



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

Int. Cl.³: C 09 K

5/00

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978



PATENTSCHRIFT A5

11

629 248

21 Gesuchsnummer: 16149/77

22 Anmeldungsdatum: 28.12.1977

30 Priorität(en): 29.12.1976 SE 7614653

24 Patent erteilt: 15.04.1982

45 Patentschrift
veröffentlicht: 15.04.1982

73 Inhaber:
Ernst-Ake Brunberg, Djursholm (SE)
Ray Olsson, Farsta (SE)

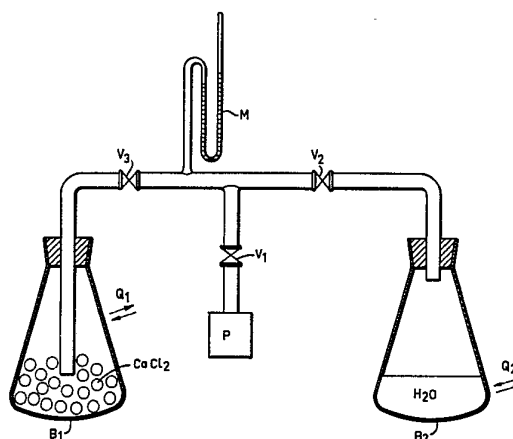
72 Erfinder:
Ernst-Ake Brunberg, Djursholm (SE)
Ray Olsson, Farsta (SE)

74 Vertreter:
E. Blum & Co., Zürich

54 Verfahren zum Speichern und Entnehmen von Wärmeenergie sowie Anlage zur Durchführung dieses Verfahrens.

57 Wärmeenergie wird in einer Zweikammer-Anlage gespeichert und diese wird sie wieder entnommen. Die erste Kammer (B_1) enthält eine Substanz, die bei der Speicherung von Energie Wasser abgibt und bei der Entnahme von Energie Wasser chemisch bindet. Die zweite Kammer (B_2), die mit der ersten Kammer in Verbindung steht, enthält Wasser. Die genannte Substanz ist eine Substanz, die in kristallwasserfreiem Zustand und in allen bei dieser Substanz möglichen Hydratisierungsstufen auch nach wiederholten Energiespeicherungen und -entnahmen bei den bei der Energiespeicherung angewandten Temperaturen in kristallinem Zustand in gasdurchlässiger Form verbleibt. Als eine solche Substanz kann man CaCl_2 benutzen. Die Zweikammer-Anlage enthält ferner eine Vakuumpumpe (P) sowie erforderliche Ventile (V_1, V_2, V_3).

Eine solche Anlage ist einfach und ausserdem ist sie auf Änderungen der Umgebungstemperatur der Kammern weitgehend unempfindlich.



PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Speicherung von Wärmeenergie in einem Zweikammer-System und zur Entnahme von Wärmeenergie aus dem Zweikammer-System, dessen erste Kammer eine Substanz enthält, die bei der Speicherung von Energie Wasser abgibt und bei der Entnahme von Energie Wasser chemisch bindet, und dessen zweite Kammer, die mit der ersten Kammer in Verbindung steht, Wasser enthält, dadurch gekennzeichnet, dass man als die genannte Substanz eine Substanz, die in kristallwasserfreiem Zustand und in allen bei dieser Substanz möglichen Hydratisierungsstufen auch nach wiederholten Energiespeicherungen und -entnahmen bei den bei der Energiespeicherung angewandten Temperaturen in kristallinem Zustand in gasdurchlässiger Form verbleibt, verwendet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass man als Energie speichernde Substanz Na_2S verwendet.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Druck im System im wesentlichen von dem Druck des Wasserdampfes dargestellt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 und 3, dadurch gekennzeichnet, dass zur Energiespeicherung Wärme von einem Sonnenkollektor (22) der Substanz (23a) zugeführt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur in der zweiten Kammer (25, 23, 31-33; 50) im wesentlichen konstant gehalten wird, wobei die zweite Kammer mittels eines Wärmeübertragungsfluids an eine Zone mit im wesentlichen konstanter Temperatur gekuppelt ist, welches Übertragungsfluid durch die Zone und die zweite Kammer im Umlauf gehalten wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens zwei mehr oder weniger geladenen Akkumulator-Systemen mit jeweils einer eigenen, im Bezug auf ihre zugehörige erste Kammer (21) niedrig temperierten zweiten Kammer bei der Entladung in Reihe miteinander gekuppelt werden, wobei Wärmeenergie von der zweiten Kammer des ersten Systems, die eine niedrige Temperatur hat, mittels der Substanz in der ersten Kammer des ersten Systems an die zweite Kammer des zweiten Systems gepumpt wird, welche zweite Kammer auf einem höheren Temperaturniveau gehalten wird als die des ersten Systems, und dass diese Verfahrensschritte entsprechend der Anzahl der Akkumulatoren fortgesetzt werden.

