



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
26.03.2014 Patentblatt 2014/13

(51) Int Cl.:
F17C 1/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **13179051.1**

(22) Anmeldetag: **02.08.2013**

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

(30) Priorität: **02.08.2012 DE 102012107063**
02.08.2012 DE 102012107062
03.08.2012 DE 102012107124

(71) Anmelder: **Ed. Züblin AG**
70567 Stuttgart (DE)

(72) Erfinder:
• **Bertsch, Christine**
70567 Stuttgart (DE)
• **Niklasch, Dr., Christoph**
71139 Ehningen (DE)
• **Hörrle, Dominik**
76703 Kraichtal (DE)

(74) Vertreter: **Liedtke, Markus**
Liedtke & Partner
Patentanwälte
Gerhart-Hauptmann-Strasse 10-11
99096 Erfurt (DE)

(54) **Wärmespeicher**

(57) Die Erfindung betrifft einen Wärmespeicher (1) für eine adiabatische Druckluftspeicheranlage zum Zwecke der Energiespeicherung, umfassend einen Druckbehälter (4) und ein im Druckbehälter (4) angeordnetes Wärmespeichermaterial (3), wobei zwischen dem Wärmespeichermaterial (3) und einer Druckbehälterwand (7) zumindest eine thermisch isolierende Schicht (2) angeordnet ist.

Erfindungsgemäß ist die zumindest eine thermisch isolierende Schicht (2) aus zumindest einem Isoliermaterial, welches einen Porenanteil von 20 Volumenprozent bis 80 Volumenprozent aufweist und bei Temperaturen von bis zu mindestens 650 °C in Festkörperform vorliegt, ausgebildet oder umfasst dieses Isoliermaterial.

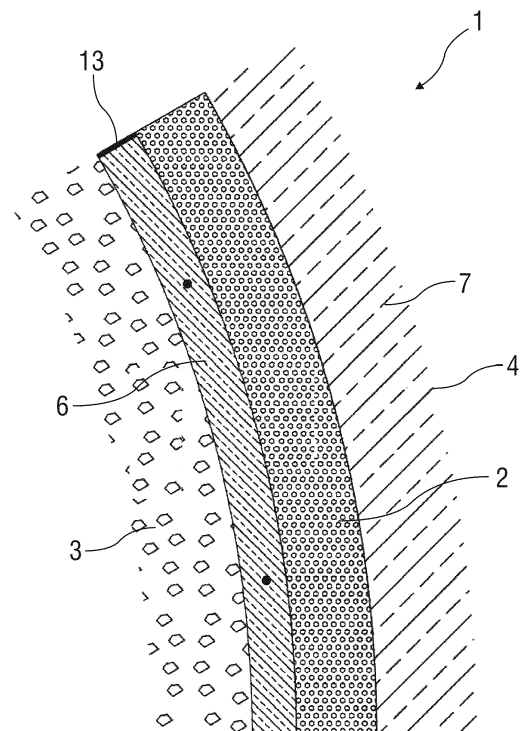


FIG 2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Wärmespeicher für eine adiabatische Druckluftspeicheranlage zum Zwecke der Energiespeicherung nach den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

[0002] Pumpspeicherkraftwerke, in denen Wasser bei einem Überschuss an elektrischer Energie auf große Höhe gepumpt wird und von dort bei Energiebedarf nach einer Gefällstrecke durch Turbinen schießt und somit seine vordem gespeicherte potentielle Energie, die am Ende der Gefällstrecke in Form kinetischer Energie vorliegt, wieder teilweise in elektrische Energie zurückverwandelt, sind vielfach bekannt und in gebirgigen Gegenden gebräuchlich. Im Flachland wären solche Pumpspeicherkraftwerke nur als extrem große und teure Ingenieurbauwerke möglich. Weltweit wird daher mit einigen wenigen unterirdischen Druckluftspeichern, zum Beispiel Salzkaavernen, ein anderer Weg zur temporären Energiespeicherung im Flachland beschritten, bei dem mit zeitweise überschüssig produzierter elektrischer Energie Luft komprimiert wird und dann in einem großen gasdichten unterirdischen Speicher vorgehalten wird, um bei zeitweise höherem elektrischen Energiebedarf durch Entnahme und Durchströmen einer Turbine wieder in elektrische Energie zurückverwandelt zu werden.

[0003] Beim Verdichten der Luft erhitzt sich diese. Für eine Verdichtung ohne Wärmeaustausch, wie sie im kurzen Moment des Verdichtens näherungsweise vorliegt, weil die Zeit für einen Wärmeaustausch nicht ausreicht, gelten für Druck p , Volumen V und Temperatur T die adiabatischen Zustandsgleichungen $p \cdot V^\kappa = \text{const}$ und $T^\kappa \cdot p^{1-\kappa} = \text{const}$, wobei der Adiabatenkoeffizient κ als

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v}, \text{ das Verhältnis aus molarer Wärmekapazität}$$

bei konstantem Druck bzw. konstantem Volumen, definiert ist.

[0004] Wird diese erhitzte Luft in die Kaverne gepumpt, so kühlt sie sich dort bis zur Entnahme mindestens teilweise ab. Strömt diese abgekühlte Luft bei Entnahme wieder durch die Turbine und dehnt sich dabei, ebenfalls adiabatisch, aus, so kühlt sie stark ab und es kommt zu ungewünschten Vereisungen. Um dies zu verhindern wird die Luft daher vor dem Eintritt in die Turbine wieder künstlich erhitzt, was bislang durch Verbrennen fossiler Kraftstoffe erfolgt, wodurch die Umweltbilanz und der Wirkungsgrad der adiabatischen Druckluftspeicheranlage negativ beeinflusst werden.

[0005] Daher wurde schon vorgeschlagen, die bei der Kompression der Luft entstandene Wärme in einen Wärmespeicher zu übertragen, und diese bei Entnahme der Luft aus dem Druckspeicher wieder auf die Luft zu übertragen, so dass die Luft formal adiabatisch gespeichert würde, d. h. durch die in der Realität stattfindenden geringen Wärmeverluste quasi adiabatisch, und keine Fremdenergie aufgewendet werden müsste, um die Luft

zu erhitzen.

[0006] Aus der EP 1 857 614 A2 ist ein Wärmespeicher für adiabatische Druckluftspeicherung zum Zwecke der Energiespeicherung bekannt. Der Wärmespeicher weist einen vorgespannten Betonmantel aus hochfestem Beton mit Stahlkappe auf. Die Vorspannung erfolgt horizontal und vertikal durch Spannglieder aus Kohlefasern. Eine hitzebeständige Schicht und eine thermisch isolierende Schicht trennen das Wärmespeichermaterial vom temperaturempfindlicheren Beton. Zwischen thermisch isolierender Schicht und Betonmantel/Stahlkappe befindet sich darüber hinaus, falls die thermisch isolierende Schicht nicht selbst in ausreichendem Maße thermisch isolierend wirkt, noch eine weitere thermisch isolierende Schicht aus Luft. Im Inneren des Betonmantels verläuft darüber hinaus auch noch ein Kühlwasserkreislauf zur Kühlung der Innenseite desselben.

[0007] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, einen gegenüber dem Stand der Technik verbesserten Wärmespeicher für eine adiabatische Druckluftspeicheranlage zum Zwecke der Energiespeicherung anzugeben.

[0008] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch einen Wärmespeicher für eine adiabatische Druckluftspeicheranlage zum Zwecke der Energiespeicherung mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

[0009] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0010] Ein Wärmespeicher, insbesondere ein großvolumiger Wärmespeicher, für eine adiabatische Druckluftspeicheranlage zum Zwecke der Energiespeicherung umfasst einen Druckbehälter und ein im Druckbehälter angeordnetes Wärmespeichermaterial, wobei zwischen dem Wärmespeichermaterial und einer Druckbehälterwand zumindest eine thermisch isolierende Schicht angeordnet ist.

[0011] Erfindungsgemäß ist die zumindest eine thermisch isolierende Schicht aus zumindest einem Isoliermaterial ausgebildet, welches einen Porenanteil von 20 Volumenprozent bis 80 Volumenprozent, vorzugsweise von 35 Volumenprozent bis 70 Volumenprozent, aufweist und bei Temperaturen von bis zu mindestens 650 °C, zumindest jedoch bei Temperaturen von bis zu mindestens 450 °C, 500 °C oder 600 °C, in Festkörperform vorliegt, oder die thermisch isolierende Schicht umfasst zumindest ein solches Isoliermaterial, welches einen Porenanteil von 20 Volumenprozent bis 80 Volumenprozent, vorzugsweise von 35 Volumenprozent bis 70 Volumenprozent, aufweist und bei Temperaturen von bis zu mindestens 650 °C, zumindest jedoch bei Temperaturen von bis zu mindestens 450 °C, 500 °C oder 600 °C, in Festkörperform vorliegt. Als Isoliermaterial für die thermisch isolierende Schicht wird somit ein derartiges Isoliermaterial verwendet, welches den im Wärmespeicher auftretenden Temperaturen standhält, d. h. insbesondere ist dessen Schmelztemperatur höher, vorzugsweise erheblich höher, als die im Wärmespeicher auftretenden Temperaturen.

[0012] Bei zweistufigen adiabaten Druckluftspeicherkraftwerken ist ein erster Wärmespeicher nach einer ersten Kompressorstufe im Druckbereich zwischen ca. 8 und 20 bar bei Temperaturen von 250 bis ca. 450 °C vorgesehen. Eine Zwischenkühlung vor der zweiten Kompressorstufe erfolgt erst nach dem Wärmespeicher. Je nach Umgebungsbedingungen, insbesondere Temperatur und Feuchte der zu komprimierenden Luft, liegt der Taupunkt der Druckluft oberhalb von ca. 40 bis 50 °C.

[0013] Die Temperaturverhältnisse im Wärmespeicher können so gesteuert werden, dass es im Wärmespeichermaterial, auch als Inventarmaterial bezeichnet, zu keinem planmäßigen Tauwasserausfall kommt. Verwendet man einen Spannbetondruckbehälter oder einen Stahlbetondruckbehälter, so nehmen mit zunehmender Temperatur die Kriechdehnungen zu und die Betonfestigkeiten und Steifigkeiten werden reduziert. Es wird deshalb angestrebt, die Betontemperatur auf Maximalwerte von ca. 50 °C zu begrenzen. In einer zwischen Wärmespeichermaterial und Betonoberfläche angeordneten Isolierung kann es dadurch zu einer Taupunktunterschreitung kommen. Offenporige Isolierstoffe wie Feuerleichtsteine, Dämmplatten oder Dämmwollen verlieren durch die eintretende Wassersättigung ihre Isolierwirkung. Ein Einsatz von Dämmplatten aus Styropor oder Styrodur ist aufgrund der Temperaturen bis zu 450 °C oder höher nicht möglich.

[0014] Vorteilhafterweise ist das Wärmespeichermaterial als Schüttung, beispielsweise aus Keramik, Basalt oder aus anderem Steinmaterial, zum Beispiel als Kügelchen, in Kiesform oder als Bruchmaterial, ausgebildet und im Wärmespeicher angeordnet, auch als Inventarschüttung oder Speicherinventarschüttung bezeichnet. Bei dieser Ausbildung und Anordnung des Wärmespeichermaterials müssen radial nach außen wirkende Lasten des Wärmespeichermaterials über innere Isolierungslagen auf den umgebenden Druckbehälter abgetragen werden. Zusätzlich müssen vertikal wirkende Lastanteile des Speichermaterials über die Isolierung in die Druckbehälterwand oder ein Fundament abgetragen werden.

[0015] Alternativ dazu ist das Wärmespeichermaterial aus Steinen mit durchgehenden Kanälen ausgebildet, beispielsweise aus Schamottsteinen, Ziegeln oder aus zumindest einem gebrannten Keramikmaterial. Bei dieser Ausbildung und Anordnung des Wärmespeichermaterials im Wärmespeicher müssen keine oder nur geringe Lasten in radialer Richtung nach außen über die thermisch isolierende Schicht übertragen werden.

[0016] Die erfindungsgemäße thermisch isolierende Schicht aus dem oben beschriebenen Isoliermaterial ist für derartige Wärmespeicher besonders geeignet. Sie kann in zweistufigen adiabaten Druckluftspeicheranlagen für den ersten Wärmespeicher, aber auch für den zweiten Wärmespeicher genutzt werden, ist jedoch nicht auf solche zweistufigen adiabaten Druckluftspeicheranlagen beschränkt, sondern beispielsweise auch für Druckluftspeicheranlagen mit lediglich einer Kompres-

sorstufe oder mit mehr als zwei Kompressorstufen geeignet.

[0017] Mit dem Isoliermaterial ist es überraschenderweise möglich, eine thermisch isolierende Schicht zu fertigen, die eine Taupunktunterschreitung erlaubt, die eine geringe Dichte und niedrige Wärmeleitfähigkeit aufweist, die sich an eine jeweilige Hohlraumgeometrie des Wärmespeichers anpasst und die des Weiteren bei einer entsprechenden Ausbildung des Wärmespeichers, welche im Folgenden noch näher beschrieben wird, auch Lasten aus dem bevorzugt als Schüttung im Wärmespeicher angeordneten Wärmespeichermaterial, auch als Speicherinventarschüttung bezeichnet, ableitet. Überraschenderweise ist es auch möglich, die thermisch isolierende Schicht als Betonwand oder Betonwände aus bewehrtem oder unbewehrtem Beton zu fertigen, welcher das Isoliermaterial als Zuschlagstoff aufweist, um diese vorteilhaften Eigenschaften der thermisch isolierenden Schicht zu erzielen. Auch diese thermisch isolierende Schicht erlaubt eine Taupunktunterschreitung, weist eine geringe Dichte und niedrige Wärmeleitfähigkeit auf und weist zudem eine ausreichend hohe Druckfestigkeit zur Übertragung der Lasten aus der Inventarschüttung, d. h. aus dem als Schüttung im Wärmespeicher angeordneten Wärmespeichermaterial, auf.

[0018] Vorzugsweise ist das zumindest eine Isoliermaterial ein geblähtes oder geschäumtes oder auf natürliche Weise entstandenes Material, beispielsweise Blähton, Blähglas, Schaumglas, Blähschiefer, Ziegelsplitt, Hüttenbims, gesinterte Steinkohlenflugasche, Blähperlit, Naturbims, Lavaschlacke oder Tuff. Die thermisch isolierende Schicht kann auch mit einer Mischung dieser Materialien ausgebildet sein. Dieses Isoliermaterial ist temperaturbeständig, auch bei den oben genannten hohen Temperaturen, welche im Wärmespeicher auftreten können, d. h. es bleibt fest und verändert seine physikalischen Eigenschaften nicht. Der Schmelzpunkt dieser Materialien liegt wesentlich höher als 650 °C.

