



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH

703 780 A2

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

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 01414/10

(22) Anmeldedatum: 02.09.2010

(43) Anmeldung veröffentlicht: 15.03.2012

(30) Priorität: 30.08.2010 CH 1396/10

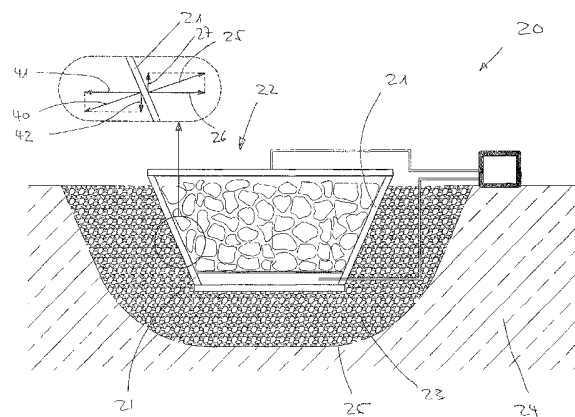
(71) Anmelder:
Airlight Energy IP SA, Via Croce 1
6710 Biasca (CH)

(72) Erfinder:
Andrea Pedretti, 6948 Porza (CH)

(74) Vertreter:
Stump und Partner Patentanwälte AG, Dufourstrasse 116
8008 Zürich (CH)

(54) Wärmespeicher.

(57) Bekannte Wärmespeicher mit einem Behälter für Wärme speicherndes Schüttgut wie Kies/Keramik-Kugeln besitzen eine Stahlwand, die für grössere Wärmespeicher bzw. die Speicherung von Wärme bei höheren Temperaturen konstruktiv äusserst aufwendig herzustellen ist. Erfindungsgemäss wird die Seitenwand (21) des Wärmespeichers (20) ihrerseits durch ein stützendes Schüttgut (23) gestützt und ist bevorzugt geneigt, mit der Folge, dass die Seitenwand (21) wesentlich geringer beansprucht ist und aus nicht metallischem Material, wie beispielsweise Beton hergestellt werden kann. Solch ein Wärmespeicher (20) ist einfach und kostengünstig herzustellen und erlaubt auch langfristige Speicherung von grossen Wärmemengen bei hohen Temperaturen.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Wärmespeicher nach dem Oberbegriff von Anspruch 1 sowie einen Wärmespeicher nach Anspruch 16.

[0002] Wärmespeicher finden unter anderem in Kraftwerken Verwendung, insbesondere in Solarkraftwerken. Bekannt sind kleinere oder grössere zylinderförmige Stahltanks, die auf Stützen ruhen und eine Füllung aus Kies oder Keramik besitzen.

[0003] Eine Füllung aus Kies (oder, wie erwähnt, auch Keramik, wobei nachstehend der Einfachheit halber auf Kies Bezug genommen wird) besitzt eine vergleichsweise grosse Wärmekapazität und kann von einem Fluid durchströmt werden, da die Zwischenräume zwischen den einzelnen Steinen genügend zusammenhängen und eine gleichmässige Durchströmung über den ganzen Querschnitt der Kiesfüllung erlauben. Durch ein heisses Fluid wird die Kiesfüllung erwärmt, die dann später ihrerseits die Wärme wieder an ein kühleres Fluid abgeben kann. Im Ganzen sind Wärmespeicher mit einem Wärme speichernden Schüttgut geeignet, durch Sonnenenergie erzeugte Wärme zu speichern.

[0004] Insbesondere bei der Erzeugung von Wärme durch Solarenergie hängt aber die aktuell erzeugte Wärmemenge von den Witterungsbedingungen (und natürlich von der Tageszeit) ab, wobei die Schwankungen über Tag witterungsbedingt sehr gross sein können. Häufige Witterungsschwankungen oder Schlechtwetterperioden bringen Ausfälle an Wärmeproduktion mit sich, die so gravierend sein können, dass die Produktion von solarer Wärme wetterbedingt an Standorten nicht in Frage kommt, die sonst von der Sonneneinstrahlung her nicht zum Vornherein ausgeschlossen werden müssten.

[0005] In Solarthermischen Kraftwerken wird die Strahlung der Sonne durch Kollektoren mit Hilfe des Konzentrators gespiegelt und gezielt auf einen Ort fokussiert, in welchem dadurch hohe Temperaturen entstehen. Die konzentrierte Wärme kann abgeführt und beispielsweise zum Betrieb von thermischen Kraftmaschinen wie Turbinen verwendet werden, die wiederum die Strom erzeugenden Generatoren antreiben.

[0006] Heute sind drei Grundformen von solarthermischen Kraftwerken im Einsatz: Dish-Sterling-Systeme, Solarturmkraftwerkssysteme und Parabolrinnensysteme.

[0007] Dish-Sterling-Systeme sind mit Paraboloidspiegeln ausgerüstet, die das Sonnenlicht auf einen Brennpunkt konzentrieren, wo ein Wärmeempfänger angeordnet ist. Die Spiegel sind zweiachsig drehbar gelagert, um dem aktuellen Sonnenstand nachgefahren werden zu können, und besitzen einen Durchmesser von wenigen Metern bis zu 10 m und mehr, womit dann Leistungen von bis zu 50 kW pro Modul erreicht werden. Ein beim Wärmeempfänger installierter Sterlingmotor wandelt die thermische Energie direkt in mechanische Arbeit um, durch die wiederum Strom erzeugt wird.

[0008] An dieser Stelle sei auf die in US-PS 4,543,945 dargestellten Ausführungsformen und die installierten Anlagen Distal und Eurodish der EU in Spanien verwiesen.