7. Energiespeicheranlage zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, mit einem Zweikammer-System, dessen erste Kammer eine Substanz enthält, die bei der Speicherung von Energie Wasser abgibt und bei der Entnahme von Energie Wasser chemisch bindet, und dessen andere Kammer, die mit der ersten Kammer in Verbindung steht, Wasser enthält, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Kammer (21) eine Substanz, die in kristallwasserfreiem Zustand und in allen bei dieser Substanz möglichen Hydratisierungsstufen auch nach wiederholten Energiespeicherungen und -entnahmen bei den bei der Energiespeicherung angewandten Temperaturen in kristallinem Zustand in gasdurchlässiger Form verbleibt, als Energiespeicherungssubstanz enthält.

8. Speicheranlage nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Energie speichernde Substanz Na_2S ist.

9. Speicheranlage nach Anspruch 7 oder 8, gekennzeichnet durch einen zur ersten Kammer gekuppelten Sonnenenergiekollektor (22), der zur Zuführung von Wärme zu der Substanz (23a) angeordnet ist und der vorzugsweise in einem Kreislauf für ein insbesondere flüssiges Wärmeübertragungsfluid eingeschaltet ist, der eine Wärmeübertragungswindung (28) umfasst, die in der Substanz (23a) eingebettet ist.

10. Speicheranlage nach Anspruch 7 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Vakuumpumpe (24) umfasst, die mit der ersten (21) und/oder der zweiten (23; 50) Kammer

mit Hilfe von Leitungen (34; 51, 32), die mit einem Absperrventil (V_1 ; 52-54) versehen ist, verbindbar ist.

11. Speicheranlage nach Anspruch 7 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass eine Einrichtung (55) zur Verteilung des Wasserdampfes auf verschiedene Bereiche der in der ersten Kammer enthaltenen Substanz (23a) bei der Entnahme von Energie vorgesehen ist.

12. Speicheranlage nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Kammer (50) mit Mitteln (57, 58) zum Entfernen von Kondensat bei der Speicherung von Energie sowie auch mit Mitteln (56, 61) zur Zufuhr von Wasser zu der zweiten Kammer (50) bei der Entnahme von Energie versehen ist.

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Speichern von Wärmeenergie in einem Zweikammer-System und zur Entnahme von Wärmeenergie aus dem Zweikammer-System, dessen erste Kammer eine Substanz enthält, die bei der Speicherung von Energie Wasser abgibt und bei der Entnahme von Energie Wasser chemisch bindet, und dessen zweite Kammer, die mit der ersten Kammer in Verbindung steht, Wasser enthält, sowie eine Anlage zur Durchführung dieses Verfahrens.

Wegen dem zunehmenden Verbrauch an Energie und wegen der offensichtlichen Abnahme von hochwertigen Energiequellen, welche derzeit noch zur Verfügung stehen, sind viele Arbeiten dem Ziel gewidmet, Methoden und Systeme zur Speicherung von Energie zu entwickeln, um so die Energieausnutzung zu verbessern.