[0019] Blähton liegt üblicherweise in Kugelform vor, ähnlich Hydrokulturkugeln. Der Blähton ist besonders vorteilhaft, da er gebranntes Material ist, welches hydrationsbeständig ist und eine über seine Dichte anpassbare Druckfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit der Schüttung aufweist. Seine Eigenschaften sind gegenläufig. Eine höhere Festigkeit bedeutet eine höhere Dichte und eine höhere Wärmeleitfähigkeit und somit eine schlechtere Isolierung. Der Blähton ist daher derart auszubilden, dass ein guter Kompromiss zwischen seiner Festigkeit, Dichte und thermischen Isolierfähigkeit erzielt wird. Auch Blähschiefer ist ein gebranntes Material, welches im Gegensatz zum Blähton eine unregelmäßige, schotterähnliche Kornform aufweist.

[0020] Durch die Verwendung der genannten Materialien zur Ausbildung der thermisch isolierenden Schicht verliert diese aufgrund der vorzugsweise zumindest teilweise geschlossenzelligen oder geschlossenporigen Struktur der genannten Materialien und/oder aufgrund einer bei einem Teil der genannten Materialien vorhan-

denen, die Feuchtigkeitsaufnahme bremsenden Sinterhaut und/oder aufgrund einer die Feuchtigkeitsaufnahme bremsenden Beschichtung selbst bei einer auftretenden Taupunktunterschreitung nur geringfügig an Dämmwirkung, d. h. an thermisch isolierender Wirkung, da nur Poren zwischen dem jeweiligen Isoliermaterial mit Wasser gesättigt werden können. Dies gilt auch für die aus Beton ausgebildete thermisch isolierende Schicht. Auch bei einer solchen Betonwand bleibt die Isolierwirkung im Falle einer Taupunktunterschreitung innerhalb der Betonwand erhalten, da der Beton durch seine Grobzuschläge aus dem vorzugsweise zumindest teilweise geschlossenzelligen Isoliermaterial in Form des Blähtons, des Blähglases, des Schaumglases oder des Blähschiefers oder der anderen oben genannten Materialien bei einer auftretenden Taupunktunterschreitung nur geringfügig an Dämmwirkung verliert, da nur die zumindest teilweise offenen Poren der Zementmatrix mit Wasser gesättigt werden können, nicht jedoch der zumindest teilweise geschlossenporige und/oder mit einer Sinterhaut versehene und/oder mit einer Beschichtung versehene Zuschlagstoff in Form des genannten Isoliermaterials. Das Isoliermaterial ist daher, um diese Vorteile zu erreichen, vorzugsweise zumindest teilweise geschlossenporig und/oder mit einer Sinterhaut versehen und/oder mit einer die Wasseraufnahme reduzierenden Beschichtung ausgebildet. Dies ist bei Blähton, Blähglas, Schaumglas oder Blähschiefer der Fall. Alternativ zu diesen Materialien kann das Isoliermaterial auch ein anderes Material sein, welches den oben genannten Porenanteil aufweist und bei den oben genannten Temperaturen in fester Form vorliegt, d. h. dessen Schmelztemperatur höher ist als die oben genannten Temperaturen, und welches vorzugsweise geschlossenporig ist und/oder mit einer Sinterhaut und/oder einer Beschichtung zur Verringerung der Wasseraufnahme versehen ist. Da die Poren des geschlossenporigen Materials mit Luft oder Gas gefüllt sind, wird zudem eine besonders gute thermische Isolationswirkung erreicht. Die Begriffe geschlossenporig und geschlossenzellig sind als Synonyme zu verstehen, d. h. es soll unter geschlossenporig und geschlossenzellig das Gleiche verstanden werden.

[0021] Von den oben genannten Materialien, welche bevorzugt als Isoliermaterial für die thermisch isolierende Schicht verwendet werden, hat insbesondere Blähglas eine geschlossenzellige Porenstruktur, Blähton beispielsweise nur teilweise. Bei einer Ausbildung der thermisch isolierenden Schicht als Schüttung oder bei der Verwendung des Isoliermaterials als Zuschlagstoff für Beton zur Herstellung der thermisch isolierenden Schicht kann auftretendes Kondensat nach unten abfließen, so dass sich das Isoliermaterial selbst bei keiner oder einer nur teilweise geschlossenporigen Struktur nicht sättigen kann. Selbst dann ist noch durch Hohlräume zwischen den Isoliermaterialpartikeln eine Dämmwirkung vorhanden.

[0022] Das zumindest eine Isoliermaterial ist zweckmäßigerweise in Schotterform und/oder in Kugelform

und/oder in abgerundeter Form ausgebildet. Diese Formen eignen sich sowohl zur Ausbildung der thermisch isolierenden Schicht als Schüttung, welche auch verdichtet werden kann, als auch als Zuschlagstoff für den Beton. Bei der Kugelform oder der abgerundeten Form wird eine besonders gute Lastabtragung erreicht, insbesondere bei der Ausbildung der thermisch isolierenden Schicht als Schüttung.

[0023] In einer vorteilhaften Ausführungsform ist die zumindest eine thermisch isolierende Schicht als Schüttung aus dem Isoliermaterial ausgebildet. Dabei kann das Isoliermaterial während der Schichtausbildung verdichtet worden sein. Ist der Wärmespeicher derart ausgebildet, dass die thermisch isolierende Schicht lastabtragend ist, so leitet diese als Schüttung ausgebildete thermisch isolierende Schicht radiale Lastanteile des Wärmespeichermaterials auf den lastabtragenden Druckbehälter, genauer gesagt auf die Druckbehälterwand, weiter. Vertikale Lasten des Wärmespeichermaterials werden von dieser thermisch isolierenden Schicht ebenfalls auf den Druckbehälter oder in ein Fundament des Druckbehälters weitergeleitet. Dazu ist die als Schüttung ausgebildete thermisch isolierende Schicht aus dem Isoliermaterial überraschenderweise trotz ihrer geringen Dichte in der Lage. Bevorzugt wird die Schüttung aus dem Isoliermaterial zur Ausbildung der thermisch isolierenden Schicht lagenweise eingebracht und maschinell verdichtet. Dadurch kann die thermisch isolierende Schicht höhere Lasten übertragen. Im Vergleich zu einer Isolierung mit entsprechend ausgeformten Steinen ist keine aufwendige Formgebung erforderlich, sondern es kann jede gewünschte Form mit der Schüttung oder Schottererschicht gefüllt werden.

[0024] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist die zumindest eine thermisch isolierende Schicht aus Beton ausgebildet, welcher das Isoliermaterial als Zuschlagstoff aufweist. Die thermisch isolierende Schicht ist bei dieser Ausführungsform zweckmäßigerweise als eine Betonwand aus dem Beton mit dem Isoliermaterial als Zuschlagstoff ausgebildet. Im Vergleich zu einer Isolierung mit entsprechend ausgeformten Steinen ist keine aufwendige Formgebung erforderlich, sondern es kann jede gewünschte Form gegossen werden. Zudem können Auflagerkonsole für Isoliersteine oder lastabtragende Stahleinbauten, die nicht druckfeste Isolierwerkstoffe vor den radialen Spannungen aus der Schüttung des Wärmespeichermaterials schützen, vermieden werden. Daher weist die thermisch isolierende Schicht aus dem Beton mit dem Isoliermaterial als Zuschlagstoff keine die Isolierwirkung herabsetzenden Wärmebrücken zwischen der Schüttung des Wärmespeichermaterials und der Druckbehälterwand auf. Durch eine angepasste Zusammensetzung des Betons ist es überraschenderweise möglich, Druckspannungen aus der Schüttung des Wärmespeichermaterials, d. h. aus der Inventarschüttung, zu übertragen, die die Druckfestigkeiten einer reinen, ungebundenen Schüttung aus dem Isoliermaterial überschreiten.

[0025] Der Beton der zumindest einen thermisch isolierenden Schicht kann ohne eine Bewehrung ausgebildet sein oder eine Bewehrung und/oder Rissbleche und/oder eingelagerte Fasern aufweisen. Infolge der Temperaturgradienten innerhalb der als Betonwand ausgebildeten thermisch isolierenden Schicht wird die Seite, die zum Wärmespeichermaterial hin orientiert ist, größere thermische Dehnungen erfahren als die Seite, die zur Druckbehälterwand hin orientiert ist. Aufgrund der geringen Zugfestigkeiten der Betonwand mit dem Isoliermaterial als Zuschlagstoff ist eine Rissbildung auf der Seite, die die niedrigeren Temperaturen aufweist, nicht zu vermeiden. Überraschenderweise ist die Isolierwirkung jedoch auch bei der Verwendung einer Stahlbewehrung aus Stabstahl und/oder Stabstahlmatten ausreichend groß. Die Rissbildung kann durch eine eingebettete Bewehrung und/oder zusätzliche Rissbleche entweder auf wenige breite Risse oder auf viele feine Risse verteilt werden und die inneren Spannungen infolge der Temperaturgradienten durch die Rissbildung abgebaut werden.

[0026] Die Rissbleche, welche in den Beton eingegossen sind, dienen dabei der Vorgabe der Position, an welcher sich die Risse bevorzugt ausbilden sollen. Durch die Rissbleche wird die Betonwand an der Einbauposition des jeweiligen Rissblechs gezielt geschwächt, um eine Rissbildung an dieser Position zu provozieren und damit an anderen Stellen zu vermeiden. Die notwendige Lastabtragung in radialer Richtung zwischen Speicherinventarschüttung, d. h. der Schüttung des Wärmespeichermaterials, hin zur Druckbehälterwand wird von einer Rissbildung überraschenderweise nicht beeinträchtigt, da im Falle großer Druckspannungen die Risse überdrückt werden und sich schließen. Überraschenderweise wird auch die Abtragung vertikaler Lastanteile aus der Speicherinventarschüttung über die Betonwand mit dem Isoliermaterial als Zuschlagstoff durch eine Rissbildung auf der kälteren Seite der Betonwand nicht verhindert, da die überdrückten wärmeren Bereiche der Betonwand Druckspannungen übertragen können. Ebenso ist es möglich, dass sich ein Teil der Risse oder alle Risse im kälteren Bereich der Betonwand bei ausreichend hohen Druckspannungen in vertikaler Richtung schließen und ebenfalls Druckspannungen übertragen.

[0027] Durch die Herstellung dieser Betonwand mit einer Zementsteinmatrix ist chemisch und/oder physikalisch gebundenes und/oder ungebundenes Wasser in der Porenstruktur der Zementsteinmatrix vorhanden. Um eine Zerstörung der Zementsteinmatrix und damit der Betonwand bei einer Erwärmung oberhalb des Verdampfungspunktes des Wassers in der Zementsteinmatrix zu verhindern, muss die Zementsteinmatrix eine offenzellige Porenstruktur mit einer ausreichend großen Wasserdampfpermeabilität aufweisen. Neben der Wahl eines geeigneten Wasser/Zementwertes ist es möglich, Fasern zur Vergrößerung der Permeabilität und oder der Schaffung von verbundenen Poren zu erhalten. Bevorzugt verwendet werden dabei Fasern aus Polyethylen,

die einen niedrigen Schmelzpunkt aufweisen. Alternativ können andere Fasermaterialien eingesetzt werden, die ebenfalls eine ausreichend hohe Wasserdampfpermeabilität der Zementsteinmatrix sicherstellen.

[0028] Bei einer Ausbildung aus Beton ist die zumindest eine thermisch isolierende Schicht zweckmäßigerweise aus einer Mehrzahl von Segmenten ausgebildet, wobei zumindest zwischen nebeneinander angeordneten Segmenten jeweils eine Dehnfuge ausgebildet ist. Durch die Dehnfugen werden Lasten infolge thermischer Dehnungen in Umfangsrichtung der thermisch isolierenden Schicht bzw. des Wärmespeichers vermieden oder zumindest reduziert. Diese Dehnfugen können in radialer Richtung des Wärmespeichers verlaufen. Bevorzugt sind die Segmente jedoch derart ausgebildet, dass die Dehnfugen zwischen nebeneinander angeordneten Segmenten in radialer Richtung des Wärmespeichers stufenförmig verlaufen. Die Fugengeometrie ist somit derart ausgebildet, dass die Fugen radial versetzt verlaufen. Jeder Fugenabschnitt geht in radialer Richtung nicht über die komplette Wanddicke der Betonwand, sondern wird in einem oder mehreren Abschnitten in Umfangsrichtung so versetzt, dass Dehnungen in Umfangsrichtung ohne Spannungen aufgenommen werden können, direkte Konvektionsströmungen über die Betonwand jedoch reduziert werden. Ein Druckausgleich über die Dehnfugen der Betonwand hinweg ist jedoch sicherzustellen, um einen Überdruck zwischen thermisch isolierender Betonwand und Behälterhülle im Falle einer schnellen Druckreduzierung im Wärmespeicher zu verhindern, da die thermisch isolierende Betonwand ansonsten auf diese Belastung hin ausgelegt werden müsste.

[0029] Vorteilhafterweise ist zwischen dem Wärmespeichermaterial und der zumindest einen thermisch isolierenden Schicht eine Trennschicht angeordnet. Diese Trennschicht ist vorzugsweise aus Beton, aus Metall, beispielsweise aus Stahlblech, oder aus Ziegelsteinen ausgebildet. Diese Trennschicht dient als lastverteilende Schicht. Die Trennschicht ermöglicht die Trennung der thermisch isolierenden Schicht vom Wärmespeichermaterial, um deren Durchmischung zu verhindern, insbesondere bei einer Ausbildung der thermisch isolierenden Schicht nicht als Betonwand, sondern als Schüttung aus dem Isoliermaterial. Insbesondere bei dieser Ausbildung der thermisch isolierenden Schicht als Schüttung aus dem Isoliermaterial hat die Verwendung eines Wärmespeichermaterials aus Steinen mit durchgehenden Kanälen den Vorteil, dass eine solche Trennschicht nicht unbedingt erforderlich ist, da eine Durchmischung des Isoliermaterials und des Wärmespeichermaterials nicht stattfinden kann und da keine oder nur geringe Lasten in radialer Richtung nach außen über die thermisch isolierende Schicht übertragen werden müssen.

[0030] Bei einer Trennschicht aus Stahlblech werden die vertikalen Lastanteile aus der Speicherinventarschüttung, d. h. aus der Schüttung des Wärmespeichermaterials, über Reibung auf die Stahlbleche übertragen, die

die vertikalen Lasten vergleichmäßigen und auf die thermisch isolierende Schicht weiterleiten. Bei einer Ausbildung der Trennschicht aus Beton kann diese beispielsweise aus Betonfertigteilen ausgebildet sein. Diese Trennschicht wirkt lastverteilend und ermöglicht eine vertikale Lastabtragung. Sie kann mit eingelagerten Fasern versehen sein, beispielsweise mit Fasern aus Polyethylen (PE) oder Polypropylen (PP), um keinen Überdruck in den Poren des Betons bei einer Temperaturerhöhung über 100 °C hinaus zu erhalten. Auch eine Ausbildung dieser Trennschicht als eine Ziegelsteinwand ist möglich.

[0031] Zweckmäßigerweise sind zwischen der Trennschicht und der Druckbehälterwand eine Mehrzahl die zumindest eine thermisch isolierende Schicht durchdringende oder in dieser eingelagerte Stahlträger und/oder Stützen angeordnet. Dies ermöglicht beispielsweise den Einbau der thermisch isolierenden Schicht, insbesondere als Schüttung, und deren Verdichtung, bevor die Schüttung aus dem Wärmespeichermaterial im Wärmespeicher angeordnet ist. Die Stahlträger und/oder Stützen können beispielsweise als Stahlträger oder Stahlbolzen ausgebildet sein, welche die Trennschicht mit einer bevorzugt vorhandenen Stahlauskleidung des Druckbehälters verbinden und die Lasten aus der Trennschicht, welche beispielsweise aus Stahlblechen ausgebildet ist, zur Druckbehälterwand weiterleiten.