[0009] Solarturmkraftwerkssysteme besitzen einen zentralen, erhöht (auf dem «Turm») montierten Absorber für das durch hunderte bis tausende von einzelnen Spiegeln mit zu ihm gespiegelte Sonnenlicht, womit die Strahlungsenergie der Sonne über die vielen Spiegel bzw. Konzentratoren im Absorber konzentriert und so Temperaturen bis zu 1300° C erreicht werden, was für den Wirkungsgrad der nachgeschalteten thermischen Maschinen (in der Regel ein Dampf- oder Fluidturbinkraftwerk zur Stromerzeugung) günstig ist. Die Anlage «Solar two» in Kalifornien besitzt eine Leistung von mehreren MW.

[0010] Parabolrinnenkraftwerke besitzen Kollektoren in hoher Anzahl, die lange Konzentratoren mit geringer Querabmessung aufweisen, und damit nicht einen Brennpunkt, sondern eine Brennnlinie besitzen. Diese Linienkonzentratoren besitzen heute eine Länge von 20 m bis zu 150 m. In der Brennnlinie verläuft ein Absorberrohr für die konzentrierte Wärme (bis gegen 500°C), das diese zum Kraftwerk transportiert. Als Transportmedium kommt beispielsweise Thermoöl oder überhitzter Wasserdampf in Frage.

[0011] Die 9 SEGS-Parabolrinnen-Kraftwerke in Südkalifornien produzieren zusammen eine Leistung von ca. 350 MW. Das 2007 ans Netz gegangene Kraftwerk «Nevada Solar One» besitzt Rinnenkollektoren mit 182 400 gekrümmten Spiegeln, die auf einer Fläche von 140 Hektar angeordnet sind und produziert 65 MW.

[0012] Ein weiteres Beispiel für ein Parabolrinnenkraftwerk ist Andasol 1 in Andalusien, mit einer Konzentratorfläche von 510'000 m² und 50 MW Leistung, wobei die Temperatur in den Absorberrohren ca. 400° C erreichen soll. Die Kosten beliefen sich auf dreihundert Millionen Euro. Ebenso Andasol 2, das Mitte 2009 den Testbetrieb aufgenommen hat, sowie Andasol 3, das Mitte 2011 den Betrieb aufnehmen soll.

[0013] Es ergibt sich, dass ein sehr breites Bedürfnis für die Speicherung von Wärme besteht:

[0014] Einerseits für die verschiedensten Wärmemengen von einzelnen kleinen Systemen wie z.B. Dish-Sterling Systemen bis hin zu im industriellen Massstab produzierter Wärme von Kraftwerken wie Andasol.

[0015] Andererseits soll die Speicherung nur kurzzeitig stattfinden (Beschattung, Wartungsarbeiten, Wind etc.), dann mittelfristig, beispielsweise für den Gebrauch in der Nacht oder längerfristig während einer Schlecht-Wetterperiode.

[0016] Schliesslich soll Wärme bei möglichst hoher Temperatur gespeichert werden können, da hohe Temperaturen bei der Umwandlung in eine andere Energieform (beispielsweise Strom) für einen hohen Wirkungsgrad notwendig sind und wie oben erwähnt zunehmend durch Parabolrinnenkraftwerke, insbesondere durch Solarturmsysteme aber auch durch

kleine Parabolspiegel bereit gestellt werden können. Damit sind die Verluste bei der Wärmespeicherung nicht nur von der Isolation während der Speicherdauer und damit vom Temperaturabfall, sondern auch von der Temperatur der aus dem Speicher entnommenen Wärme bestimmt. Wie oben erwähnt, kann die im Konzentrator eines Parabolrinnenkraftwerks erzeugte Wärme 500 Grad erreichen, wobei durch die weitere Entwicklung noch höhere Temperaturen angestrebt werden.

[0017] Die Kiesfüllung eines Wärmespeichers besitzt nun erhebliches Gewicht, so dass der Behälter eine entsprechend massive Stahlwand aufweisen muss, um dem Druck des Kiesel zu widerstehen. Für kleine Wärmespeicher ist die Konstruktion einer Stahlwand auf den ersten Blick weniger anspruchsvoll, für grosse Wärmespeicher sicher nicht mehr trivial.

[0018] Der Ruhedruck der Kiesfüllung (aktiver Druck) ist dabei weniger problematisch, da aufgrund der Leerräume zwischen den Steinen mit einem aktiven Druck von ca. 30 % einer Wassersäule gerechnet werden muss. Natürlich hängt der aktive Druck von der Dichte des Schüttguts ab und kann höhere Werte annehmen. In der Regel (aber keineswegs zwingend) wird die gewünschte Durchströmbarkeit des Schüttguts aber dazu führen, dass ein Schüttgut nicht allzu hoher Dichte verwendet wird.

[0019] Im Betrieb des Wärmespeichers muss der Natur der Sache nach die Kiesfüllung erwärmt und abgekühlt werden. Bei der Erwärmung dehnt sich die Kiesfüllung aus, was einen Expansionsdruck erzeugt, dem die Stahlwand widerstehen muss, so dass eine entsprechend massive Konstruktion notwendig ist. Ist nun eine Ausdehnung der Kiesfüllung durch die starre Wand nicht möglich, wird die Ausdehnung der einzelnen Steine kompensiert durch eine Verschiebung ihrer Anordnung gegeneinander, so dass sich der Leerraum zwischen den Steinen um das durch die Wärmedehnung der Steine konsumierte Volumen verringert. Der Expansionsdruck entspricht also in seiner Grössenordnung demjenigen Druck, der von aussen aufgebracht werden müsste, um eine Kiesfüllung durch eine vertikale Wand zusammenzuschieben (passiver Druck).

[0020] Der passive (wie natürlich auch der aktive) Druck ist abhängig von der Art des Schüttguts und beträgt im Fall von locker geschüttetem Kies etwa das Dreifache des Drucks einer Wassersäule, oder mehr. Mit anderen Worten ist es so, dass der massgebende Betriebsdruck im konventionellen Wärmespeicher dem passiven Druck entspricht, der wesentlich höher ist als der aktive Druck der Kiesfüllung.