Eine Anzahl solcher Arbeiten wird in einem Dokument «Some Physical Chemical Aspects of Heat Storage» von Martin Goldstein diskutiert, wobei dieses Dokument in «Proceedings of the United Nations Conference on New Sources of Energy», «Solar Energy, Wind Power and Geothermal Energy», Rom 21-31 August 1961, Band 5, Solar Energy: II (United Nations, New York, 1964) erschienen ist. Im Abschnitt «Heats of Vaporization» (Seiten 413-416) beschreibt Goldstein ein System, welches zwei Kammern aufweist, eine sogenannte «heisse Kammer» und eine sogenannte «kalte Kammer», welche eine verdampfende Flüssigkeit oder Substanz aufweisen, welche einen niedrigeren Dampfdruck bei gegebener Temperatur in der «heissen Kammer» als in der «kalten Kammer» aufweist. Die zu verdampfende Substanz kann entweder als Komponente einer Lösung, wobei weitere Komponenten der Lösung verhältnismässig schwer flüchtig sind, oder sie kann mit einer anderen festen Substanz in einer chemisch gebundenen Form vorliegen, wie z.B. als ein Hydrat für diese Substanz höher liegt als in der «heissen Kammer» z.B. Wasser bzw. Ammoniak ist. Die «kalte Kammer» kann die verdampfende Substanz direkt kondensieren, sie kann sie z.B. als ein Hydrat niedriger Bindungsenergie absorbieren, oder sie kann sie in einer Lösung absorbieren, deren Dampfdruck für diese Substanz höher liegt als in der «heissen Kammer». Eine Wärmezufuhr zur Speicherkammer bewirkt, dass die verdampfende Substanz in die «kalte Kammer» übertragen wird, wo sie kondensiert und Wärme an die Umgebung abgibt. Sinkt der Dampfdruck in der «heissen Kammer» infolge Temperatursenkung unter den Dampfdruck in der «kalten Kammer», destilliert die Substanz wieder zurück in die «heisse Kammer», dabei kommt es zwischen der Substanz und der Lösung bzw. der anderen festen Substanz zu einer exothermen Reaktion, welche Wärmeenergie an die Umgebung der «heissen Kammer» abgibt.

Soweit bekannt, sind die vorgeschlagenen Systeme von Goldstein noch nicht genügend ausgereift, um in der Praxis Anwendung zu finden. Dies besonders deswegen, weil Goldstein Systeme zur Ausführung seiner Methode angibt, welche

sehr kompliziert sind und welche auf Änderungen der Umgebungstemperatur der Kammern sehr empfindlich reagieren. Goldstein's Vorschläge gingen auch nicht so weit, das System bei einem niedrigeren Druck als dem atmosphärischen Druck zu halten, was von grosser Bedeutung ist, wenn die verdampfende und die kondensierende Substanz oder Flüssigkeit Wasser ist. Schliesslich ist es Goldstein nicht gelungen, eine ausreichend perfekte Substanz für diese Zwecke anzugeben.

Ein System, welches im wesentlichen auf denselben thermochemischen Prinzipien beruht, welches aber nicht die Speicherung von Energie beinhaltet, sondern die Heizung und Kühlung, ist im U.S. Patent 3 642 059 offenbart.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein verwendbares und verbessertes Verfahren zur Speicherung und Entnahme von Energie sowie eine einfache, nicht aufwendige und zuverlässige Energiespeicheranlage zur Ausführung dieses Verfahrens bereitzustellen.

Gemäss der Erfindung wird die ihr zugrundeliegende Aufgabe durch die in den Patentansprüchen 1 und 7 enthaltenen Merkmale gelöst.

Nachstehend werden Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung anhand der beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 ein Prinzipschema einer Vorrichtung zur Speicherung und zur Entnahme von Energie,

Fig. 2 p-T-Gleichgewichtskurven für hydratisiertes CaCl_2 und Wasser,

Fig. 3 ein Blockschema einer Energiespeicheranlage, welche für die Beheizung eines Hauses oder Erwärmung von Wasser geeignet ist,

Fig. 4 eine vereinfachte Ausführungsform der Anlage nach Fig. 3,

Fig. 5 eine weitere Ausführungsform, welche sich an den Aufbau, wie in Fig. 1 gezeigt, anlehnt,

Fig. 6 eine Weiterbildung der Ausführungsform nach Fig. 5 und

Fig. 7 und 8 die schematischen Darstellungen von drei Energiespeichereinheiten, die in Serie geschaltet sind.