[0032] Vorzugsweise sind die Stützen jeweils als Rückverankerung des jeweiligen Stahlträgers an der Druckbehälterwand ausgebildet. Mittels der Stahlträger, welche zweckmäßigerweise als Stahlträger ausgebildet sind, erfolgt eine Abtragung der Schüttilasten des Wärmespeichermaterials über die Trennschicht, beispielsweise aus Stahlblechen, auf die Stahlträger und über diese erfolgt eine Übertragung der Horizontallasten auf die Druckbehälterwand. Vertikale Lastanteile aus der Schüttung des Wärmespeichermaterials werden über die Trennschicht auf die Stahlträger übertragen, die diese sammeln und als Punktlasten in das Fundament des Wärmespeichers einleiten.

[0033] Zweckmäßigerweise sind die Stahlträger jeweils in einem Bodenbereich des Druckbehälters verankert und in der jeweiligen als Rückverankerung ausgebildeten Stütze in vertikaler Richtung beweglich gelagert. Zur Lasteinleitung von Vertikallasten auf Druck oder Zug benötigen die Stahlträger ein in vertikaler Richtung unverschiebliches Lager am Fuß des Stahlträgers bei der Lasteinleitung in das Fundament. Da die Stahlträger am Rand der thermisch isolierenden Schicht liegen und eine thermisch leitende Verbindung zu der Trennschicht beispielsweise aus Stahlblechen besitzen, werden sie deutlich erhöhte Temperaturen bis zur Temperatur des Wärmespeichermaterials erfahren. Die Temperatur des Wärmespeichermaterials kann zyklisch schwanken. Um die Spannungen in den Stahlträgern infolge Temperaturdehnungen der Stahlträger zu begrenzen, sind die Stahlträger oberhalb des Fundamentes in vertikaler Richtung verschieblich in den Rückverankerungen gelagert. Gleichzeitig müssen die Stahlträger über die Rückver-

ankerungen in radialer Richtung Zug- und Druckkräfte in die Druckbehälterwand einleiten können. In Umfangsrichtung sind die Stahlträger an den Rückverankerungen unverschieblich gehalten, um eine Schiefstellung oder Verkippung zu verhindern. Eine bevorzugte Ausbildung der Rückverankerung ist eine Art Klammer, die einen Flansch des Stahlträgers umgreift, Zug- und Druckkräfte in Radialrichtung aufnimmt und eine Verschiebung in Umfangsrichtung verhindert. In vertikaler Richtung ist eine freie Verschiebung der Stahlträger an den Rückverankerungspunkten möglich.

[0034] Die bevorzugte Beschränkung des direkten Kontakts zwischen den Stahlträgern und der Druckbehälterwand auf die Kontaktpunkte der Rückverankerungen ermöglicht es, dass in dieser bevorzugten Ausbildung bis auf die Rückverankerungsstellen ebenfalls das Isoliermaterial zwischen den Stahlträgern und der Druckbehälterwand liegt und für eine Isolierung sorgt. In einer bevorzugten Ausbildung werden die Abmessungen der Stahlträger so gewählt, dass sie kleiner sind als der Abstand zwischen Stahlträger und Druckbehälterwand. Dadurch werden die Temperaturgradienten in den Stahlträgern und somit die thermisch induzierten Spannungen in den Stahlträgern reduziert.

[0035] Vergleichbar zu den Stahlträgern erfahren auch die Stahlbleche der Trennschicht thermische Dehnungen. Um die daraus resultierenden Spannungen möglichst gering zu halten bzw. vorzugsweise ganz zu verhindern, sind die Stahlbleche auf den Stahlträgern vorzugsweise so gelagert, dass Dehnungen in Umfangs- und Vertikalrichtung ohne Zwangsspannungen aufgenommen werden können. Bevorzugt kann dies pro Stahlblech mit vier Stahlbolzen mit einem Festlager, zwei in jeweils einer Richtung verschieblichen Langlöchern und einem in zwei Richtungen verschieblichen Loch geschehen. Radialkräfte aus der Inventarschüttung können über Pressung zwischen den Stahlblechen und den Stahlträgern übertragen werden. Die Befestigung der Stahlbleche an den Stahlträgern beispielsweise über Stahlbolzen ist so gewählt, dass die Lasten aus der als Schüttung ausgebildeten thermisch isolierenden Schicht auch ohne Wärmespeichermaterial im Wärmespeicher sicher in die Stahlträger eingeleitet werden.

[0036] Das zumindest eine Isoliermaterial weist vorzugsweise Korngrößen von einem Millimeter bis 60 mm auf, bevorzugt bis oder kleiner als 32 mm, besonders bevorzugt bis oder kleiner als 16 mm, vorteilhafterweise bis oder kleiner als 8 mm, besonders vorteilhafterweise bis oder kleiner als 2 mm. Mit Isoliermaterial mit einer Korngröße bis 2 mm sind insbesondere bei einer Ausbildung der thermisch isolierenden Schicht aus Beton andere Zuschlagstoffe, beispielsweise Kies, durch das Isoliermaterial zu ersetzen. Zur Ausbildung der thermisch isolierenden Schicht können die Partikel aus dem Isoliermaterial jeweils unterschiedliche Korngrößen aufweisen. Größere Korngrößen sind für das Abfließen von auftretenden Kondensatwassermengen hilfreich und reduzieren das kapillare Saugen zwischen den einzelnen Kör-

nern/Kugeln der Schüttung der thermisch isolierenden Schicht. Auf der anderen Seite ist die Größe der einzelnen Körner/Kugeln zu begrenzen, um auch unregelmäßige Hohlräume im Einbauraum der thermisch isolierenden Schicht im Wärmespeicher sicher und vollständig zu verfüllen. Kleinere Partikelgrößen sind zudem robuster bei den auftretenden Drücken innerhalb des Wärmespeichers. Der die thermisch isolierende Schicht aufnehmende Hohlraum im Wärmespeicher, d. h. deren Einbauraum, ist dabei so ausgebildet, dass auftretendes Tauwasser bevorzugt der Schwerkraft folgend nach unten abfließen kann, um bevorzugt im unteren Bereich des Wärmespeichers über vorhandene Förderleitungen und/oder zusätzliche Kondensatabführleitungen aus dem Wärmespeicher abgeleitet zu werden.

[0037] Die Trennschicht zwischen dem Wärmespeichermaterial und der thermisch isolierenden Schicht weist, um zu verhindern, dass die Trennschicht mit dem Druck im Wärmespeicher beaufschlagt wird, vorzugsweise kleine Löcher auf, so dass ein Druckausgleich zwischen beiden Seiten der beispielsweise aus Stahlblechen ausgebildeten Trennschicht möglich ist. Die Löcher sind auf die Korngröße des Isoliermaterials abgestimmt, um ein Austreten des Isoliermaterials durch die Druckausgleichsöffnungen zu verhindern. Die mittlere Korngröße muss daher auch ausreichend groß gewählt werden, dass die Schüttung etwaig notwendige offene Dehnungen und Druckausgleichsöffnungen nicht durchdringen oder vollständig zusetzen kann. Daher sind Korngrößen kleiner als 16 mm, bevorzugt kleiner als 8 mm, besonders vorteilhaft.

[0038] Um das Gewicht der Schüttung der thermisch isolierenden Schicht, welches auf die untersten Partikel wirkt, zu begrenzen, kann es vorteilhaft sein, den die thermisch isolierende Schicht aufnehmenden Hohlraum in einzelne vertikale Abschnitte zu unterteilen, ohne Kondensatabflussmöglichkeiten einzuschränken.

[0039] Für die Ausbildung der thermisch isolierenden Schicht aus Beton mit dem Isoliermaterial als Füllstoff ist es, um eine hohe thermische Isolationswirkung zu erzielen, vorteilhaft, größere Größtkorndurchmesser für die Herstellung des Betons zu verwenden. Um eine gute Formbarkeit und eine ausreichend hohe Druckfestigkeit der Betonwand sicherzustellen, werden jedoch bevorzugt Größtkorndurchmesser bis 32 mm verwendet. Durch den teilweisen Ersatz von Sanden bis 2 mm Größtkorndurchmesser ebenfalls durch Isoliermaterial entsprechender Korngrößen ist es möglich, die Wärmeleitfähigkeit des Betons zu reduzieren.

[0040] Die Druckbehälterwand ist zweckmäßigerweise aus Stahlbeton, aus Spannbeton oder aus Stahl ausgebildet. Auf diese Weise wird eine ausreichende Druckstabilität erreicht, um den hohen Drücken der komprimierten und durch den Wärmespeicher hindurchgeleiteten Luft standzuhalten.

[0041] An einer Innenseite der Druckbehälterwand ist vorteilhafterweise eine Schutzschicht angeordnet, welche die Druckbehälterwand mechanisch und/oder ther-

misch von der thermisch isolierenden Schicht abschirmt und entkoppelt und die Reibung zwischen der Druckbehälterwand und der thermisch isolierenden Schicht reduziert.

[0042] Zweckmäßigerweise ist in der Druckbehälterwand und/oder zwischen der Druckbehälterwand und der Schutzschicht eine Kühleinrichtung angeordnet, beispielsweise in Form von Kühlkanälen oder Kühlleitungen, welche von einem Kühlmittel durchströmt sind. Dies dient, zusätzlich zur thermisch isolierenden Schicht, dem thermischen Schutz der Druckbehälterwand, so dass deren zu starke Erhitzung verhindert ist.

[0043] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im Folgenden anhand von Zeichnungen näher erläutert.

[0044] Darin zeigen:

Figur 1 schematisch eine Querschnittsdarstellung einer ersten Ausführungsform eines Wärmespeichers für eine adiabatische Druckluftspeichereinrichtung zum Zwecke der Energiespeicherung,

Figur 2 schematisch eine Querschnittsdarstellung einer zweiten Ausführungsform eines Wärmespeichers für eine adiabatische Druckluftspeichereinrichtung zum Zwecke der Energiespeicherung,

Figur 3 schematisch eine Draufsicht auf eine Trennschicht aus Betonsegmenten,

Figur 4 schematisch eine Querschnittsdarstellung einer dritten Ausführungsform eines Wärmespeichers für eine adiabatische Druckluftspeichereinrichtung zum Zwecke der Energiespeicherung,

Figur 5 schematisch eine Querschnittsdarstellung einer vierten Ausführungsform eines Wärmespeichers für eine adiabatische Druckluftspeichereinrichtung zum Zwecke der Energiespeicherung,

Figur 6 schematisch eine Querschnittsdarstellung einer fünften Ausführungsform eines Wärmespeichers für eine adiabatische Druckluftspeichereinrichtung zum Zwecke der Energiespeicherung,

Figur 7 schematisch eine Querschnittsdarstellung einer sechsten Ausführungsform eines Wärmespeichers für eine adiabatische Druckluftspeichereinrichtung zum Zwecke der Energiespeicherung, und

Figur 8 schematisch eine Querschnittsdarstellung einer siebten Ausführungsform eines Wärmespeichers für eine adiabatische Druckluftspei-

cheranlage zum Zwecke der Energiespeicherung.

[0045] Einander entsprechende Teile sind in allen Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

[0046] Die Figuren 1, 2 und 4 bis 8 zeigen schematisch verschiedene Ausführungsformen eines Wärmespeichers 1 für eine adiabatische Druckluftspeichereinrichtung zum Zwecke der Energiespeicherung, jeweils in einer Querschnittsdarstellung, wobei die Figuren 2, 5, 6 und 8 jeweils nur einen Ausschnitt des Querschnitts des Wärmespeichers 1 zeigen. Dabei zeigen die Figuren 1 und 2 sowie 7 und 8 Wärmespeicher 1 mit einer lastabtragenden thermisch isolierenden Schicht 2 und die Figuren 4 bis 6 Wärmespeicher 1 mit einer nicht lastabtragenden thermisch isolierenden Schicht 2, bei welchen daher zusätzliche Maßnahmen zur Lastabtragung erforderlich sind. Unter Lastabtragung wird die Übertragung vertikaler und horizontaler Lasten eines als Schüttung im Wärmespeicher 1 angeordneten Wärmespeichermaterials 3, welche insbesondere aufgrund von Wärmedehnungen des Wärmespeichermaterials 3 auftreten, auf einen Druckbehälter 4 und/oder ein Fundament des Wärmespeichers 1 verstanden. Die Figur 3 zeigt schematisch in Draufsicht eine aus Betonsegmenten 5 ausgebildete Trennschicht 6 der in Figur 2 dargestellten Ausführungsform des Wärmespeichers 1.

[0047] Der Wärmespeicher 1 umfasst in allen Ausführungsformen den Druckbehälter 4 und das im Druckbehälter 4 angeordnete Wärmespeichermaterial 3, beispielsweise aus Keramik, Basalt oder aus anderem Steinmaterial, zum Beispiel als Kügelchen, in Kiesform oder als Bruchmaterial. Dieses Wärmespeichermaterial 3, welches in Form einer Schüttung im Wärmespeicher 1 angeordnet ist, wird im Folgenden auch als Inventarschüttung bezeichnet. Zwischen dem Wärmespeichermaterial 3 und einer Druckbehälterwand 7 ist zumindest eine thermisch isolierende Schicht 2 angeordnet.

[0048] Der Druckbehälter 4 ist beispielsweise in Medizinkapselform ausgebildet, d. h. er weist zumindest an einem oberen Ende, bevorzugt auch an einem unteren Ende, jeweils eine halbschalenförmige Kuppel auf. Zwischen dem oberen und dem unteren Ende ist der Druckbehälter 4 röhrenförmig oder hohlzylinderförmig ausgebildet. Die Kuppel oder die Kuppeln kann/können beispielsweise auch abgeflacht ausgebildet sein und somit lediglich im Randbereich einen oder mehrere geschwungene Übergänge zum röhrenförmigen oder hohlzylinderförmigen Bereich des Druckbehälters 4 aufweisen. Vorzugsweise ist die thermisch isolierende Schicht 2 im Wesentlichen im Bereich einer gesamten Innenseite dieser medizinkapselförmigen Druckbehälterwand 7 angeordnet, beispielsweise nur unterbrochen von Förderleitungen zum Durchleiten komprimierter Luft durch den Wärmespeicher 1 und, wenn erforderlich, unterbrochen von zusätzlichen Kondensatabführleitungen und/oder von im Folgenden näher beschriebenen an der Druckbehälterwand 7 angeordneten und/oder befestigten Mitteln zur

Lastübertragung auf die Druckbehälterwand 7.