[0021] Hier ist zu berücksichtigen, dass sich Stahl schneller erwärmt als Kies, mit der Folge, dass die Stahlwand des Kiesbehälters bei der Aufheizung des Kiesel diesem in der Temperatur und damit auch in der Wärmedehnung voraneilt. Damit nimmt während dem Aufheizvorgang das Volumen des Behälters stärker zu als dasjenige der Kiesfüllung, welche damit etwas in sich zusammenfällt (d.h. ein etwas breiteres, aber weniger hohes Volumen einnimmt). Hat die Behälter-Stahlwand die Temperatur des wärmenden Fluids erreicht (die etwas über der Speichertemperatur liegen wird) folgt das Kies in seiner Temperatur erst nach und beginnt durch die entsprechende Volumenzunahme Expansionsdruck aufzubauen, der sein Maximum bei der Speichertemperatur erreicht. Dies kann dazu führen, dass die Streckgrenze der (heissen, und darum weniger beanspruchbaren) Stahlwand überschritten wird und der Behälter sich verformt, letztlich zerstört wird.

[0022] Im Ganzen muss der Behälter insbesondere für grössere Wärmespeicher recht eigentlich gepanzert werden, um den im Betrieb auftretenden Drücken widerstehen zu können, was konstruktiv aufwendig und in der Herstellung kompliziert und teuer ist.

[0023] Entsprechend ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen einfachen Wärmespeicher bereitzustellen, der die Speicherung kleiner, aber auch grosser Wärmemengen ermöglicht.

[0024] Diese Aufgabe wird durch einen Wärmespeicher mit den Merkmalen von Anspruch 1 oder Anspruch 16 gelöst.

[0025] Dadurch, dass die Seitenwand von aussen abgestützt ist, wird sie im Wesentlichen nur auf Druck beansprucht, ohne dass sie einer Umfangsdehnung auf Grund einer druckbedingten Durchmesserzunahme widerstehen muss, was eine erheblich niedrigere Beanspruchung der Seitenwand zur Folge hat und eine entsprechend einfache Konstruktion erlaubt. Dadurch, dass die Abstützung durch ein Schüttgut erfolgt, lässt sich in einfachster Weise eine genügend widerstandsfähige Abstützung erzielen, da die Abstützung zum Vornherein einen aktiven Druck aufweist, der in der Grössenordnung des Betriebsdrucks (d.h. des aktiven Drucks) des Wärme speichernden Schüttguts liegt.

[0026] Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist die die Seitenwand (oder mindestens Bereiche der Seitenwand) in einem Neigungswinkel geneigt, was dazu führt, dass sich das Wärme speichernde Schüttgut bei der während der Speicherung von Wärme erfolgenden Expansion etwas gegen oben verschiebt, so dass sich das Volumen der Schüttgutfüllung erhöht und damit der real auftretende Betriebsdruck kleiner wird als Expansionsdruck bei einer vertikal angeordneten Seitenwand.

[0027] Damit ist die Druckbelastung der Seitenwand noch einmal reduziert, mit der Folge, dass für die Seitenwand nicht nur Stahl eingesetzt werden, sondern diese einer weiteren Ausführungsform entsprechend auch aus Beton bestehen kann.

[0028] Weitere bevorzugte Ausführungsformen weisen die Merkmale der abhängigen Ansprüche auf.

[0029] Die Erfindung wird nachstehend anhand der Figuren noch etwas näher beschrieben.

[0030] Es zeigt:

- Fig. 1 schematisch eine erste Ausführungsform der Erfindung mit im Untergrund versenktem Behälter für das die Wärme speichernde Schüttgut
- Fig. 2 schematisch eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung mit einer geneigten Seitenwand
- Fig. 3a bis c schematisch weitere Ausführungsformen, bei denen das stützende Schüttgut über dem Untergrund aufgeschüttet ist, und
- Fig. 4 eine aus Betonsegmenten zusammengesetzte Betonwand für den Behälter von Wärme speicherndem Schüttgut
- Fig. 5a und 5b verschiedene Konfigurationen für einen erfindungsgemässen Wärmespeicher

[0031] Fig. 1 zeigt schematisch einen Wärmespeicher 1, der in den Untergrund 2 eingelassen ist und einen Behälter 3 für eine Füllung aus Wärme speicherndem Schüttgut 4 aufweist. Der Behälter 3 besitzt eine Seitenwand 5, die das wärmespeichernde Schüttgut 4 umschliesst. Von einem Maschinenhaus 6 führt eine Fluidleitung 7 in den Bodenbereich 8 des Wärmespeichers 1, wo sich das Fluid verteilen und über einen Siebboden 9 gleichförmig verteilt in das Wärme speichernde Schüttgut 4 eintreten, dieses durchströmen, oben aus diesem austreten und über die Fluidleitung 10 in das Maschinenhaus 6 zurückgeführt werden kann.

[0032] In der Figur nicht dargestellt sind die weiteren Komponenten, mit denen das Maschinenhaus 6 mit einer Wärmequelle wie einem Solarkraftwerk verbunden ist. Ebenfalls nicht dargestellt sind die Komponenten, zu denen hin die dem Wärmespeicher 1 entnommene gespeicherte Wärme vom Maschinenhaus 6 ausgeführt wird.

[0033] In der Figur dargestellt ist eine Durchströmung mit Fluid von unten nach oben. Damit kann das Wärme speichernde Schüttgut 4 durch heisses, von der Wärmequelle stammendes Fluid aufgeheizt werden. Nach Bedarf kann später kaltes Fluid durch das Wärme speichernde Schüttgut 4 geleitet werden, das sich entsprechend aufheizt und dann zur Umwandlung von Energie nutzbar ist, etwa zur Dampferzeugung, wobei der Dampf dann seinerseits eine Turbine für die Produktion von Strom antreiben kann.