Das Verfahren zum Speichern und zur Entnahme von Wärmeenergie, welches auf dem thermochemischen Prozess beruht, wird nachstehend unter Bezug auf Fig. 1 der Zeichnung näher erläutert. Dabei verläuft dieser Prozess bei einem Druck der dem Partialdruck des Dampfes zur entsprechenden Temperatur in diesem System entspricht.

In Fig. 1 bezeichnen B_1 und B_2 zwei Behälter, welche untereinander vakuumdicht verbunden sind, und welche an eine Vakuumpumpe P angeschlossen sind, welche fähig ist, die Behälteranordnung auf einem Druck von ca. 0,5 torr zu halten. V_1 , V_2 und V_3 sind Ventile, und M ist ein Quecksilbermanometer. Zur näheren Erläuterung sei der Behälter B_1 mit CaCl_2 und der Behälter B_2 mit H_2O gefüllt. B_1 und B_2 sind aus Metall, um die Zuführung und die Entfernung von Wärmeenergie zu erleichtern (in Fig. 1 bezeichnet mit Q_1 und Q_2).

Zunächst wird aus dem System alle Luft entfernt, und zwar mit Hilfe der Pumpe P, wobei die Ventile V_1 und V_2 dabei offen sind. Der Druck, welcher vom Manometer M angezeigt wird, ist im wesentlichen der Druck des Wasserdampfes bei der Temperatur, welche im gesamten System herrscht (z.B. 18 torr bei $+20^\circ\text{C}$). Danach wird das Ventil V_2 geschlossen und das Ventil V_3 wird geöffnet. Nach einigem Pumpen zeigt das Manometer M einen Druck, welcher kleiner als 1 torr ist. Danach wird das Ventil V_1 geschlossen und das Verfahren zur Energiegewinnung aus dem Behälter B_1 beginnt, sobald V_3 und V_2 offen sind.

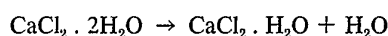
Das Verfahren zur Entnahme von Energie ist in Fig. 2 dargestellt, welche die p-T-Gleichgewichtskurve von Wasserdampf über einer Wasseroberfläche (Kurve A) und die ent-

sprechenden Gleichgewichtskurven für hydratisiertes CaCl_2 zeigt. Im Bereich links von den Gleichgewichtskurven der Hydrate wird Kristallwasser aufgenommen, und im Bereich rechts von der besprochenen Kurve wird Kristallwasser abgegeben. Das Diagramm in Fig. 2 zeigt, dass der Partialdruck des Wasserdampfes immer oberhalb aller CaCl_2 -Hydrate (H_2O , $2\text{H}_2\text{O}$, $4\text{H}_2\text{O}$ und $6\text{H}_2\text{O}$) bei allen Temperaturen kleiner ist als der Partialdruck des Wasserdampfes über einer Wasseroberfläche. Wenn die Behälter B_1 und B_2 miteinander verbunden sind, verursacht der Druckunterschied zwischen ihnen, dass der Wasserdampf vom Behälter B_2 zum Behälter B_1 fliesst, wo er durch CaCl_2 aufgenommen wird, und als Kristallwasser ein- bzw. angelagert, wonach nacheinander verschiedene Phasen von CaCl_2 -Hydrate entstehen, wobei durch die exotherme Reaktion Wärme frei wird. Dies hat zur Folge, dass bei einem thermisch isolierten Behälter B_1 die Temperatur ansteigt. Falls z.B. die Temperatur im Behälter B_2 auf $t_2 = 20^\circ\text{C}$ konstant gehalten ist, indem Wärme (Q_2) dem Behälter B_2 von aussen zugeführt wird (um die zur Bildung von Dampf erforderliche Energie zu liefern), ist der Partialdruck $P_2 = 18$ torr im Behälter B_2 . Falls die Anfangstemperatur im Behälter B_1 $t_1 = 30^\circ\text{C}$ oder weniger ist, ist der Druckunterschied zwischen den Behältern B_2 und B_1 am Anfang des Reaktionsprozesses etwa 17 torr (vergleiche Fig. 2). Mit der fortschreitenden Aufnahme von Wassermolekülen in CaCl_2 , erfolgen Übergänge zu verschiedenen Phasen des Hydrates, und zwar mit gleichzeitiger Zunahme der Temperatur im Behälter B_1 . Dabei nimmt die Druckdifferenz zwischen den Behältern B_1 und B_2 stetig ab. Die freigesetzte Energie (Q_1) kann nun aus dem Behälter B_1 abgeführt werden. Im thermodynamischen Gleichgewicht wird gerade so viel Wasserdampf pro Zeiteinheit in den Behälter B_1 zugeführt, die einer entsprechenden freigesetzten Wärmemenge entspricht. Dieser Reaktionsprozess geht so lange vor sich bis alles CaCl_2 in $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ umgewandelt ist. Als dann wird Wasser weiterhin in Überschuss aufgenommen, bis der Partialdruck des Wasserdampfes über der Lösung den Sättigungsdruck zu entsprechenden Temperatur des Behälters B_2 erreicht. Der Dampfdruck im System sollte im wesentlichen durch Wasserdampf bestimmt werden. Falls andere Gase anwesend wären, z.B. in Form von Luft, würden sie den Wasserdampf austausch zwischen den Behältern B_2 und B_1 erschweren. Die Anwesenheit anderer Gase würde die Austauschgeschwindigkeit des thermochemischen Prozesses vermindern.

Dieser Prozess zur Wärmeerzeugung kann mit der Energiegewinnung bei einer Wärmepumpe verglichen werden. Er verläuft aber im Gegensatz zur Wärmepumpe ohne jegliche mechanische Energie ab.

Die Regenerierung oder Trocknung von CaCl_2 im Behälter B_2 erfolgt bei einer Energiespeicherung. Die Wärmeenergie (Q_1) wird dem Behälter B_1 zugeführt, welcher eine Temperatur von z.B. $+100^\circ\text{C}$ aufweist, während der Behälter B_2 bei einer niedrigen Temperatur gehalten wird, z.B. $+5^\circ\text{C}$ bis $+10^\circ\text{C}$. Die Lösung von $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ weist einen hohen Dampfdruck auf, so dass die Lösung kocht, während Wasserdampf freigesetzt und im Behälter B_2 auskondensiert wird.

Die Trocknung von Salzen, wie CaCl_2 , lässt sich in der Praxis nicht leicht ausführen. Der Trocknungsprozess geht beim Gleichgewichtsübergang sehr langsam vor sich, so z.B.



Der Grund dafür ist, dass $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ nadelförmige Kristalle im flüssigen $\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ bildet, wobei das Abdampfen schrittweise schwieriger wird.

Ein geschlossenes System erlaubt Salze zu verwenden, welche bei ihrer Siedetemperatur unter atmosphärischem Druck instabil sind, welche aber bei einer niedrigen Temperatur und niedrigem Druck getrocknet werden können. Mit

Vorteil kann z.B. Na_2S verwendet werden. $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ war mit gutem Resultat gemäss der Niederdruckmethode bei $+100^\circ\text{C}$ getrocknet worden. Na_2S und seine Hydrate behalten ihre Kristallform während des ganzen thermochemischen Prozesses bei.

Der vorstehend beschriebene Prozess zur Energieentnahme und Energiespeicherung ist in der Praxis ausprobiert worden. Der hierzu verwendete Apparat entsprach im wesentlichen dem vorstehend beschriebenen. Während der Energieentnahme wird die freigesetzte Energie im Behälter B_1 kalorimetrisch gemessen. Der Behälter B_1 wurde in einer Thermosflasche mit Wasser eingebettet und es wurde die Zunahme der Temperatur dieses Wassers gemessen. Die dabei ermittelte Energie verglich man mit der theoretisch möglichen Zunahme.