[0049] Durch diese Anordnung der thermisch isolierenden Schicht 2, so dass diese sich im Wesentlichen entlang der gesamten Innenseite der Druckbehälterwand 7 erstreckt, ist eine sichere thermische Isolierung der beispielsweise aus Spannbeton, Stahlbeton oder aus Stahl ausgebildeten Druckbehälterwand 7 gegenüber dem Wärmespeichermaterial 3 sichergestellt. Alternativ kann sich diese thermisch isolierende Schicht 2 aber beispielsweise auch nur über Teilbereiche der Innenseite der Druckbehälterwand 7 erstrecken, beispielsweise nicht über die Kuppeln am unteren und oberen Ende, sondern nur über den mantelförmigen oder röhrenförmigen Bereich zwischen den Kuppeln oder nur über eine oder beide Kuppeln und nicht über den mantelförmigen Bereich oder über den mantelförmigen Bereich und lediglich eine der beiden Kuppeln. Es können des Weiteren auch in Teilbereichen andere Isolierungsaufbauten gewählt sein. Um die Druckbehälterwand 7 zusätzlich vor einer zu starken Erhitzung zu schützen, kann in der Druckbehälterwand 7 und/oder an einer Innenseite der Druckbehälterwand 7 eine Kühleinrichtung angeordnet sein, beispielsweise in Form von Kühlkanälen oder Kühlleitungen, welche von einem flüssigen oder gasförmigen Kühlmittel durchströmt sind.

[0050] Diese zumindest eine thermisch isolierende Schicht 2 ist aus zumindest einem Isoliermaterial ausgebildet, welches einen Porenanteil von 20 Volumenprozent bis 80 Volumenprozent, vorzugsweise von 35 Volumenprozent bis 70 Volumenprozent, aufweist und bei Temperaturen von bis zu mindestens 650 °C, zumindest jedoch bei Temperaturen von bis zu mindestens 450 °C, 500 °C oder 600 °C, in Festkörperform vorliegt, oder die thermisch isolierende Schicht 2 umfasst zumindest ein solches Isoliermaterial, welches einen Porenanteil von 20 Volumenprozent bis 80 Volumenprozent, vorzugsweise von 35 Volumenprozent bis 70 Volumenprozent, aufweist und bei Temperaturen von bis zu mindestens 650 °C, zumindest jedoch bei Temperaturen von bis zu mindestens 450 °C, 500 °C oder 600 °C, in Festkörperform vorliegt.

[0051] Das zumindest eine Isoliermaterial ist zweckmäßigerweise ein geblähtes oder geschäumtes oder auf natürliche Weise entstandenes Material, beispielsweise Blähton, Blähglas, Schaumglas, Blähschiefer, Ziegelsplitt, Hüttenbims, gesinterte Steinkohlenflugasche, Bläherperl, Naturbims, Lavaschlacke oder Tuff. Die thermisch isolierende Schicht 2 kann auch mit einer Mischung dieser Materialien und/oder in verschiedenen Korngrößen ausgebildet sein. Dieses Isoliermaterial ist temperaturbeständig, auch bei den oben genannten hohen Temperaturen, welche im Wärmespeicher 1 auftreten können, d. h. es bleibt fest und verändert seine physikalischen Eigenschaften nicht oder nicht wesentlich oder nicht hinreichend nachteilig. Der Schmelzpunkt dieser Materialien liegt wesentlich höher als 650 °C. Blähton liegt üblicherweise in Kugelform vor. Der Blähton ist besonders vorteilhaft, da er gebranntes Material ist, wel-

ches hydratationsbeständig ist, und eine über seine Korndichte bzw. seine Schüttdichte anpassbare Druckfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit der Schüttung aufweist. Seine Eigenschaften sind gegenläufig. Eine höhere Festigkeit bedeutet eine höhere Dichte und eine höhere Wärmeleitfähigkeit und somit eine schlechtere Isolierung. Der Blähton ist daher derart auszubilden, dass ein guter Kompromiss zwischen seiner Festigkeit, Dichte und thermischen Isolierfähigkeit erzielt wird. Auch Blähschiefer ist ein gebranntes Material, welches im Gegensatz zum Blähton eine unregelmäßige schotterähnliche Kornform aufweist.

[0052] Durch die Verwendung der genannten Materialien zur Ausbildung der thermisch isolierenden Schicht 2 verliert diese aufgrund der vorzugsweise zumindest teilweise geschlossenzelligen oder geschlossenenporigen Struktur und/oder aufgrund einer vorzugsweise zumindest teilweise vorhandenen Sinterhaut und/oder aufgrund einer die Wasseraufnahme reduzierenden Beschichtung selbst bei einer auftretenden Taupunktunterschreitung nur geringfügig an Dämmwirkung, d. h. an thermisch isolierender Wirkung, da vorzugsweise nur Poren zwischen dem jeweiligen Material mit Wasser gesättigt werden können. Eine Sättigung des Porenraums zwischen den Isoliermaterialpartikeln wird durch die Ableitung eventuell anfallenden Kondensats vermieden.

[0053] Das zumindest eine Isoliermaterial ist zweckmäßigerweise in Schotterform und/oder in Kugelform und/oder in abgerundeter Form ausgebildet. Diese Formen eignen sich sowohl zur Ausbildung der thermisch isolierenden Schicht 2 als Schüttung, welche auch verdichtet werden kann, als auch als Zuschlagstoff für Beton. Bei der Kugelform oder der abgerundeten Form kann eine besonders gute Lastabtragung von Lasten des Wärmespeichermaterials 3 über die thermisch isolierende Schicht 2 erreicht werden, insbesondere bei der Ausbildung der thermisch isolierenden Schicht 2 als Schüttung.

[0054] In einer vorteilhaften Ausführungsform ist die zumindest eine thermisch isolierende Schicht 2, wie in den Figuren 1, 2 und 4 bis 6 dargestellt ist und im Folgenden noch näher erläutert wird, als Schüttung aus dem Isoliermaterial ausgebildet. Dabei kann das Material während der Schichtausbildung verdichtet worden sein. Ist der Wärmespeicher 1 derart ausgebildet, dass die thermisch isolierende Schicht 2 lastabtragend ist, so leitet diese als Schüttung ausgebildete thermisch isolierende Schicht 2 radiale Lastanteile des Wärmespeichermaterials 3 auf den lastabtragenden Druckbehälter 4, genauer gesagt auf die Druckbehälterwand 7, weiter. Vertikale Lasten des Wärmespeichermaterials 3 werden von dieser thermisch isolierenden Schicht 2 ebenfalls auf den Druckbehälter 4 oder in ein Fundament des Druckbehälters 4 weitergeleitet. Dazu ist die als Schüttung ausgebildete thermisch isolierende Schicht 2 aus dem Isoliermaterial überraschenderweise trotz ihrer geringen Dichte in der Lage. Bevorzugt wird die Schüttung aus dem Isoliermaterial zur Ausbildung der thermisch isolierenden Schicht 2 lagenweise eingebracht und maschinell ver-

dichtet. Dadurch kann die thermisch isolierende Schicht 2 höhere Lasten übertragen. Im Vergleich zu einer Isolierung mit entsprechend ausgeformten Steinen ist keine aufwendige Formgebung erforderlich, sondern es kann jede gewünschte Form mit der Schüttung oder Schotter-schicht gefüllt werden.

[0055] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist die zumindest eine thermisch isolierende Schicht 2, wie in den Figuren 7 und 8 dargestellt ist und im Folgenden noch näher erläutert wird, aus Beton ausgebildet, welcher das Isoliermaterial als Zuschlagstoff aufweist. Die thermisch isolierende Schicht 2 ist bei dieser Ausführungsform zweckmäßigerweise als eine Betonwand aus dem Beton mit dem Isoliermaterial als Zuschlagstoff ausgebildet. Im Vergleich zu einer Isolierung mit entsprechend ausgeformten Steinen ist keine aufwendige Formgebung erforderlich, sondern es kann jede gewünschte Form gegossen werden. Zudem können Auflagerkonsolen für Isoliersteine oder lastabtragende Stahleinbauten, die nicht druckfeste Isolierwerkstoffe vor den radialen Spannungen aus der Schüttung des Wärmespeichermaterials 3 schützen, vermieden werden. Daher weist die thermisch isolierende Schicht 2 aus dem Beton mit dem Isoliermaterial als Zuschlagstoff keine die Isolierwirkung herabsetzenden Wärmebrücken zwischen der Schüttung des Wärmespeichermaterials 3 und der Druckbehälterwand 7 auf. Durch eine angepasste Zusammensetzung des Betons ist es überraschenderweise möglich, Druckspannungen aus der Schüttung des Wärmespeichermaterials 3, d. h. aus der Inventarschüttung, zu übertragen, die die Druckfestigkeiten einer reinen, ungebundenen Schüttung aus dem Isoliermaterial überschreiten.

[0056] In Figur 1 ist eine Ausführungsform des Wärmespeichers 1 dargestellt, in welcher Isoliermaterial zur Ausbildung der thermisch isolierenden Schicht 2 Blähglas und/oder Schaumglas ist, beispielsweise in Schotterform oder Kugelform. In anderen Ausführungen kann das Isoliermaterial beispielsweise auch ein anderes geblähtes oder geschäumtes oder auf natürliche Weise entstandenes Material mit einem Porenanteil von 20 Volumenprozent bis 80 Volumenprozent sein, wie oben bereits beschrieben. Die thermisch isolierende Schicht 2 ist hier als Schüttung ausgebildet. Es kann beispielsweise, alternativ oder zusätzlich, auch Blähton und/oder Blähschiefer als Isoliermaterial verwendet werden. Das Isoliermaterial kann in Schotterform, Kugelform und/oder abgerundeter Form vorliegen.

[0057] Überraschenderweise ist es, wie in Figur 1 dargestellt, möglich, die thermisch isolierende Schicht 2 aus einer verdichteten Blähglasschotterschicht zu fertigen, die sowohl eine Taupunktunterschreitung erlaubt, eine geringe Dichte und niedrige Wärmeleitfähigkeit aufweist als auch noch Lasten aus der Speicherinventarschüttung ableitet. In der in Figur 1 dargestellten Ausführungsform werden die Lasten aus der Schüttung des Wärmespeichermaterials 3, im Folgenden auch als Speicherinventarschüttung bezeichnet, über eine mittels Stahlblechen ausgebildete Trennschicht 6 gleichmäßig und auf die

thermisch isolierende Schicht 2 übertragen, welche in dieser Ausführungsform beispielsweise aus Blähglasschotter oder Schaumglasschotter ausgebildet ist, d. h. aus Blähglas oder Schaumglas in Schotterform. Die radialen Lastanteile des Wärmespeichermaterials 3 leitet die Schüttung aus Blähglasschotter/Schaumglasschotter auf den lastabtragenden Druckbehälter 4 weiter, der bevorzugt aus Stahlbeton oder Spannbeton gefertigt ist. Ein Druckbehälter 4 aus Stahl ist ebenfalls möglich.

[0058] Die vertikalen Lastanteile aus der Speicherinventarschüttung werden über Reibung auf die Stahlbleche übertragen, die die vertikalen Lasten vergleichmäßigen und auf die Blähglasschotterschicht weiterleiten. Überraschenderweise ist die Blähglasschotterschicht, welche die thermisch isolierende Schicht 2 bildet, trotz ihrer geringen Dichte in der Lage, die vertikalen Lastanteile aus der Speicherinventarschüttung des Wärmespeichermaterials 3 ins Fundament des Wärmespeichers 1 weiterzuleiten.

[0059] In einer bevorzugten Ausbildung der Blähglasschotterschicht wird diese lagenweise eingebaut und maschinell verdichtet. In dieser bevorzugten Ausbildung kann die Blähglasschotterschicht höhere Lasten übertragen. Die Wärmedämmung eines Betondruckbehälters eines solchen Hochtemperaturwärmespeichers mit einer Schüttung des Wärmespeichermaterials 3 als Speicherinventar erfolgt mit Verfüllung des Hohlraums zwischen der Druckbehälterwand 7 und den Stahlblechen, welche die Trennschicht 6 bilden, und die Isolierschüttung aus Blähglasschotter oder Schaumglasschotter der thermisch isolierenden Schicht 2 von der Speicherinventarschüttung trennen. Die Blähglasschotterschicht, die bevorzugt maschinell verdichtet wurde, verliert durch die vorzugsweise zumindest teilweise geschlossenzellige Struktur des Blähglasschotters und/oder Schaumglasschotters bei einer auftretenden Taupunktunterschreitung nur geringfügig an Dämmwirkung, da nur die Poren zwischen dem Blähglasschotter oder dem Schaumglasschotter mit Wasser gesättigt werden kann.

[0060] Eine weitere Ausbildungsvariante ersetzt den Blähglasschotter und/oder Schaumglasschotter durch eine Blähglasschüttung/Schaumglasschüttung mit runder oder abgerundeter Kornform. Besonders vorteilhaft bei dieser Ausbildung ist die gute Lastabtragung des die Blähglasschüttkörper allseitig umgebenden Überdrucks von bis zu 20 bar. Im Vergleich zu einer Isolierung mit Blähglas/Schaumglassteinen ist keine aufwendige Formgebung erforderlich, sondern es kann jede gewünschte Form mit der Blähglasschotterschicht/Blähglasschüttung gefüllt werden. Die Durchmischung der Speicherinventarschüttung und der Blähglasschotterschicht, d. h. die Durchmischung des Wärmespeichermaterials 3 und der thermisch isolierenden Schicht 2 miteinander, wird durch das Stahlblech der Trennschicht 6 zuverlässig verhindert. Für den Einbau der Blähglasschotterschicht können die Stahlbleche in einer bevorzugten Ausführungsvariante so mit der Betondruckbehälterwand, d. h. mit der Druckbehälterwand 7 des aus

Stahlbeton oder Spannbeton ausgebildeten Druckbehälters 4, verbunden werden, dass die Blähglasschotterschicht eingebaut und verdichtet werden kann, ohne dass die Speicherinventarschüttung eingebaut sein muss. Dazu können Stahlträger 8 oder Stahlbolzen mit einer bevorzugt vorhandenen Stahlauskleidung des Betondruckbehälters verbunden werden und die Lasten aus den Stahlblechen zur Betondruckbehälterwand weiterleiten. Derartige Stahlträger 8 und/oder Stützen 9 zur Abstützung der Trennschicht 6 gegenüber der Druckbehälterwand 7 sind in den Figuren 4 bis 6 zu den weiteren Ausführungsformen dargestellt. Die Stützen 9 sind zweckmäßigerweise ebenfalls aus Stahl ausgebildet.

[0061] In einer bevorzugten Ausbildung der Blähglasschotterschicht, d. h. der thermisch isolierenden Schicht 2, wird auf das die Blähglasschotterschicht von der Speicherinventarschüttung des Wärmespeichermaterials 3 trennende Stahlblech verzichtet und die Speicherinventarschüttung parallel zur Blähglasschotterisolierung lagenweise eingebaut und verdichtet. D. h. es erfolgt ein lagenweises Einbringen des Wärmespeichermaterials 3 und des Isoliermaterials zum Aufbau der thermisch isolierenden Schicht 2, ohne eine Trennschicht 6 dazwischen. Überraschenderweise kann die Blähglasschotterschicht die Lasten aus der Speicherinventarschüttung in radialer Richtung an die Druckbehälterwand 7 weiterleiten.

[0062] Für die Blähglasschotterisolierung, d. h. die thermisch isolierende Schicht 2, ist eine größere Korngröße für das Abfließen von auftretenden Kondensatwassermengen hilfreich und reduziert das kapillare Saugen zwischen den einzelnen Körnern/Kugeln der Blähglasschüttung. Dies gilt auch für die Ausbildung der thermisch isolierenden Schicht 2 aus einem der anderen der oben genannten Isoliermaterialien. Des Weiteren reduziert eine solche größere Korngröße des Blähglases oder der anderen Isoliermaterialien die Wasseraufnahme der einzelnen Kugeln/Körner, wenn diese nicht oder nur teilweise geschlossenzellig sind. Auf der anderen Seite ist die Größe der einzelnen Körner/Kugeln der Blähglasschüttung zu begrenzen, um auch unregelmäßige Hohlräume des die Blähglasschüttung aufnehmenden Hohlraums im Druckbehälter 4 sicher und vollständig zu verfüllen. Kleinere Partikelgrößen sind zudem robuster bei den auftretenden Drücken innerhalb des Wärmespeichers 1. Bevorzugte Korngrößen für die Blähglasschüttung sind größer als ein Millimeter und kleiner als 60 mm. Der die thermisch isolierende Schicht 2 in Form der Blähglasschüttung aufnehmende Hohlraum ist dabei so auszubilden, dass auftretendes Tauwasser bevorzugt der Schwerkraft folgend nach unten abfließen kann, um bevorzugt im unteren Bereich des Wärmespeichers 1 über die vorhandenen Förderleitungen für die komprimierte Luft und/oder zusätzliche Kondensatabführleitungen aus dem Wärmespeicher 1 abgeleitet zu werden.

[0063] Figur 2 zeigt ein weiteres, besonders bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Wärmespeichers 1. Diese Ausführungsform ist eine besonders vorteilhafte Weiter-

bildung der in Figur 1 dargestellten Ausführungsform. Auch hier ist die thermisch isolierende Schicht 2 lastabtragend. Die horizontalen und vertikalen Lasten der Schüttung des Wärmespeichermaterials 3 werden hierbei, analog zu Figur 1, mittels der thermisch isolierenden Schicht 2 abgetragen. Dabei werden horizontale Lasten über die thermisch isolierende Schicht 2 auf die Druckbehälterwand 7 übertragen und vertikale Lasten werden über die thermisch isolierende Schicht 2 auf den Druckbehälter 4 oder ein Fundament des Druckbehälters 4 übertragen. Durch diese Ausbildung des Wärmespeichers 1 derart, dass die thermisch isolierende Schicht 2 lastabtragend ist, sind keine zusätzlichen Stahlträger 8 und/oder Stützen 9 zur Lastabtragung erforderlich.

[0064] Um dies zu ermöglichen, ist auch hier die thermisch isolierende Schicht 2 aus dem Isoliermaterial ausgebildet, welches in Schotterform und/oder in Kugelform und/oder in abgerundeter Form vorliegt. Dessen Korngrößen können auch hier von einem Millimeter bis 60 mm reichen. Die Vorteile des Isoliermaterials sowie die aus der jeweiligen Korngröße resultierenden Vorteile wurden bereits oben in der in Figur 1 dargestellten Ausführungsform erläutert.

[0065] Zur Ausbildung der thermisch isolierenden Schicht 2 wird das Isoliermaterial in den dafür vorgesehenen Hohlraum im Druckbehälter 4 eingebracht und vorzugsweise verdichtet oder zumindest vorverdichtet, so dass die Lastabtragung mittels der thermisch isolierenden Schicht 2 sichergestellt werden kann. Das Isoliermaterial zur Ausbildung der thermisch isolierenden Schicht 2 ist auch hier, analog zum in Figur 1 geschilderten Beispiel, vorzugsweise Blähton, Blähglas, Schaumglas oder Blähschiefer oder ein anderes der oben genannten Materialien, wobei auch eine Mischung dieser Materialien zur Ausbildung der thermisch isolierenden Schicht 2 möglich ist. Vorzugsweise wird in diesem Ausführungsbeispiel Blähton zur Ausbildung der thermisch isolierenden Schicht 2 verwendet.

[0066] Der Unterschied zum in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel liegt hier insbesondere in der Trennschicht 6, welche in diesem Ausführungsbeispiel nicht aus Stahlblechen ausgebildet ist, sondern welche als eine Betonschale ausgebildet ist. Vorzugsweise ist diese Betonschale, wie in Figur 3 in einer Draufsicht auf eine dem Wärmespeichermaterial 3 zugewandte Seite oder auf eine der thermisch isolierenden Schicht 2 zugewandte Seite der als Betonschale ausgebildeten Trennschicht 6 dargestellt, aus einer Mehrzahl von übereinander und/oder nebeneinander angeordneten Betonsegmenten 5 ausgebildet. Im hier dargestellten Beispiel weist die Trennschicht 6 mehrere übereinander angeordnete Reihen von Betonsegmenten 5 auf, wobei in jeder Reihe eine Mehrzahl von Betonsegmenten 5 nebeneinander angeordnet sind und wobei die Betonsegmente 5 übereinander angeordneter Reihen um jeweils eine halbe Segmentbreite zueinander versetzt sind, wie dies bei einer Ausbildung einer Mauer aus einzelnen Betonsegmenten 5 üblich ist.

[0067] Zur sicheren Positionierung und Verankerung der Betonsegmente 5 können diese beispielsweise an ihrer Unterseite Verbindungselemente, beispielsweise in Form von Ausformungen des jeweiligen Betonsegments 5 oder in Form von teilweise eingegossenen und teilweise herausragende Bolzen, aufweisen, welche in korrespondierende Vertiefungen 12 an einer Oberseite darunter angeordneter Betonsegmente 5 eingreifen, wie in Figur 3 gezeigt. Die Betonsegmente 5 sind zweckmäßigerweise als Fertigteile ausgebildet, beispielsweise gegossen, welche zur Ausbildung der Trennschicht 6 dann lediglich im Druckbehälter 4 an der dafür vorgesehenen Position zwischen dem für das Wärmespeichermaterial 3 vorgesehenen Bauraum und dem für die thermisch isolierende Schicht 2 vorgesehenen Bauraum anzuordnen sind. Durch die Ausbildung der Trennschicht 6 als Betonschale ist auch das Ausbilden der thermisch isolierenden Schicht 2 ermöglicht, bevor das Wärmespeichermaterial 3 in den Druckbehälter 4 eingefüllt ist, da die aus Beton ausgebildete Trennschicht 6, auch ohne Stahlträger 8 und Stützen 9, ausreichend stabil ist. Um Wärmedehnungen der Trennschicht 6 ausgleichen zu können, sind zweckmäßigerweise zumindest zwischen einigen der nebeneinander angeordneten Betonsegmente 5 Dehnungsfugen 13 vorgesehen, wie in Figur 2 gezeigt.

[0068] Durch die Ausbildung der Betonschale der Trennschicht 6 aus einzelnen Betonsegmenten 5 wird über Fugen zwischen angrenzenden Betonsegmenten 5 der Druckausgleich im Druckbehälter 4 ermöglicht, so dass ein unterschiedlicher Druck an einer Vorderseite und einer Rückseite der Trennschicht 6, welcher zu deren Zerstörung führen könnte, vermieden ist. Um eine Zerstörung der Betonsegmente 5 durch einen Überdruck in deren Poren bei Temperaturen über 100 °C zu vermeiden, sind dem Beton vorzugsweise Fasern beigegeben, beispielsweise aus Polyethylen (PE) oder Polypropylen (PP) oder aus anderen Materialien. Dadurch wird ein Überdruck in den Poren der Betonsegmente 5 vermieden.

[0069] Die Trennschicht 6 erfüllt hier die gleiche Funktion wie die in Figur 1 aus Stahlblechen ausgebildete Trennschicht 6. Die Lasten des Wärmespeichermaterials 3 werden über die Trennschicht 6 gleichmäßig und auf die thermisch isolierende Schicht 2 übertragen, welche die radialen Lastanteile in den Druckbehälter 4 und die vertikalen Lastanteile, welche über Reibung auf die Trennschicht 6 und über diese auf die thermisch isolierende Schicht 2 übertragen werden, in ein Fundament des Druckbehälters 4 ableitet.

[0070] Alternativ zur Ausbildung der Trennschicht 6 aus Beton kann die Trennschicht 6 beispielsweise auch aus Ziegelsteinen ausgebildet sein, d. h. als eine Ziegelsteinwand. Dadurch ergeben sich ebenfalls die bereits zur Ausbildung der Trennschicht 6 aus Beton geschilderten Vorteile.

[0071] Figur 4 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel des Wärmespeichers 1. Überraschenderweise ist es möglich, wie bei dieser Ausführungsform gezeigt, eine

Isolierung aus einer Blähglaskugelschüttung zu fertigen, die sowohl eine Taupunktunterschreitung erlaubt, eine geringe Dichte und niedrige Wärmeleitfähigkeit aufweist als auch noch sich an die Hohlraumgeometrie anpasst. Alternativ oder zusätzlich zu Blähglas kann auch hier Blähton, Schaumglas und/oder Blähschiefer oder ein anderes der oben genannten Materialien verwendet werden, wobei das Isoliermaterial in Schotterform und/oder in Kugelform und/oder in abgerundeter Form ausgebildet sein kann. Die Abtragung der Schüttungslasten des Wärmespeichermaterials 3 erfolgt über die Trennschicht 6, welche durch Stahlbleche gebildet ist, auf Stahlträger 8, die die Horizontallasten aus der Speicherinventarschüttung des Wärmespeichermaterials 3 über als Rückverankerungen ausgebildete Stützen 9 auf die Betondruckbehälterwand, d. h. auf die Druckbehälterwand 7 des bevorzugt aus Stahlbeton oder Spannbeton ausgebildeten Druckbehälters 4, übertragen. Vertikale Lastanteile aus der Speicherinventarschüttung werden über die Stahlbleche auf die Stahlträger 8 übertragen, die diese sammeln und als Punktlasten in das Fundament des Wärmespeichers 1 einleiten.

[0072] Die Wärmedämmung des Druckbehälters 4 des Wärmespeichers 1 mit einer Schüttung des Wärmespeichermaterials 3 erfolgt mit Verfüllung des Hohlraums zwischen der Druckbehälterwand 7 und den Stahlblechen der Trennschicht 6, die die Isolierschüttung aus Blähglas oder Schaumglas der thermisch isolierenden Schicht 2 von der Speicherinventarschüttung des Wärmespeichermaterials 3 trennen. Die thermisch isolierende Schicht 2 verliert durch die geschlossenzellige Struktur der Blähglaskugeln, Blähglasschotter, Schaumglaskugeln und/oder des Schaumglasschotters bei einer auftretenden Taupunktunterschreitung nur geringfügig an Dämmwirkung, da nur die Poren zwischen den Blähglaskugeln, dem Blähglasschotter, den Schaumglaskugeln oder dem Schaumglasschotter mit Wasser gesättigt werden können. Im Vergleich zu einer Isolierung mit Blähglas/Schaumglassteinen ist keine aufwendige Formgebung erforderlich, sondern es kann jede gewünschte Form mit der Isolierschüttung gefüllt werden.

[0073] Zur Lasteinleitung von Vertikallasten auf Druck oder Zug benötigen die Stahlträger 8 ein in vertikaler Richtung unverschiebliches Lager am Fuß des jeweiligen Stahlträgers 8 bei der Lasteinleitung in das Fundament. Da die Stahlträger 8 am Rand der Isolierung aus der Blähglasschüttung liegen und eine thermisch leitende Verbindung zu den Stahlblechen der Trennschicht 6 besitzen, werden sie deutlich erhöhte Temperaturen bis zur Temperatur in der Speicherinventarschüttung des Wärmespeichermaterials 3 erfahren. Die Temperatur in der Speicherinventarschüttung kann zyklisch schwanken. Um die Spannungen in den Stahlträgern 8 infolge Temperaturdehnungen der Stahlträger 8 zu begrenzen, müssen die Stahlträger 8 oberhalb des Fundamentes in vertikaler Richtung verschieblich in den als Rückverankerungen ausgebildeten Stützen 9 gelagert werden. Gleichzeitig müssen die Stahlträger 8 über die Rückver-

ankerungen in radialer Richtung Zug- und Druckkräfte in die Druckbehälterwand 7 einleiten können.

[0074] In Umfangsrichtung müssen die Stahlträger 8 an den als Rückverankerungen ausgebildeten Stützen 9 unverschieblich gehalten werden, um eine Schiefstellung oder Verkipfung zu verhindern. Eine bevorzugte Ausbildung der Rückverankerung ist eine Art Klammer, die einen Flansch des Stahlträgers 8 umgreift, Zug- und Druckkräfte in Radialrichtung aufnimmt und eine Verschiebung in Umfangsrichtung verhindert. In vertikaler Richtung ist eine freie Verschiebung der Stahlträger 8 an den Rückverankerungspunkten möglich.

[0075] Die bevorzugte Beschränkung des direkten Kontakts zwischen den Stahlträgern 8 und der Druckbehälterwand 7 auf die Kontaktpunkte der als Rückverankerungen ausgebildeten Stützen 9 ermöglicht es, dass in dieser bevorzugten Ausbildung zwischen den Stahlträgern 8 und der Druckbehälterwand 7 bis auf die Rückverankerungsstellen ebenfalls Partikel der Blähglasschüttung zwischen den Stahlträgern 8 und der Druckbehälterwand 7 liegen und für eine Isolierung sorgen. In einer bevorzugten Ausbildung werden die Abmessungen der Stahlträger 8 so gewählt, dass sie kleiner sind als der Abstand zwischen Stahlträger 8 und Druckbehälterwand 7. Dadurch werden die Temperaturgradienten in den Stahlträgern 8 und somit die thermisch induzierten Spannungen in den Stahlträgern 8 reduziert.

[0076] Vergleichbar zu den Stahlträgern 8 erfahren auch die Stahlbleche der Trennschicht 6 thermische Dehnungen. Um die daraus resultierenden Spannungen möglichst gering zu halten bzw. vorzugsweise ganz zu verhindern, müssen die Stahlbleche auf den Stahlträgern 8 so gelagert werden, dass Dehnungen in Umfangs- und Vertikalrichtung ohne Zwangsspannungen aufgenommen werden können. Bevorzugt kann dies pro Stahlblech mit vier Stahlbolzen mit einem Festlager, zwei in jeweils einer Richtung verschieblichen Langlöchern und einem in zwei Richtungen verschieblichen Loch geschehen. Radialkräfte aus der Inventarschüttung des Wärmespeichermaterials 3 können über Pressung zwischen den Stahlblechen und den Stahlträgern 8 übertragen werden. Die Befestigungen der Stahlbleche an den Stahlträgern 8 beispielsweise über Stahlbolzen muss so gewählt werden, dass die Lasten aus der Blähglasschüttung auch ohne Inventarschüttung sicher in die Stahlträger 8 eingeleitet werden.

[0077] Um zu verhindern, dass die Stahlbleche mit dem Druck im Wärmespeicher 1 beaufschlagt werden, muss ein Druckausgleich zwischen beiden Seiten der Stahlbleche möglich sein, d. h. zwischen beiden Seiten der Trennschicht 6. Bevorzugte Möglichkeit dafür sind kleine Löcher in den Stahlblechen, die auf die Korngröße der Blähglasschüttung abgestimmt sind, um ein Austreten der Blähglasschüttung durch die Druckausgleichsöffnungen zu verhindern.

[0078] Für die Blähglasschüttung eignet sich vorzugsweise eine runde oder abgerundete Kornform. Die mittlere Korngröße der Blähglasschüttung muss ausrei-

chend groß gewählt werden, dass die Schüttung des Wärmespeichermaterials 3 etwaig notwendige offene Dehnfugen 11 und Druckausgleichsöffnungen nicht durchdringen oder vollständig zusetzen kann. Zusätzlich ist eine größere Korngröße für das Abfließen von auftretenden Kondensatwassermengen hilfreich und reduziert das kapillare Saugen zwischen den einzelnen Körnern/Kugeln der Blähglasschüttung. Auf der anderen Seite ist die Größe der einzelnen Körner/Kugeln der Blähglasschüttung zu begrenzen, um auch unregelmäßige Bereiche des die Blähglasschüttung aufnehmenden Hohlraums sicher und vollständig zu verfüllen. Kleinere Partikelgrößen sind zudem robuster bei den auftretenden Drücken innerhalb des Wärmespeichers 1. Bevorzugte Korngrößen für die Blähglasschüttung haben Korndurchmesser größer als ein Millimeter und kleiner als 16 mm, besonders bevorzugt kleiner als 8 mm.

[0079] Der die Blähglasschüttung aufnehmende Hohlraum ist dabei so auszubilden, dass auftretendes Tauwasser bevorzugt der Schwerkraft folgend nach unten abfließen kann, um bevorzugt im unteren Bereich des Wärmespeichers 1 über die vorhandenen Förderleitungen für die Druckluft und/oder zusätzliche Kondensatabführleitungen aus dem Wärmespeicher 1 abgeleiten zu werden. Um das Gewicht der Blähglasschüttung, das auf die untersten Partikel/Kugeln der Blähglasschüttung wirkt, zu begrenzen, kann es vorteilhaft sein, den die Blähglasschüttung aufnehmenden Hohlraum in einzelne vertikale Abschnitte zu unterteilen, ohne Kondensatabflussmöglichkeiten einzuschränken.

[0080] Figur 5 zeigt eine weitere Ausführungsform des Wärmespeichers 1, bei welcher die thermisch isolierende Schicht 2 selbst nicht lastabtragend wirkt, sondern bei welcher zusätzliche Stahlträger 8 und Stützen 9 zur Lastabtragung vorgesehen sind. Die in Figur 5 dargestellte Ausführungsform ist daher eine Weiterbildung der in Figur 4 dargestellten und bereits erläuterten Ausführungsform. Auch hier ist die Trennschicht 6 zwischen dem Wärmespeichermaterial 3 und der thermisch isolierenden Schicht 2 aus einem oder mehreren Stahlblechen in Form einer oder mehrerer Blechplatten ausgebildet und über Stahlträger 8 und Stützen 9 mit der Druckbehälterwand 7 und dem Fundament des Druckbehälters 4 bzw. des Wärmespeichers 1 verbunden, um die Lasten der Schüttung des Wärmespeichermaterials 3 darüber abzuleiten. Das die thermisch isolierende Schicht 2 bildende Isoliermaterial kann auch hier Blähton, Blähglas, Schaumglas oder Blähschiefer oder ein anderes der oben genannten Materialien sein, bevorzugt Blähglas. Auch eine Mischung dieser Materialien zur Ausbildung der thermisch isolierenden Schicht 2 ist möglich. Dieses Isoliermaterial kann auch hier in Schotterform und/oder in Kugelform und/oder in abgerundeter Form vorliegen.

[0081] Die Stahlträger 8 sind beispielsweise als Doppel-T-Träger ausgebildet und im Fundament des Wärmespeichers 1 verankert. Die Stützen 9 sind hier nicht lediglich als flache Rückverankerungen an der Druckbehälterwand 7 ausgebildet, wie in Figur 4 dargestellt, son-

dern als größere Stützen 9, welche entsprechend weit in einen Einbauraum für die thermisch isolierende Schicht 2 im Druckbehälter 4 hineinragen. Die Stahlträger 8 und Stützen 9 durchziehen die thermisch isolierende Schicht 2, sind also vom Isoliermaterial der thermisch isolierenden Schicht 2 umgeben. Die Stützen 9 sind, wie bereits zum in Figur 4 dargestellten Ausführungsbeispiel geschildert, an der dem jeweiligen Stahlträger 8 zugewandten Seite klammerförmig ausgebildet, so dass sie eine Anlagefläche des Stahlträgers 8 an der jeweiligen Stütze 9 seitlich umgreifen und ihn auf diese Weise in Umfangsrichtung des Wärmespeichers 1 führen und halten. Dadurch ist ein Umkippen der Stahlträger 8 vermieden.

[0082] In vertikaler Richtung sind die Stahlträger 8, wie schon zu Figur 4 geschildert, lediglich im Fundament des Wärmespeichers 1 bzw. des Druckbehälters 4 fest gelagert. An der jeweiligen Stütze 9 sind die Stahlträger 8 hingegen in vertikaler Richtung verschiebbar gelagert. Zwischen der Druckbehälterwand 7 und der thermisch isolierenden Schicht 2 ist zum Schutz der Druckbehälterwand 7 eine Schutzschicht 10 angeordnet, um die Reibung zu reduzieren und zudem eine eventuell in diesem Bereich angeordnete Kühleinrichtung für die Druckbehälterwand 7 zu schützen.

[0083] Figur 6 zeigt eine weitere Ausführungsform des Wärmespeichers 1. Dies stellt eine Abwandlung der in Figur 5 dargestellten Ausführungsform dar. In dieser Ausführungsform sind die Stahlträger 8 durch eine Betonwand ersetzt, welche zugleich die Trennschicht 6 bildet. D. h. diese Trennschicht 6 erfüllt sowohl ihre Trennschichtaufgaben, die thermisch isolierende Schicht 2 vom Wärmespeichermaterial 3 zu trennen und eine Durchmischung zu verhindern, als auch die zu Figur 5 beschriebenen Aufgaben der Stahlträger 8 in Form der Lastabtragung der Lasten des Wärmespeichermaterials 3, wobei vertikale Lasten über diese als Betonwand ausgebildete Trennschicht 6 in das Fundament des Wärmespeichers 1 bzw. des Druckbehälters 4 abgeleitet werden und horizontale, radiale Lasten auf die Stützen 9 und über diese auf die Druckbehälterwand 7.

[0084] Die Trennschicht 6 kann dabei beispielsweise analog der in Figur 2 und 3 dargestellten Trennschicht 6 ausgebildet sein, d. h. ebenfalls in Form einzelner Betonsegmente 5, vorzugsweise als Fertigteile, welche lediglich im Druckbehälter 4 zu positionieren sind. Die thermisch isolierende Schicht 2 selbst ist auch hier, analog zum in Figur 5 gezeigten Beispiel, nicht lastabtragend.

[0085] Die Trennschicht 6 ist, da sie die Funktion der Stahlträger 8 erfüllt, an den Stützen 9 in vertikaler Richtung derart beweglich angeordnet, dass sie vertikale Lasten in Richtung der Schwerkraft in das Fundament ableiten kann. Sie ist durch die Stützen 9 lediglich in radialer Richtung abgestützt, um die radialen Lasten in die Druckbehälterwand 7 abzuleiten. Auch hier ist an der Innenseite der Druckbehälterwand 7 die Schutzschicht 10 angeordnet, um die Druckbehälterwand 7 insbesondere vor Reibung zu schützen. Die Stützen 9 sind auch hier in der thermisch isolierenden Schicht 2 eingelagert, d. h. vom

deren Isoliermaterial umschlossen, welches in den Zwischenraum zwischen Trennschicht 6 und Druckbehälterwand 7 bzw. deren Schutzschicht 10 eingefüllt ist.

[0086] Figur 7 zeigt eine weitere Ausführungsform des Wärmespeichers 1. Überraschenderweise ist es möglich, eine Isolierung bestehend aus bewehrten oder unbewehrten Blähglasbetonwänden zu fertigen, die sowohl eine Taupunktunterschreitung erlaubt, eine geringe Dichte und niedrige Wärmeleitfähigkeit aufweist als auch noch eine ausreichend hohe Druckfestigkeit zur Übertragung der Lasten aus der Inventarschüttung aufweist. Bei dieser Ausführungsform wird daher die thermisch isolierende Schicht 2 aus Beton ausgebildet, welcher das Isoliermaterial als Zuschlagstoff aufweist, in dieser Ausführungsform Blähglas, alternativ oder zusätzlich sind aber auch hier Blähton, Schaumglas und/oder Blähschiefer oder ein anderes der oben genannten Materialien als Zuschlagstoff für den Beton möglich, auch hier in Schotterform und/oder in Kugelform und/oder in abgerundeter Form. Im Folgenden wird das Ausführungsbeispiel anhand von Blähglas näher beschrieben, d. h. es wird mit dem Blähglas als Zuschlagstoff Blähglasbeton ausgebildet. Mit diesem Blähglasbeton wird die thermisch isolierende Schicht 2 als zumindest eine Wand ausgebildet.

[0087] Die Wärmedämmung des bevorzugt aus Stahlbeton oder Spannbeton ausgebildeten Druckbehälters 4 des Wärmespeichers 1 mit einer Schüttung des Wärmespeichermaterials 3 als Speicherinventar erfolgt mit einer Isolierwand aus dem wärmedämmenden Blähglasbeton. Diese Isolierwand bildet die thermisch isolierende Schicht 2 zwischen dem Wärmespeichermaterial 3 und der Druckbehälterwand 7. Zwischen der Druckbehälterwand 7 und der Isolierwand, d. h. der thermisch isolierenden Schicht 2, kann noch eine Schutzschicht 10 als Trennschicht angeordnet werden, um die Reibung zu reduzieren. Zur Reduzierung bzw. Vermeidung von Lasten infolge thermischer Dehnungen in Umfangsrichtung der Isolierwand der thermisch isolierenden Schicht 2 besitzt diese bevorzugt Dehnfugen 11. Diese können radial angeordnet werden. Bevorzugt erfolgt aber eine Ausbildung der Fugengeometrie so, dass die Fugen radial versetzt angeordnet werden, wie in Figur 7 dargestellt. Jeder Fugenabschnitt geht in radialer Richtung nicht über die komplette Wanddicke der als Blähglasbetonwand ausgebildeten thermisch isolierenden Schicht 2, sondern wird in einem oder mehreren Abschnitten in Umfangsrichtung so versetzt, dass Dehnungen in Umfangsrichtung ohne Spannungen aufgenommen werden können, direkte Konvektionsströmungen über die als Blähglasbetonwand ausgebildete thermisch isolierende Schicht 2 jedoch reduziert werden. D. h. die thermisch isolierende Schicht 2 ist aus einer Mehrzahl von Segmente 14 ausgebildet, wobei die Segmente 14 derart ausgebildet sind, dass die Dehnfugen 11 zwischen nebeneinander angeordneten Segmenten 14 in radialer Richtung des Wärmespeichers 1 stufenförmig verlaufen. Ein Druckausgleich über die Dehnfugen 11 der als Blähglasbetonwand ausgebildeten thermisch isolierenden Schicht 2 hinweg

ist jedoch sicherzustellen, um einen Überdruck zwischen der als Blähglasbetonwand thermisch isolierende Schicht 2 und der Druckbehälterwand 7 im Falle einer schnellen Druckreduzierung im Wärmespeicher 1 zu verhindern, da die Blähglasbetonwand ansonsten auf diese Belastung hin ausgelegt werden müsste.

[0088] Infolge der Temperaturgradienten innerhalb der Blähglasbetonwand wird die Seite, die zur Speicherinventarschüttung des Wärmespeichermaterials 3 hin orientiert ist, größere thermische Dehnungen erfahren als die Seite, die zur Druckbehälterwand 7 hin orientiert ist. Aufgrund der geringen Zugfestigkeiten der Blähglasbetonwand ist eine Rissbildung auf der Seite der Blähglasbetonwand, die die niedrigeren Temperaturen aufweist, nicht zu vermeiden. Überraschenderweise ist die Isolierwirkung der Blähglasbetonwand jedoch auch bei der Verwendung einer Stahlbewehrung aus Stabstahl und/oder Stabstahlmatten ausreichend groß. Die Rissbildung kann durch eine eingebettete Bewehrung und/oder zusätzlichen Rissblechen entweder auf wenige breite Risse oder auf viele feine Risse verteilt werden und die inneren Spannungen infolge der Temperaturgradienten durch die Rissbildung abgebaut werden.

[0089] Die notwendige Lastabtragung in radialer Richtung zwischen Speicherinventarschüttung des Wärmespeichermaterials 3 hin zur Druckbehälterwand 7 wird von einer Rissbildung überraschenderweise nicht beeinträchtigt, da im Falle großer Druckspannungen die Risse überdrückt werden und sich schließen. Überraschenderweise wird auch die Abtragung vertikaler Lastanteile aus der Speicherinventarschüttung über die Blähglasbetonwand durch eine Rissbildung auf der kälteren Seite der Blähglasbetonwand nicht verhindert, da die überdrückten wärmeren Bereiche der Blähglasbetonwand Druckspannungen übertragen können. Ebenso ist es möglich, dass sich ein Teil der Risse oder alle Risse im kälteren Bereich der Blähglasbetonwand bei ausreichend hohen Druckspannungen in vertikaler Richtung schließen und ebenfalls Druckspannungen übertragen.

[0090] Durch die Anordnung einer Trennschicht, d. h. der Schutzschicht 10, zwischen Druckbehälterwand 7 und der als Blähglasbetonwand ausgebildeten thermisch isolierenden Schicht 2, die vorzugsweise offenporig ist, kann sich auf der Außenseite der Blähglasbetonwand ein gleichmäßig verteilter Druck einstellen, der durch entsprechend ausgebildete Dehnfugen 11 vorzugsweise gleich dem Druck ist, der in den Poren der Speicherinventarschüttung des Wärmespeichermaterials 3 auftritt. Eine übermäßige, ungleichförmige Belastung der Blähglasbetonwand kann so vermieden werden.

[0091] Die Isolierwirkung im Falle einer Taupunktunterschreitung innerhalb der Blähglasbetonwand bleibt erhalten, da der Blähglasbeton durch seine Grobzuschläge aus geschlossenzelligen Blähglaskugeln, Blähglaschotter, Schaumglaskugeln und/oder Schaumglaschotter bei einer auftretenden Taupunktunterschreitung nur geringfügig an Dämmwirkung verliert, da nur die zumindest teilweise offenporigen Poren der Zementmatrix

mit Wasser gesättigt werden können. Durch die Herstellung der Blähglasbetonwand mit einer Zementsteinmatrix ist chemisch und/oder physikalisch gebundenes Wasser und/oder ungebundenes Wasser in der Porenstruktur der Zementsteinmatrix vorhanden. Um eine Zerstörung der Zementsteinmatrix und damit der Blähglasbetonwand bei einer Erwärmung oberhalb des Verdampfungspunktes des Wassers in der Zementmatrix zu verhindern, muss die Zementmatrix eine offenzellige Porenstruktur mit einer ausreichend großen Wasserdampfpermeabilität aufweisen. Neben der Wahl eines geeigneten Wasser/Zementwertes ist es möglich, Fasern zur Vergrößerung der Permeabilität und oder der Schaffung von verbundenen Poren zu erhalten. Bevorzugt verwendet werden dabei Fasern aus Polyethylen, die einen niedrigen Schmelzpunkt aufweisen. Alternativ können andere Fasermaterialien eingesetzt werden, die ebenfalls eine ausreichend hohe Wasserdampfpermeabilität der Zementsteinmatrix sicherstellen.

[0092] Kommt es zu einem Tauwasserausfall auf der Außenseite der Blähglasbetonwand oder wird innerhalb der Blähglasbetonwand ausgefallenes Tauwasser durch Diffusion auf die Außenseite der Blähglasbetonwand transportiert, so ermöglicht eine entsprechend ausgebildete offenporige Trennschicht, d. h. die Schutzschicht 10, die bevorzugt zusätzliche Hohlräume oder Poren besitzt, eine Abführung des anfallenden Kondensats bevorzugt der Schwerkraft folgend in tiefliegende Bereiche des Wärmespeichers 1, wo es gesammelt und über vorhandene Fördermittelleitungen oder zusätzliche Kondensatleitungen aus dem Wärmespeicher 1 abgeführt werden kann.

[0093] Im Vergleich zu einer Isolierung mit Blähglas/Schaumglassteinen ist keine aufwendige Formgebung erforderlich, sondern es kann jede gewünschte Form gegossen werden. Durch die Vermeidung von Auflagerkonsolen für Isoliersteine oder lastabtragende Stahlbauten, die nicht druckfeste Isolierwerkstoffe vor den radialen Spannungen aus der Speicherinventarschüttung schützen, weist die Blähglasbetonwand keine die Isolierwirkung herabsetzenden Wärmebrücken zwischen der Speicherinventarschüttung des Wärmespeichermaterials 3 und der Druckbehälterwand 7 auf.

[0094] Um eine hohe thermische Dämmwirkung zu erzielen, ist es vorteilhaft, größere Größtkorndurchmesser für die Herstellung des Blähglasbetons für die Blähglasbetonwand zu verwenden. Um eine gute Formbarkeit und eine ausreichend hohe Druckfestigkeit der Blähglasbetonwand sicherzustellen, werden jedoch bevorzugt Größtkorndurchmesser bis 32 mm verwendet. Durch den teilweisen Ersatz von Sanden bis zwei Millimeter Größtkorndurchmesser ebenfalls durch Blähglaspartikel entsprechender Korngrößen ist es möglich, die Wärmeleitfähigkeit des Blähglasbetons zu reduzieren. Durch eine angepasste Zusammensetzung des Blähglasbetons für die Blähglasbetonwand ist es überraschenderweise möglich, Druckspannungen aus der Inventarschüttung zu übertragen, die die Druckfestigkeiten einer reinen, un-

gebundenen Blähglasschüttung überschreiten.

[0095] Figur 8 zeigt eine weitere Ausführungsform des Wärmespeichers 1. Diese Ausführungsform ist eine Weiterbildung der in Figur 7 dargestellten Ausführungsform. Die thermisch isolierende Schicht 2 ist hier ebenfalls aus Beton ausgebildet, welcher das Isoliermaterial als Zuschlagstoff aufweist. Auch hier kann das Isoliermaterial beispielsweise Blähton, Blähglas, Schaumglas oder Blähschiefer oder ein anderes der oben genannten Materialien sein und als Zuschlagstoff beispielsweise in Schotterform und/oder in Kugelform und/oder in abgerundeter Form dem Beton beigemischt sein. Auch eine Kombination der genannten Materialien als Zuschlagstoffe ist möglich. Vorzugsweise wird in diesem Ausführungsbeispiel Blähton als Zuschlagstoff verwendet.

[0096] Der Unterschied zum in Figur 7 dargestellten Beispiel besteht insbesondere darin, dass hier zwischen der thermisch isolierenden Schicht 2 und der Schüttung des Wärmespeichermaterials 3 eine Trennschicht 6 angeordnet ist, welche aus Beton ausgebildet ist. Diese Trennschicht 6 aus Beton kann beispielsweise wie in den Figuren 2, 3 und 6 dargestellt und beschrieben ausgebildet sein, d. h. aus einer Mehrzahl von Betonsegmenten 5, welche vorzugsweise als Fertigteile ausgebildet sind und lediglich im Druckbehälter 4 anzuordnen sind. Die Lastabtragung der vertikalen Lasten der Schüttung des Wärmespeichermaterials 3 kann hier direkt über die Trennschicht 6 aus Beton in das Fundament des Wärmespeichers 3 bzw. des Druckbehälters 4 erfolgen, wie zu Figur 6 geschildert. Alternativ oder zusätzlich kann diese vertikale Lastabtragung auch über die thermisch isolierende Schicht 2 erfolgen. Die Lastabtragung der horizontalen Lastanteile der Schüttung des Wärmespeichermaterials 3 in radialer Richtung auf die Druckbehälterwand 7 erfolgt über die Trennschicht 6 aus Beton auf die thermisch isolierende Schicht 2, welche aus dem Beton mit dem Isoliermaterial als Zuschlagstoff ausgebildet ist, und über diese auf die Druckbehälterwand 7. Auch hier ist auf der Innenseite der Druckbehälterwand 7, d. h. zwischen der Druckbehälterwand 7 und der thermisch isolierenden Schicht 2, die Schutzschicht 10 zum Schutz der Druckbehälterwand 7 insbesondere vor Reibung angeordnet.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0097]

- | | |
|----|-------------------------------|
| 1 | Wärmespeicher |
| 2 | thermisch isolierende Schicht |
| 3 | Wärmespeichermaterial |
| 4 | Druckbehälter |
| 5 | Betonsegment |
| 6 | Trennschicht |
| 7 | Druckbehälterwand |
| 8 | Stahlträger |
| 9 | Stütze |
| 10 | Schutzschicht |

- 11 Dehnfuge
- 12 Vertiefung
- 13 Dehnungsfuge
- 14 Segment

Patentansprüche

1. Wärmespeicher (1) für eine adiabatische Druckluftspeicheranlage zum Zwecke der Energiespeicherung, umfassend einen Druckbehälter (4) und ein im Druckbehälter (4) angeordnetes Wärmespeichermaterial (3), wobei zwischen dem Wärmespeichermaterial (3) und einer Druckbehälterwand (7) zumindest eine thermisch isolierende Schicht (2) angeordnet ist,
dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest eine thermisch isolierende Schicht (2) aus zumindest einem Isoliermaterial, welches einen Porenanteil von 20 Volumenprozent bis 80 Volumenprozent aufweist und bei Temperaturen von bis zu mindestens 650 °C in Festkörperform vorliegt, ausgebildet ist oder dieses Isoliermaterial umfasst.
2. Wärmespeicher (1) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass das zumindest eine Isoliermaterial ein geblähtes oder geschäumtes oder auf natürliche Weise entstandenes Material ist, insbesondere Blähton, Blähglas, Schaumglas, Blähschiefer, Ziegelsplitt, Hüttenbims, gesinterte Steinkohlenflugasche, Bläherperlite, Naturbims, Lavaschlacke oder Tuff.
3. Wärmespeicher (1) nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass das zumindest eine Isoliermaterial in Schotterform und/oder in Kugelform und/oder in abgerundeter Form ausgebildet ist.
4. Wärmespeicher (1) nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest eine thermisch isolierende Schicht (2) als Schüttung aus dem Isoliermaterial ausgebildet ist.
5. Wärmespeicher (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest eine thermisch isolierende Schicht (2) aus Beton ausgebildet ist, welcher das Isoliermaterial als Zuschlagstoff aufweist.
6. Wärmespeicher (1) nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, dass der Beton der zumindest einen thermisch isolierenden Schicht (2) eine Bewehrung und/oder Rissbleche und/oder eingelagerte Fasern aufweist.
7. Wärmespeicher (1) nach Anspruch 5 oder 6,
dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest eine

thermisch isolierende Schicht (2) aus einer Mehrzahl von Segmenten (14) ausgebildet ist, wobei zumindest zwischen nebeneinander angeordneten Segmenten (14) jeweils eine Dehnfuge (11) ausgebildet ist.

5

8. Wärmespeicher (1) nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, dass die Segmente (14) derart ausgebildet sind, dass die Dehnfugen (11) zwischen nebeneinander angeordneten Segmenten (14) in radialer Richtung stufenförmig verlaufen.
9. Wärmespeicher (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Wärmespeichermaterial (3) und der zumindest einen thermisch isolierenden Schicht (2) eine Trennschicht (6) aus Beton, aus Metall oder aus Ziegeln angeordnet ist.
10. Wärmespeicher (1) nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Trennschicht (6) und der Druckbehälterwand (7) eine Mehrzahl die zumindest eine thermisch isolierende Schicht (2) durchdringende oder in dieser eingelagerte Stahlträger (8) und/oder Stützen (9) angeordnet sind.
11. Wärmespeicher (1) nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet, dass die Stützen (9) jeweils als Rückverankerung des jeweiligen Stahlträgers (8) an der Druckbehälterwand (7) ausgebildet sind.
12. Wärmespeicher (1) nach Anspruch 10 oder 11,
dadurch gekennzeichnet, dass die Stahlträger (8) jeweils in einem Bodenbereich des Druckbehälters (4) verankert sind und in der jeweiligen als Rückverankerung ausgebildeten Stütze (9) in vertikaler Richtung beweglich gelagert sind.
13. Wärmespeicher (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass das zumindest eine Isoliermaterial Korngrößen von einem Millimeter bis 60 mm aufweist.
14. Wärmespeicher (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass die Druckbehälterwand (7) aus Stahlbeton, aus Spannbeton oder aus Stahl ausgebildet ist.
15. Wärmespeicher (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass an einer Innenseite der Druckbehälterwand (7) eine Schutzschicht (10) angeordnet ist.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

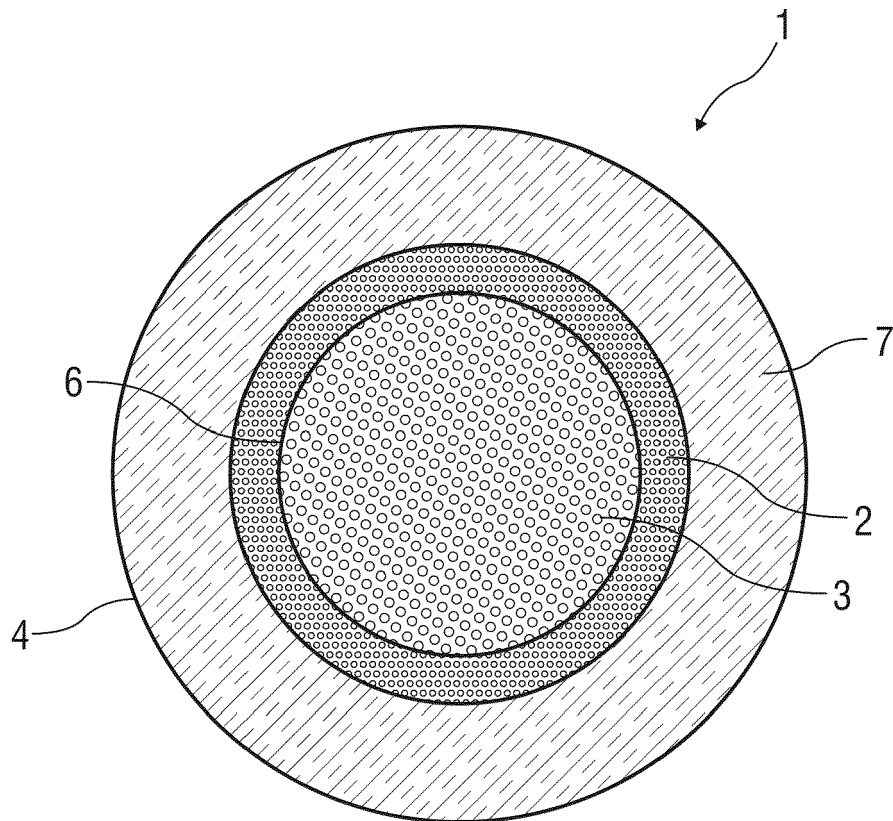


FIG 1

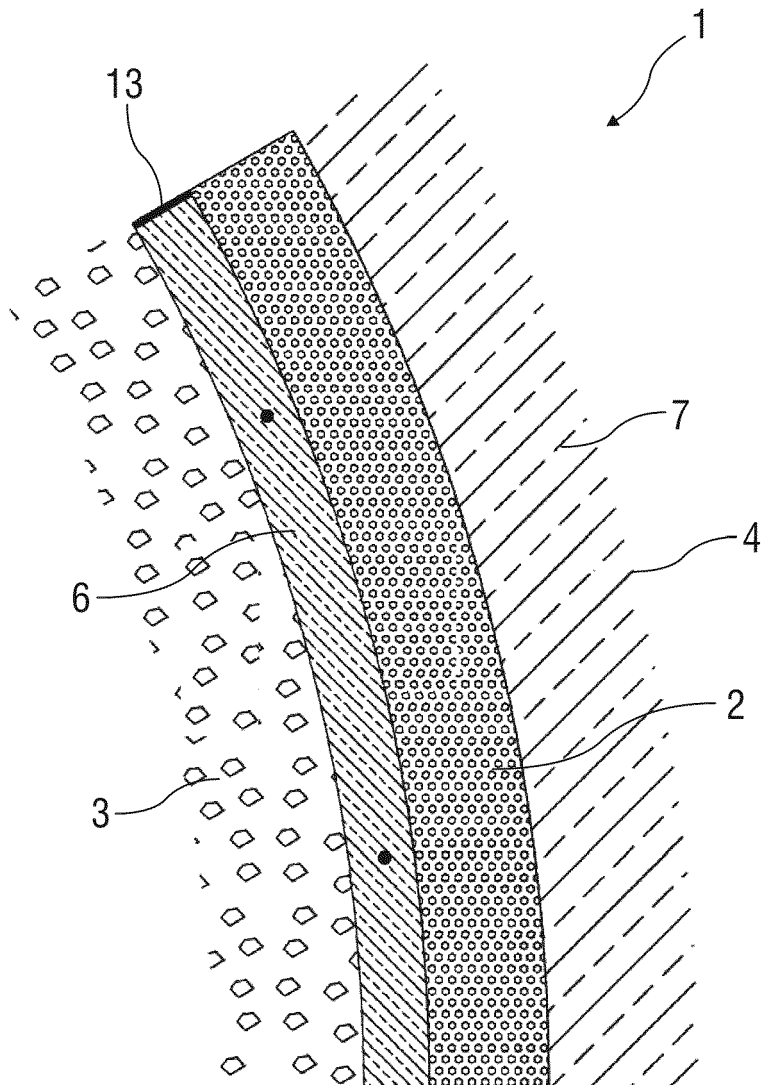


FIG 2

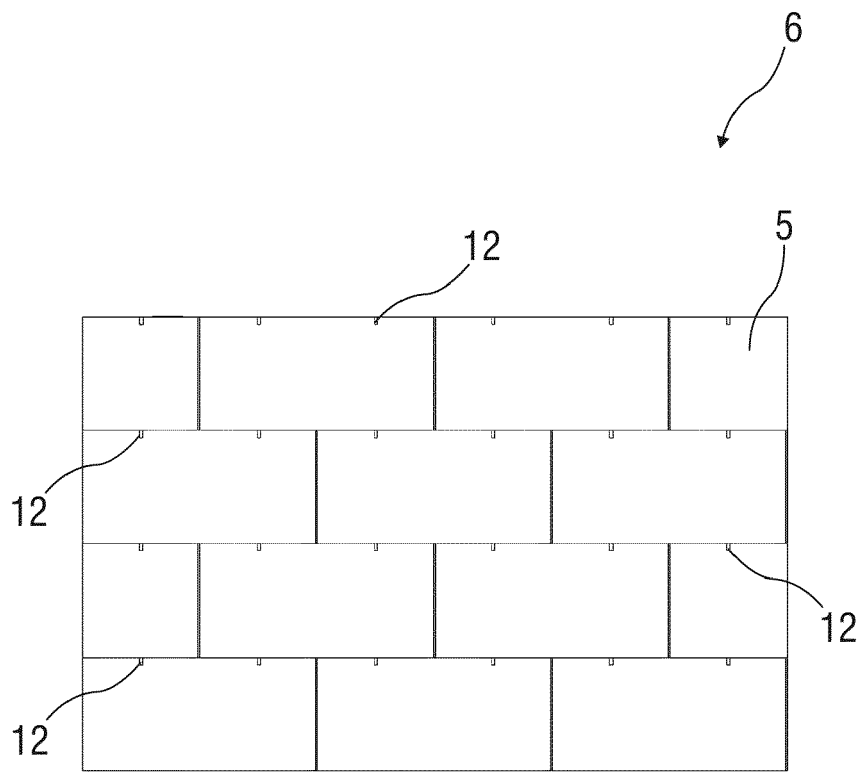


FIG 3

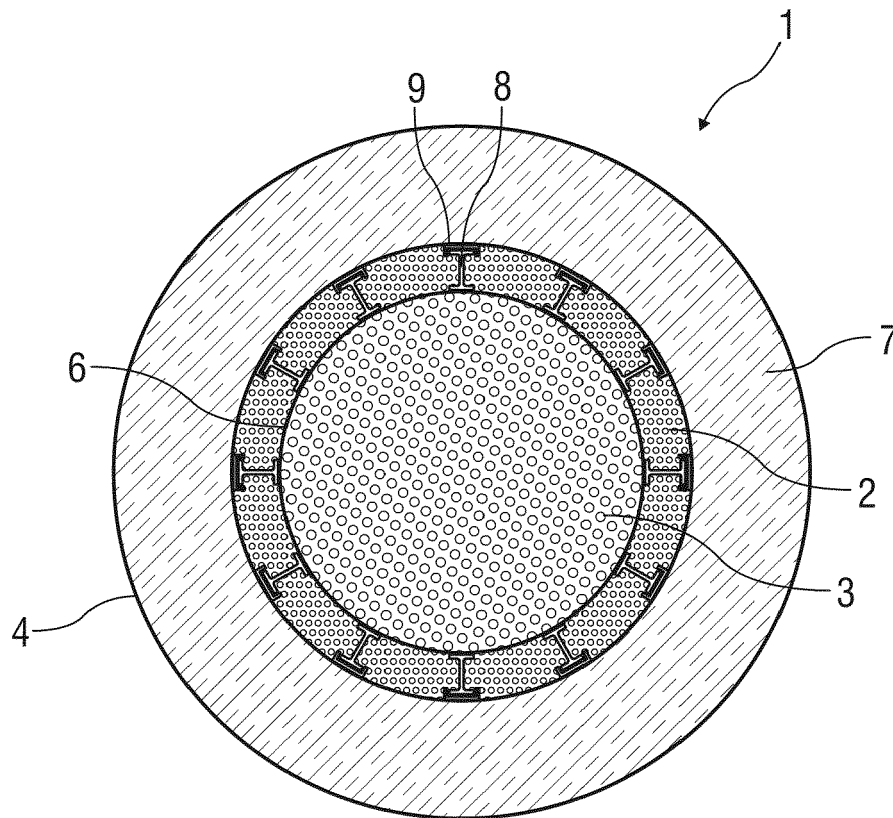


FIG 4

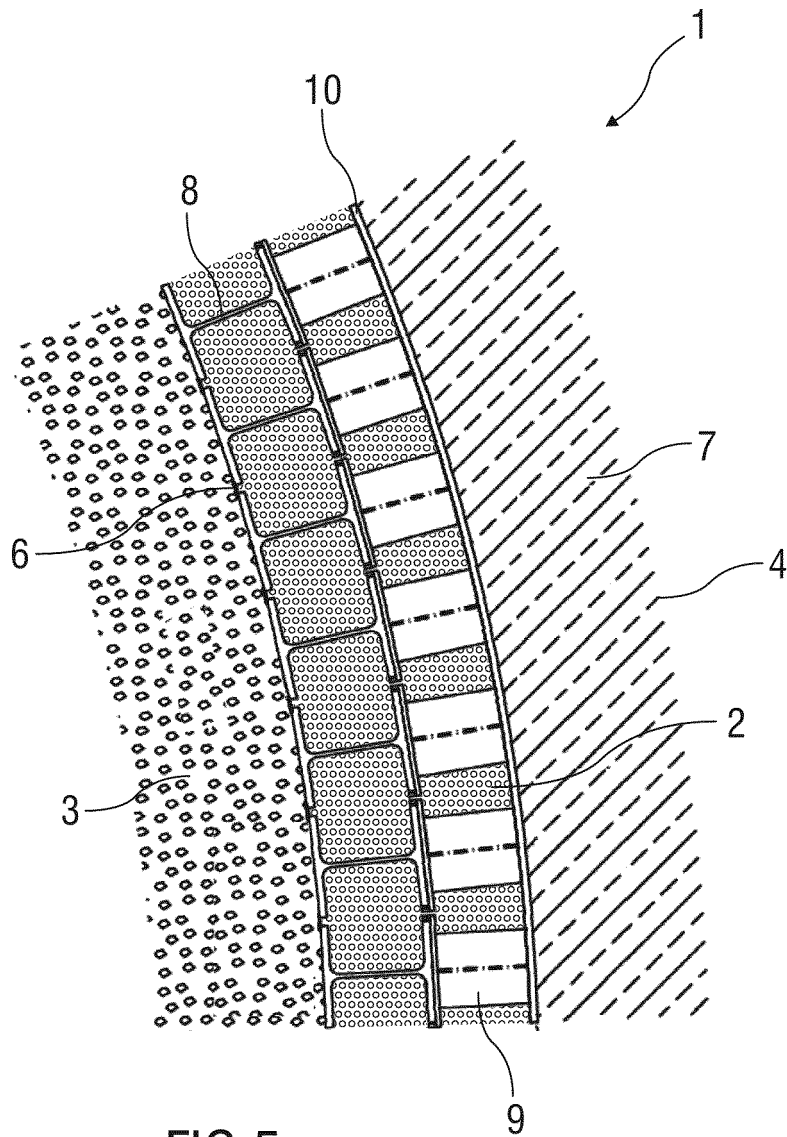


FIG 5

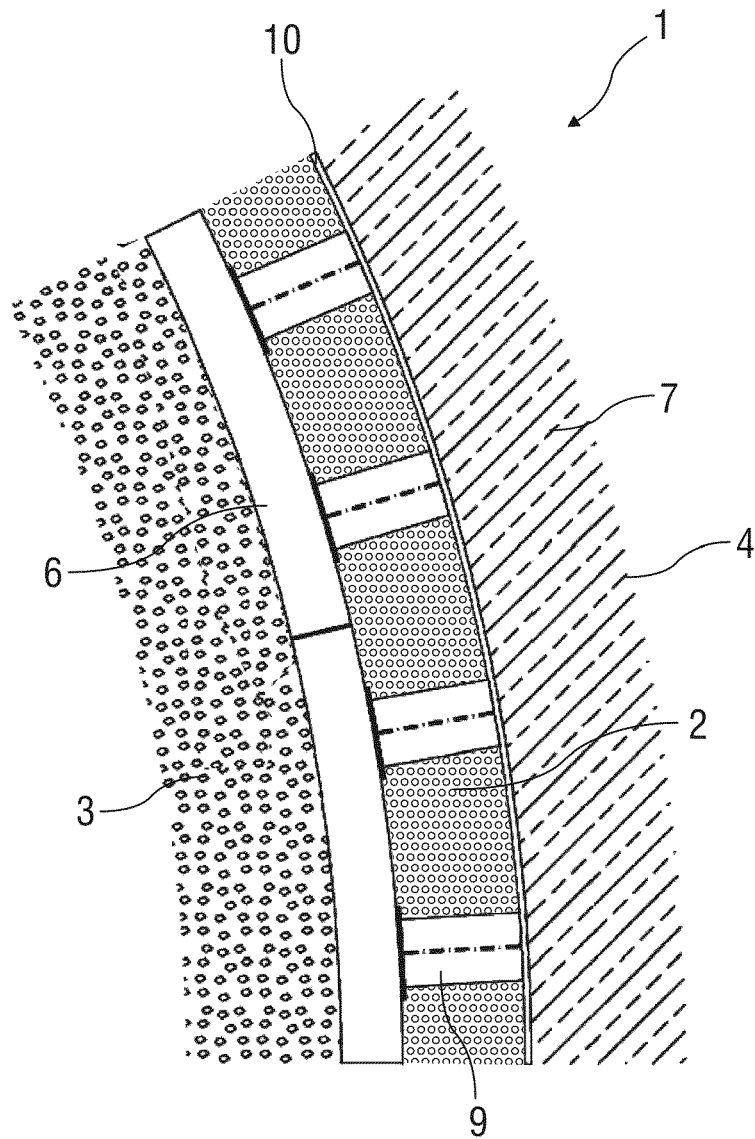


FIG 6

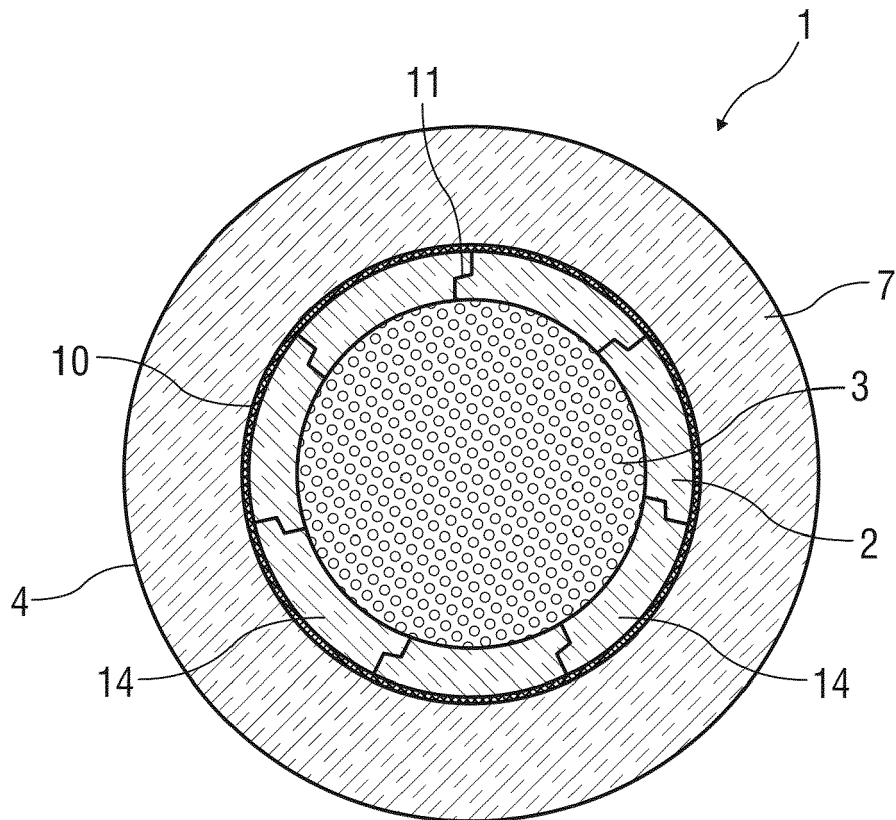


FIG 7

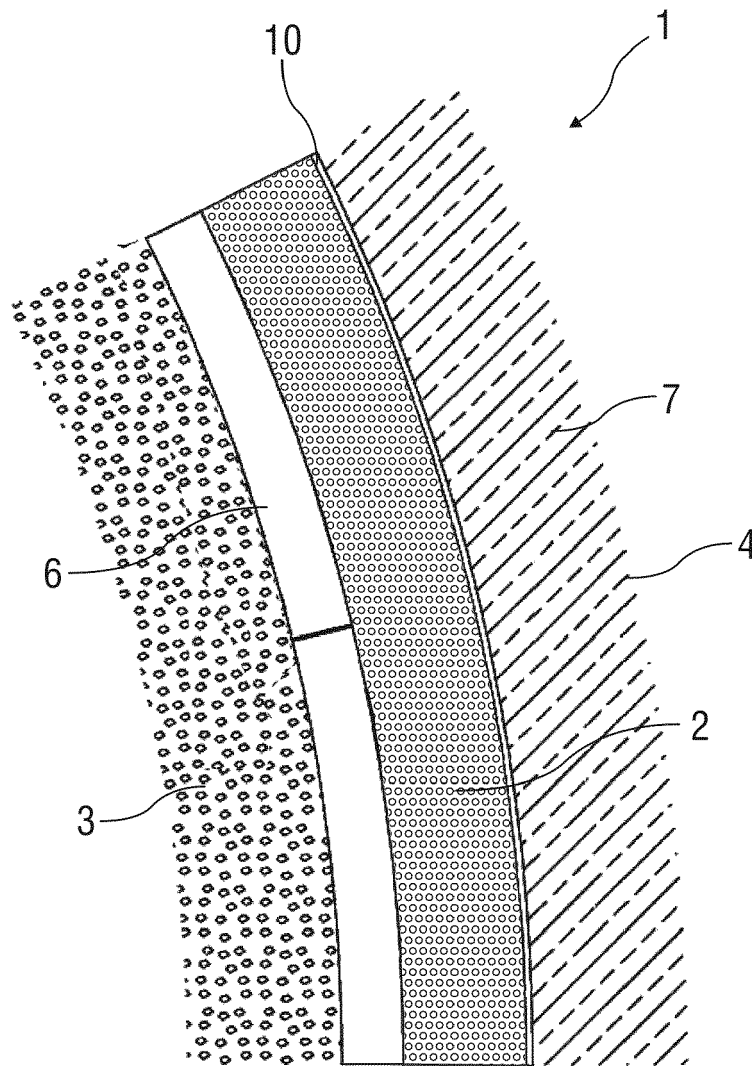


FIG 8

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

- EP 1857614 A2 [0006]