[0034] Als Fluid wird vorzugsweise ein Gas wie Luft eingesetzt. Andere Fluide, auch flüssige, sind ebenfalls denkbar. Als Wärme speicherndes Schüttgut 4 dient bevorzugt Kies. Andere Schüttgüter sind ebenfalls denkbar. Schliesslich sind für die Führung des Fluids durch das Wärme speichernde Schüttgut 4 verschiedenste Lösungen möglich, z.B. derart, dass sich im Wärme speichernden Schüttgut 4 eine Temperaturschichtung ergibt und die Durchströmung im Gleichstrom oder im Gegenstrom erfolgt.

[0035] Der Fachmann kann die oben erwähnten Elemente auslegen bzw. modifizieren um eine optimale Wärmespeicherung nach den Gegebenheiten vor Ort zu erzielen. Insbesondere kann der Wärmespeicher 1 für die Speicherung der Wärme einer kleinen Einheit oder für die Speicherung von Wärme im industriellen Massstab ausgelegt und entsprechend ausgebildet werden.

[0036] Der in der Figur dargestellte Untergrund 2 weist eine unterschiedliche Struktur auf. Einerseits eine feste Struktur, wie z.B. Felsen 13 und andererseits eine schüttgutartige Struktur 14, wie z.B. Erde oder Kies.

[0037] Im Betrieb wird die Seitenwand 5 durch das sich erheizende, die Wärme speichernde Schüttgut durch gegen aussen gerichteten, im Fall eines zylindrischen Behälters 3 durch radialen Betriebsdruck belastet, wobei die Seitenwand 5 ihrerseits gegen aussen am sie stützenden Schüttgut 14 abgestützt ist. Dadurch wird die Seitenwand 5 im Wesentlichen nur auf Druck beansprucht. Besteht die Seitenwand 5 aus Stahl, wird durch die Wärmedehnung der Durchmesser des Behälters 3 grösser, mit der Folge, dass sich das stützende Schüttgut seinem aktiven Druck entsprechend Gegendruck aufbaut, so dass bei der nachfolgenden Zunahme des Durchmessers der Füllung aus Wärme speicherndem Schüttgut die Seitenwand 5 bereits stabil durch das stützende Schüttgut abgestützt ist und eine weitere Durchmesserzunahme der Seitenwand weitgehend oder ganz unterdrückt wird: es bleibt erfindungsgemäss bei der grundsätzlichen nur Druck-Beanspruchung der Seitenwand, was eine entsprechend leichte und einfache Ausführung ermöglicht. Hier ist anzufügen, dass bevorzugt für das stützende Schüttgut 14 ein dichteres Material (gegenüber dem Wärme speichernden Material) verwendet wird, da dieses nicht von einem Fluid durchströmt werden muss. Dies wird bei Verwendung von Aushub aus der Grube, in die der erfindungsgemässe Wärmespeicher 1 gelegt wird, in der Regel der Fall sein. Damit ist der passive Druck des stützenden Schüttguts 14 zum Vornherein grösser als derjenige des Wärme speichernden Schüttguts 4, mit dem entsprechenden Vorteil einer stabilen Abstützung der Seitenwand 5.

[0038] In einer bevorzugten Ausführungsform ist das stützende Schüttgut 14 gegenüber dem lockeren Füllzustand verdichtet, was bei gewissen Schüttgütern vorteilhaft sein kann, aber beispielsweise bei groben, aus harten Einzelteilen bestehenden Schüttgütern wie grobem Kies kaum notwendig ist. Hier ist anzumerken, dass der Fachmann bei der Auswahl des stützenden Schüttguts insbesondere dessen passiven Druck berücksichtigen wird, aber in der Bestimmung des Materials des Schüttguts grundsätzlich frei ist und dieses auf die Bedürfnisse vor Ort abstimmen kann.

[0039] Fig. 2 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform eines Wärmespeichers 20, dessen Seitenwand 21 in einem Neigungswinkel gegenüber der Horizontalen geneigt ist, derart, dass sich der Behälter 22 des Wärmespeichers 20 gegen

oben erweitert. In der Ausführungsform gemäss Fig. 2 besitzt der Behälter 22 die Form eines umgekehrten Kegelstumpfs. Der Behälter 22 ist ganz von einem stützenden Schüttgut 23 wie beispielsweise Kies umgeben, das eine in der Figur gestrichelt angedeutete Grube 25 ausfüllt, die aus dem Untergrund 24 ausgehoben worden ist. Grundsätzlich ist es so, dass der Raum zwischen der ausgehobenen Grube 25 und dem in dieser eingesetzten Behälter 22 durch das Material des Untergrunds wieder zugeschüttet werden kann, das dann das stützende Schüttgut 23 bildet. Je nach der Materialbeschaffenheit kann der Fachmann auch vorsehen, ein anderes Schüttgut 23 dafür vorzusehen, das die gewünschten Eigenschaften, insbesondere den gewünschten aktiven Druck aufweist.

[0040] Durch die Neigung der Seitenwand 21 kann das unter Expansionsdruck stehende Wärme speichernde Schüttgut 4 sich etwas nach oben verschieben, da die Reaktion der Wand auf dessen einzelne Steine dank der Schräglage eine nach oben gerichtete Komponente besitzt:

[0041] Eine Flächeneinheit der Seitenwand 21 übt eine Reaktionskraft gemäss dem Vektor 25 der Reaktionskraft auf, wobei dieser Vektor 25 eine horizontal nach innen gerichtete Komponente 26 sowie die oben genannte, vertikal nach oben gerichtete Komponente 27 besitzt, welche wiederum eine Bewegung der einzelnen Steine des Wärme speichernden Schüttguts 4 nach oben zur Folge hat.