Vorstehend wurde vorausgesetzt, dass der thermochemische Prozess in einem geschlossenen System abläuft. Dies ist allerdings nicht absolut notwendig. Beim Trocknungsprozess kann es praktisch sein, die Wassermenge (einige m^3), die im Behälter B_2 kondensiert, schrittweise zu entfernen. Während der Entnahme von Energie aus dem Behälter B_1 wird es dann notwendig sein, Wasser in flüssiger Form von aussen einzuspeisen. Die Entfernung und die Zuführung von Wasser wird derart durchgeführt, dass keine fremden Gase in das System eindringen können, falls es dennoch geschieht, sie mit Hilfe der Vakuumpumpe P schnell aus dem System entfernt werden können.

Die Energiespeichersubstanz Na_2S liefert theoretisch eine freisetzbare Wärmeenergie von 6800 kJ/kg Salz, falls alle Phasenübergänge von Null bis zu $9\text{H}_2\text{O}$ ausgenützt werden. $\text{Na}_2\text{S} + 4,5 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{S} \cdot 4,5 \text{ H}_2\text{O}$ liefert ungefähr die Hälfte dieser Menge an freier Energie.

Na_2Se , LiCl , AlCl_3 , Na_2SO_4 , NaOH und KOH sind theoretische Beispiele anderer Salze, welche gemäss der vorliegenden Erfindung verwendet werden können. In der Praxis ist Na_2S von grösster Bedeutung für die technischen Systeme.

Ein weiterer Vorteil der Niederdruckmethode ist, dass ein System dieser Art ohne äussere Einwirkung von Energieaufnahme (Ladung) auf Energieentnahme (Entladung) automatisch umschaltet, wenn es den jeweiligen Gleichgewichtszustand erreicht hat. So liegt z.B. der Gleichgewichtspunkt für $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ bei der Aufnahme und Freisetzung von Energie bei $t_1 = +65^\circ\text{C}$, falls $t_2 = +5^\circ\text{C}$ (siehe Fig. 2). Das vorliegende System arbeitet wie folgt: Falls die Temperatur t_1 im Behälter B_1 höher als $+65^\circ\text{C}$ ist, wird Energie im Hydrat gespeichert, und zwar dadurch, dass Wasserdampf zum Behälter B_2 übertragen wird. Falls der Behälter B_1 gekühlt wird, d.h. t_1 ist kleiner als $+65^\circ\text{C}$ (und Wärmeenergie wird verbraucht), wird Wasserdampf von B_2 zu B_1 übertragen.

Infolgedessen wird Energie im Behälter B_1 immer dann automatisch gespeichert, wenn sie verfügbar ist. Die Entnahme von Energie aus dem Behälter B_1 erfolgt aber immer durch äussere Einwirkung auf den Behälter B_2 . Das beschriebene Verfahren kann z.B. beim Heizen eines Hauses, beim Warmwasseraufbereiten usw. angewendet werden. Im folgenden wird am Beispiel einer Energiespeicheranlage das erfindungsgemässe Verfahren beschrieben.

Die Energiespeichervorrichtung, wie sie Fig. 3 zeigt, enthält die folgenden Hauptkomponenten:

Speicher 21 mit einem Salz 23a (vorteilhaft Na_2S) und eine Rohranlage 28 in Form eines Wärmetauschers. Die Energiespeisung im Speicher 21 erfolgt durch einen Sonnenkollektor 22. Diese kann jedoch auch beispielsweise durch ein elektrisches Heizelement im Speicher 21 erfolgen.

Sonnenkollektor 22 zur Umwandlung der einfallenden Strahlungsenergie 30 in Wärmeenergie, welche zur Energiespeicherung dem Speicher 21 zugeführt wird. Das Wärmetauschermedium ist eine Flüssigkeit, vorteilhafterweise kein

Wasser, besonders wenn die Flüssigkeit durch die Rohranlage 28 des Speichers 21 hindurchfliessen soll. