsetzt, und die Wärmeleitfähigkeit des dem granularen Material (3) zugrundeliegenden Feststoffs jene des Speichermaterials (2) im flüssigen Zustand um ein Mehrfaches übertrifft.

2. Wärmespeicher (1) nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch,** dass die Korngröße des granularen Materials eine so enge Stufung aufweist, dass der Porenraum mindestens 40 Prozent des Gesamtvolumens des Speicherkörpers beträgt.

3. Wärmespeicher (1) nach den Ansprüchen 1 und 2, **gekennzeichnet dadurch,** dass er im Hinblick auf das Speichermaterial (2) als Latentwärmespeicher betrieben wird, wobei das Phasenspeichermaterial (2) insbesondere durch Wasser oder Paraffin ausgebildet ist.

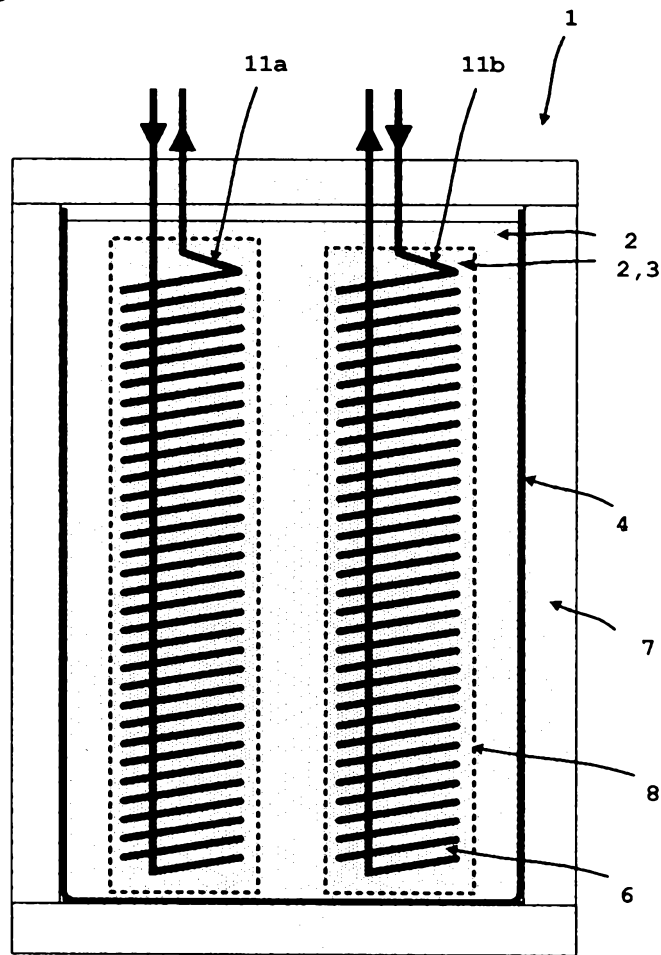
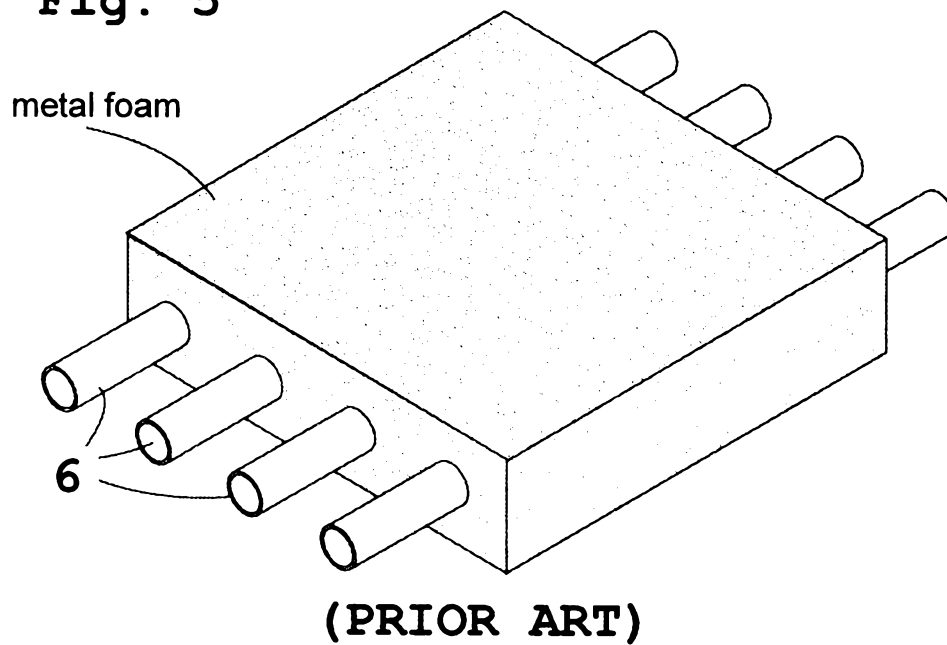
4. Wärmespeicher (1) nach den Ansprüchen 1 bis 3, **gekennzeichnet dadurch,** dass der Rohrwärmetauscher (6) aus einer Mehrzahl von horizontalen, hydraulisch parallel geschalteten Rohrmatten (6a) besteht, wobei diese annähernd äquidistant beabstandet sind.

5. Wärmespeicher (1) nach den Ansprüchen 1 bis 4, **gekennzeichnet dadurch,** dass das granulare Material (3) als ein enggestufter Rundkies mit hohem Quarzanteil



ausgebildet ist, wobei die Stufung der Korngröße bevorzugt 1/2 Millimeter oder 2/4 Millimeter oder 4/8 Millimeter beträgt.

6. Wärmespeicher (1) nach den Ansprüchen 1 bis 5,
gekennzeichnet dadurch, dass das granulare Material (3) durch ein Sandstrahlmittel, insbesondere aus Korund (Al_2O_3), Siliziumkarbid (SiC) oder Aluminium (Al), ausgebildet ist.
7. Wärmespeicher (1) nach den Ansprüchen 1 bis 6,
gekennzeichnet dadurch, dass er vollständig oder teilweise im Erdreich (9) ausgebildet ist.
8. Wärmespeicher (1) nach den Ansprüchen 1 bis 7,
gekennzeichnet dadurch, dass der Speicher (1) in seiner vertikalen Ausdehnung annähernd von einem perforierten Rohr (8) durchsetzt wird, wobei bauliche oder konstruktive Maßnahmen das Eindringen des granularen Materials (3) in das Rohrrinnere dauerhaft verhindern.

Fig. 1**Fig. 5**

003858

Fig. 2

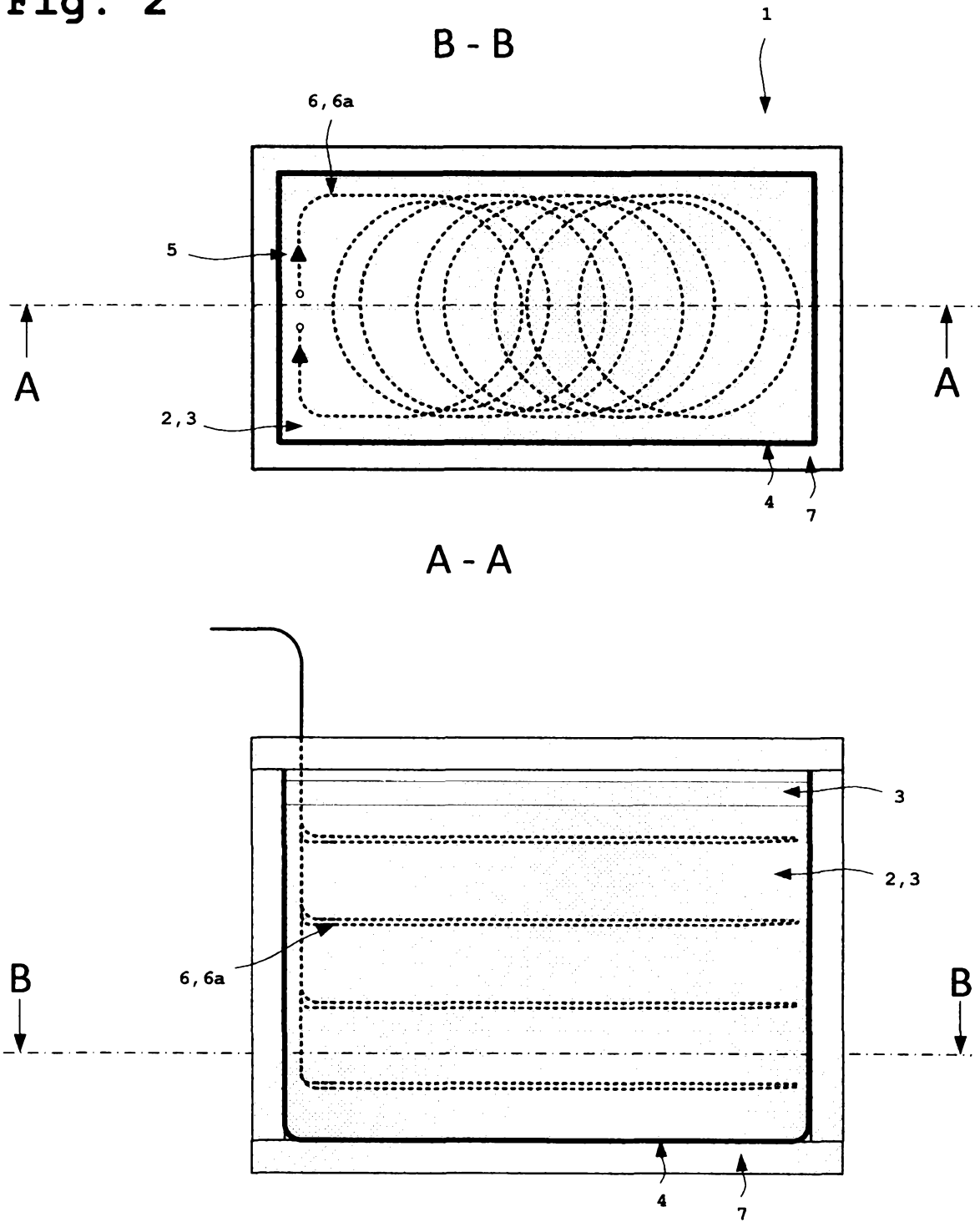


Fig. 3

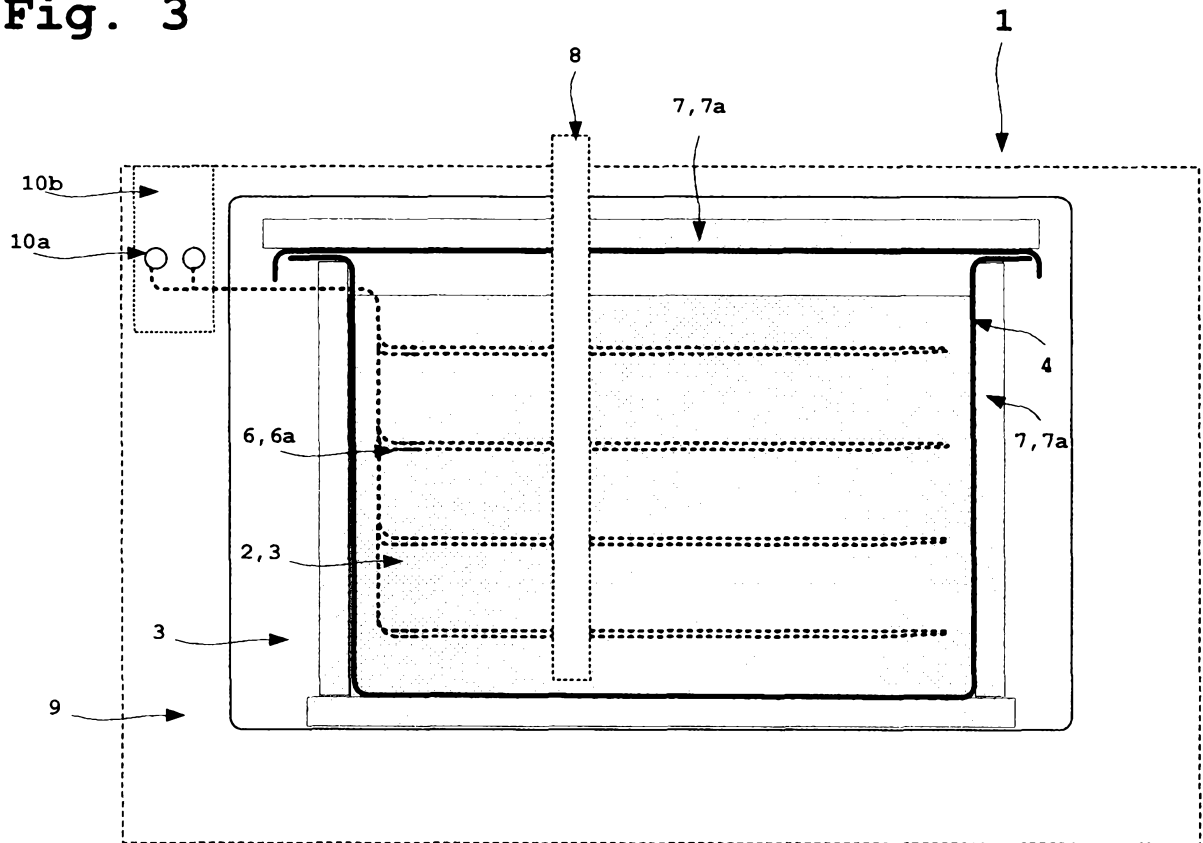


Fig. 4