[0042] Verschieben sich Steine nun etwas nach oben, erfolgt durch die gleichzeitige Zunahme des Volumens eine Druckentlastung. Dieser Effekt spielt über die ganze Höhe des Behälters 20. Zwar spielt dieser Effekt auf Grund der Reibung der einzelnen Steine unter sich und mit der Seitenwand 21 nur beschränkt, aber dennoch so weit, dass sich der reale Betriebsdruck gegenüber dem aktiven Druck entsprechenden Expansionsdruck bei vertikaler Seitenwand merklich verringert. Dies wiederum führt zu einer Entlastung der Seitenwand, da eben der auf sie wirkende Betriebsdruck kleiner ist als bei einer vertikal ausgerichteten Seitenwand.

[0043] Bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist das Wärme speichernde Schüttgut im Betrieb des Wärmespeichers einen passiven Druck auf, der höher ist als die Soll-Betriebsdrucksfestigkeit (ohne Sicherheitsreserve) der Seitenwand des Behälters, der das Wärme speichernde Schüttgut 4 enthält. Dies ist möglich, weil der Neigungswinkel der Seitenwand 21 gegenüber der Horizontalen einen Wert derart aufweist, dass der Betriebsdruck des Wärme speichernden Schüttguts 4 kleiner ist als die Betriebsdruckfestigkeit der Seitenwand 21.

[0044] Die Neigung der Seitenwand 21 ergibt nicht nur die oben beschriebene vorteilhafte Wirkung auf das Wärme speichernde Schüttgut 4, sondern zugleich auch die anhand des Kraftvektors 40 beschriebene vorteilhafte Wirkung auf das stützende Schüttgut: Eine Flächeneinheit der Seitenwand 21 wird durch den Betriebsdruck belastet und übt auf den entsprechenden Bereich des stützenden Schüttguts 23 eine Kraft gemäss dem Vektor 40 aus, der eine nach aussen gerichtete horizontale Komponente 41 und eine nach unten gerichtete vertikale Komponente 42 besitzt.

[0045] Durch die horizontale Komponente 42 allein könnte das stützende Schüttgut 23 an der Oberfläche 43 teilweise nach oben weggedrückt werden, wie dies durch den Umriss einer Anhäufung 44 angedeutet ist. Dadurch würde im Bereich der Oberfläche 43 die Wirkung des stützenden Schüttguts vermindert, mit der Gefahr, dass sich dieser Effekt gegen unten fortsetzt und sich das stützende Schüttgut 23 im Bereich der Seitenwand 23 lockert, mit der Folge, dass die Seitenwand 21 auf eine entsprechend höhere Beanspruchung ausgelegt werden müsste.

[0046] Durch die vertikal nach unten gerichtete Komponente 42 jedoch wird die Gefahr einer Anhäufung 44 vermieden, da das unter Druck stehende stützende Schüttgut 23 nicht nur horizontal nach aussen weg, sondern auch gleichzeitig gegen unten gedrückt wird.

[0047] Zusammenfassend kann einerseits die Seitenwand durch ein stützendes Schüttgut gestützt werden, was überhaupt grössere Wärmespeicher (d.h. Wärmespeicher, deren Füllung ein grosses Volumen besitzen) erlaubt, da ohne solche Stützung die Seitenwand aufgrund der aufzufangenden Kräfte kaum wirtschaftlich herzustellen wäre. Zudem kann der Betriebsdruck durch die geschilderte Neigung der Seitenwand merklich gesenkt werden, was die Konstruktion einer konventionellen Seitenwand erleichtert. In Kombination ermöglichen diese beiden Bauprinzipien, die Beanspruchung der Seitenwand derart zu reduzieren, dass dann auch für grosse Wärmespeicher auf andere Materialien als Stahl, wie beispielsweise Beton zurückgegriffen werden kann, was wiederum die erfindungsgemässen, weiteren, erheblichen Vorteile mit sich bringt, wie es im Zusammenhang mit der Fig. 4 beschrieben ist.

[0048] Da der konkrete, optimale Neigungswinkel der Seitenwand davon abhängt, welche Schüttgüter verwendet werden, sei an dieser Stelle angefügt, dass ein Neigungswinkel zwischen 50 und 85 Grad ermöglicht, den erfindungsgemässen Effekt bei praktisch alle möglichen Kombinationen von Schüttgutmaterialien zu realisieren. Ein Neigungswinkel zwischen 60 und 80 Grad ist für die meisten gängigen Schüttgüter geeignet (Kies oder Keramik in Verbindung mit Material des Untergrunds), während ein Neigungswinkel von 70 Grad als Mittelwert dienen mag, wenn sich Unsicherheiten im Hinblick auf den Reibungswinkel der Materialien ergeben bzw. nicht homogene Materialien verwendet werden.

[0049] Beispielsweise ergibt sich bei der Wahl eines Wärme speichernden Schüttguts wie abgerundetem Kies mit einer Granulometrie von 28 bis 32 mm, einem spezifischen Gewicht von 15 kN/m³ und einem Reibungswinkel von 40 Grad in Kombination mit einem stützenden Schüttgut wie lockerer, nicht koesiver «Standardboden» mit einem spezifischen Gewicht von 22 kN/m³ und einem Reibungswinkel von 30 Grad bei einem Neigungswinkel der Seitenwand von 80 Grad gegenüber der Horizontalen ein passiver Druck des Kieses von ca. 269 kN/m², während der passive Druck des stützenden «Standardbodens» 420 kN/m² beträgt.

[0050] Die Fig. 3a bis 3c zeigen verschiedene mögliche Konfigurationen im Aufbau des stützenden Schüttguts.

[0051] Fig. 3a zeigt einen teilweise im Untergrund versenkten Behälter 30 eines Wärmespeichers, wobei die dazu gehörenden Fluidleitungen und weiteren Komponenten zur Entlastung der Figur weggelassen sind. Ein Schüttgut 31 umgibt die Seitenwand 32 über deren ganze Höhe, füllt einerseits die Grube 33 und bildet andererseits eine Aufschüttung 34. Die Flanke der Aufschüttung 34 ist flacher als der Reibungswinkel des stützenden Schüttguts 31, womit die Aufschüttung stabil bleibt und die erheblichen Kräfte des Betriebsdrucks aufnehmen kann. Die Stabilität der Flanke der Aufschüttung 34 wird unterstützt durch die Neigung der Seitenwand 32, die unter Betriebsdruck über die nach unten gerichtete Kraftkomponente (s. Fig. 2, nach unten gerichtete Kraftkomponente 42) die Aufschüttung 34 noch stabilisierend verdichtet.

[0052] Fig. 3b zeigt einen teilweise im Untergrund versenkten Behälter 35, wobei der Untergrund genügend aktiven Druck erzeugt, um die Seitenwand 36 zu stützen.

[0053] Die Aufschüttung 37 aus stützendem Schüttgut wird ihrerseits aussen durch eine äussere Endwand 38 gestützt. Dadurch ergibt sich eine Durchmesserreduktion der Anordnung, da die in Fig. 3a dargestellte Flanke des stützenden Schüttguts entfällt. Die äussere Endwand wird aufgrund der inneren Reibung im stützenden Schüttgut 37 durch den auf die Seitenwand 36 wirkenden Betriebsdruck vergleichsweise wenig belastet, und kann durch den Fachmann leicht in konventioneller Art ausgeführt werden. Bevorzugt wird der Aushub für die Grube, in welcher der Behälter 35 liegt, für die Aufschüttung 37 verwendet.

[0054] Fig. 3c zeigt einen auf dem Untergrund (oder auch über dem Untergrund, beispielsweise auf einem Gerüst) stehenden Behälter 40, wobei das Stützende Schüttgut 42 um die Seitenwand 41 herum angehäuft ist, so dass dessen Seitenwand 41 durch eine Aufschüttung 42 aus stützendem Schüttgut gestützt ist, wobei eine äussere Endwand 43 die Aufschüttung 42 umgibt und begrenzt.

[0055] Die Anordnungen der Fig. 3a bis 3c, oder Mischformen davon, können durch den Fachmann bevorzugt nach den vor Ort herrschenden Verhältnissen ausgewählt werden.

[0056] Fig. 4 zeigt eine aus Betonelementen 50 bestehende Seitenwand 51 eines erfindungsgemässen Wärmespeichers (s. Fig. 2). Alle Betonelemente 50 besitzen gleiche Form, können also in Serie hergestellt werden. Über die Länge sind die Betonelemente 50 leicht konisch ausgebildet, so dass sich der vom Fachmann im konkreten Fall bestimmte Neigungswinkel der Seitenwand 51 ausbildet, wenn die Betonelemente 50 zu dieser zusammengefügt werden. Hier sei angefügt, dass die Seitenwand auch aus einem anderen nicht-metallischen Material gefertigt werden kann. Der Begriff «nicht-metallisch» oder «Beton» schliesst jedoch nicht aus, dass der Fachmann aufgrund der vorgesehenen Beanspruchung der Seitenwand bzw. der die Seitenwand bildenden Elemente metallische Verstärkungen vorsehen kann. Zwar ist erfindungsgemäss die Seitenwand im Grundsatz nur auf Druck beansprucht. Aufgrund der konstruktiven Gegebenheiten im realen ausgeführten Wärmespeicher gemäss der vorliegenden Erfindung ist eine gewisse weitere Beanspruchung nicht auszuschliessen, die vom Fachmann neben der Nutzung der erfindungsgemässen Vorteile durchaus gewollt sein kann.

[0057] Die Längsränder 52,53 der Betonelemente 50 weisen eine Stufe 54 auf, so dass eine breitere Oberfläche 55 und eine schmalere Oberfläche 56 entsteht. Die Betonelemente 50 werden nun neben einander positioniert, wobei abwechselnd die breitere Oberfläche 55 und dann die schmalere Oberfläche 56 gegen aussen gerichtet ist, mit der Folge, dass sich die gestuften Längsränder 52,53 auf einander abstützen, so dass die Seitenwand 51 geschlossen ist.

[0058] Der Fachmann kann auch eine andere Geometrie der Ränder 52,53 vorsehen, so dass die Betonelemente 50 geeignet ineinander greifen. Durch dieses in einander greifen ergibt sich eine gegenseitig definierte Lage der jeweils angrenzenden Betonelemente. Zugleich wird durch die Stufenform eine leichte Relativbewegung der angrenzenden Elemente 50 in verbautem Zustand nach wie vor möglich sein, indem die Flanken der Stufen etwas auf einander gleiten, so dass verbleibende, geringste Verschiebungen der Elemente aufgrund des Betriebs des Wärmespeichers möglich sind.

[0059] Im Einzelnen ist ein Betonelement 50 als langgestreckte, flache Platte ausgebildet, deren beide gerade verlaufende Längsränder 52,53 als Stufe 54 ausgebildet sind, die mit der Stufe 54 eines benachbarten Betonelements 50 zum Eingriff gebracht werden kann. Die Breite eines Betonelements 50 am unteren Ende 62 ist kleiner als die Breite am oberen Ende 63. Zudem sind die untere Breite 62, die obere Breite 63 sowie das Verhältnis der Breiten 62,63 derart ausgebildet, dass eine Anzahl von Betonelementen 50 mit im Eingriff stehenden Längsrändern zu einem geschlossenen Mantel eines Kegelstumpfs zusammengefügt werden kann, wie dies in der Figur dargestellt ist.

[0060] Bevorzugt kann der Körper eines Betonelements 50 in Richtung seiner Breite (dies aber über seine ganze Länge) gekrümmt sein, wobei der Krümmungsradius vom breiteren Ende her gegen das schmalere Ende kleiner wird und derart ausgebildet ist, dass er dem Krümmungsradius des Kegelstumpfs im Wesentlichen entspricht.

[0061] In der Figur sind noch die gestrichelt dargestellten Stützen 57 vorgesehen, welche erlauben, die Betonelemente 50 während dem Bau des Wärmespeichers in der vorbereiteten Grube gegeneinander anzuordnen und auszurichten, so dass dann die Grube mit dem stützenden Schüttgut gefüllt werden kann. Im Betrieb des erfindungsgemässen Wärmespeichers ist die Stützwirkung dieser Stützen 57 jedoch von untergeordneter Bedeutung.

[0062] Weiter ersichtlich ist ein Boden 65 des Behälters 51.

[0063] Die Wärmeleitfähigkeit von Beton ist massiv kleiner als diejenige von Stahl, was die zeitlich längere Speicherung von Wärme hoher Temperatur ohne grösseren zusätzlichen Isolationsaufwand ermöglicht. Um eine kühlende Konvektion

von Luft zu unterbinden, wird eine Seitenwand gemäss der Ausführungsform von Fig. 4 bevorzugt aussen mit einer Dichtfolie umschlossen, die ihrerseits dann am stützenden Schüttgut aufliegt. Zwischen der Seitenwand 51 und dem stützenden Schüttgut ist auch eine spezielle Isolationsschicht erfindungsgemäss, die jedoch druckbelastbar sein muss, da sie zwischen der Seitenwand 51 und dem stützenden Schüttgut (das zur Entlastung der Figur nicht eingezeichnet ist) liegt.

[0064] Solche Behälter können beispielsweise einen Durchmesser von 5 m bis 25 m und eine Höhe von 4 m bis 9,5 m aufweisen.

[0065] Fig. 5a zeigt eine weitere, erfindungsgemässe Konfiguration für einen erfindungsgemässen Wärmespeicher. Die Seitenwand 70 ist als Ganzes in verschiedene Segmente 71, 72 aufgeteilt. Dabei ist nur das Segment 71 gegenüber der Horizontalen geneigt, und das Segment 72 vertikal angeordnet, was aber genügt, um den Betriebsdruck des darin vorhandenen (und zur Entlastung der Figur weggelassenen) Wärme speichernden Schüttguts derart zu reduzieren, dass die Seitenwand aus nicht-metallischen Materialien, wie die oben beschriebenen Betonelemente 50, ausgebildet werden kann. Der Fachmann wird eine solche Konfiguration beispielsweise dann wählen, wenn auf der einen Seite der für den Wärmespeicher vorgesehenen Grube der zur Verfügung stehende Raum knapp ist. Hier sei angemerkt, dass beispielsweise am Ort des vertikalen Segments 72 felsiger Untergrund vorliegen könnte, so dass der Fachmann nur das geneigte Segment 72 durch ein stützendes Schüttgut stützen müsste, während das vertikale Segment 71 direkt durch den Fels abgestützt würde. Solche Mischformen liegen zwar im Bereich der vorliegenden Erfindung, sind aber selten, und in der Regel durch spezielle Bodenformationen motiviert. In der Regel wird die gesamte Seitenwand 70 rund, als Kegelstumpf ausgebildet und rundum durch stützendes Schüttgut umgeben sein.

[0066] Fig. 5b zeigt eine zusätzliche, erfindungsgemässe Konfiguration für einen Erfindungsgemässen Wärmespeicher. Die Seitenwand 80 ist als Ganzes in verschiedene Segmente 81 bis 84 aufgeteilt. Eines der Segmente 81 ist dabei vertikal ausgerichtet, die anderen Segmente 82 bis 84 sind gegenüber der Horizontalen erfindungsgemäss geneigt, was genügt, um den Betriebsdruck des darin vorhandenen (und zur Entlastung der Figur weggelassenen) Wärme speichernden Schüttguts derart zu reduzieren, dass die Seitenwand aus nicht-metallischen Materialien, wie die oben beschriebenen Betonelemente 50, ausgebildet werden kann. Zusätzlich ist das Segment 84 eben ausgebildet.

[0067] Solche geometrischen Mischformen wird der Fachmann nach den Verhältnissen vor Ort bestimmen, die Neigung und den Flächenanteil der geneigten Segmente jedoch derart vorsehen, dass der erfindungsgemässe Effekt der geneigten Seitenwand wirksam ist.

[0068] Im Ganzen wird durch die vorliegende Erfindung ein Wärmespeicher bereitgestellt, der für kleine Systeme und für die Speicherung grosser Wärmemengen, wie sie in grossen Solarkraftanlagen erzeugt werden, geeignet ist. Für grosse Wärmemengen kann ein einziger grosser oder mehrere geeignet zusammengeschaltete kleinere Wärmespeicher vorgesehen werden, da der erfindungsgemässe Wärmespeicher, insbesondere in einer Ausführung mit einer aus Betonelementen hergestellten Seitenwand, kostengünstig und vor Ort in Serie produziert werden kann. Durch die Isolationswirkung des stützenden Schüttguts und einer aus Beton bestehenden Seitenwand (natürlich kann der Fachmann auch den Boden und den Deckel des Behälters aus einem Material wie Beton vorsehen) sind ist eine langfristige Speicherzeit möglich, auch von Wärme mit hoher Temperatur, die bei 500 Grad C oder höher liegt, z.B. bei 650 Grad C.

Patentansprüche

1. Wärmespeicher mit einem Behälter für Wärme speicherndes Schüttgut (4), der eine das Schüttgut (4) umschliessende Seitenwand (5) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Seitenwand (5,21,32,36,41,51,70,80) zur Aufnahme des Betriebsdrucks des Wärme speichernden Schüttguts (4) ihrerseits gegen aussen an einem stützenden Schüttgut (14,23,33,37,42) abgestützt ist.
2. Wärmespeicher nach Anspruch 1, wobei das stützende Schüttgut (14,23,33,37,42) gegenüber dem lockeren Füllzustand verdichtet ist.
3. Wärmespeicher nach Anspruch 1, wobei mindestens Segmente der Seitenwand (21,32,36,41,51,70,80) in einem Neigungswinkel gegenüber der Horizontalen geneigt ist, derart, dass sich der Behälter (22,30,35,40) gegen oben erweitert
4. Wärmespeicher nach Anspruch 1, wobei der Neigungswinkel zwischen 50 bis 85 Grad, vorzugsweise zwischen 60 bis 80 Grad, besonders bevorzugt 70 Grad beträgt.
5. Wärmespeicher nach Anspruch 3, wobei das Wärme speichernde Schüttgut (4) im Betrieb einen passiven Druck aufweist, der höher ist als die Betriebsdruckfestigkeit der Seitenwand (21,32,36,41,51,70, 80) und wobei deren Neigungswinkel gegenüber der Horizontalen einen Wert derart aufweist, dass der Betriebsdruck des Wärme speichernden Schüttguts (4) kleiner ist als die Betriebsdruckfestigkeit der Seitenwand (21,32,36,41,51,70,80).
6. Wärmespeicher nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei dieser im Untergrund (24) versenkt ist und das Material des Untergrunds (23) wenigstens teilweise das stützende Schüttgut bildet.
7. Wärmespeicher nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei dieser teilweise im Untergrund versenkt ist und der Untergrund selbst wenigstens teilweise das stützende Schüttgut (33) für den versenkt angeordneten Bereich der Sei-

tenwand (32) bildet, und wobei der den Untergrund überragende Bereich der Seitenwand durch ein aufgeschüttetes stützendes Schüttgut (31) abgestützt ist.

8. Wärmespeicher nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei dieser auf oder über dem Untergrund angeordnet ist und das stützende Schüttgut (42) um die Seitenwand (43) herum angehäuft ist.
9. Wärmespeicher nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei das stützende Schüttgut (42) durch eine äussere Endwand (43) umgeben ist.
10. Wärmespeicher nach Anspruch 1, wobei die Seitenwand (51) aus einem aus einem nicht-metallischen Material besteht und vorzugsweise metallische Verstärkungselemente aufweist.
11. Wärmespeicher nach Anspruch 8, wobei die Seitenwand (51) aus vorzugsweise vorgefertigten Segmenten (50) besteht, die randseitig ineinandergreifen.
12. Wärmespeicher nach Anspruch 10 oder 11, wobei die Seitenwand (51) aus Beton besteht.
13. Wärmespeicher nach Anspruch 12, wobei die Seitenwand (51) aus verdichtetem Leichtbeton oder Luftbeton besteht.
14. Betonsegment für die Seitenwand eines Wärmespeichers nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass es als langgestreckte, flache Platte (50) ausgebildet ist, deren beide gerade verlaufende Längsränder (53,54) als Stufe ausgebildet sind, die mit der Stufe eines benachbarten Betonsegments (50) zum Eingriff gebracht werden kann, wobei die Breite des Betonsegments am unteren Ende (62) kleiner ist als am oberen Ende (63) und die untere Breite (62), die obere Breite (63) sowie das Verhältnis der Breiten (62,63) derart vorbestimmt ist, dass eine Anzahl der Betonsegmente (50) mit im Eingriff stehenden Längsrändern (53,54) zu einem geschlossenen Mantel eines Kegelstumpfs zusammengefügt werden können.
15. Betonsegment nach Anspruch 14, wobei dessen Körper über seine Länge in Richtung der Breite gekrümmt ist, wobei der Krümmungsradius vom breiteren Ende (63) her gegen das schmalere Ende (62) kleiner wird und derart ausgebildet ist, dass er dem Krümmungsradius des Kegelstumpfs im Wesentlichen entspricht.
16. Betonsegment nach Anspruch 14 oder 15, wobei der Neigungswinkel des Mantels des Kegelstumpfs gegenüber der Horizontalen zwischen 50 bis 85 Grad, vorzugsweise zwischen 60 bis 80 Grad, besonders bevorzugt 70 Grad beträgt.
17. Betonsegment nach Anspruch 14, wobei die Seitenwand (51) aus Beton, vorzugsweise Leichtbeton oder Luftbeton besteht.
18. Betonsegment nach Anspruch 17, wobei der Beton verdichtet ist.
19. Wärmespeicher mit einem Behälter für Wärme speicherndes Schüttgut (4), der eine das Schüttgut (4) umschliessende Seitenwand (5) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens Segmente der Seitenwand (21,32,36,41,51,70,80) in einem Neigungswinkel gegenüber der Horizontalen geneigt sind, derart, dass sich der Behälter (22,30,35,40) gegen oben erweitert.
20. Wärmespeicher nach Anspruch 1, wobei der Neigungswinkel zwischen 50 bis 85 Grad, vorzugsweise zwischen 60 bis 80 Grad, besonders bevorzugt 70 Grad beträgt.
21. Wärmespeicher nach Anspruch 3, wobei das Wärme speichernde Schüttgut (4) im Betrieb einen passiven Druck aufweist, der höher ist als die Betriebsdruckfestigkeit der Seitenwand (21,32,36,41,51,70, 80) und wobei deren Neigungswinkel gegenüber der Horizontalen einen Wert derart aufweist, dass der Betriebsdruck des Wärme speichernden Schüttguts (4) kleiner ist als die Betriebsdruckfestigkeit der Seitenwand (21,32,36,41,51,70,80).
22. Wärmespeicher nach Anspruch 1, wobei die Seitenwand (51) aus einem aus einem nicht-metallischen Material besteht und vorzugsweise metallische Verstärkungselemente aufweist.
23. Wärmespeicher nach Anspruch 8, wobei die Seitenwand (51) aus vorzugsweise vorgefertigten Segmenten (50) besteht, die randseitig ineinandergreifen, wobei die Segmente (50) besonders bevorzugt aus Beton bestehen.

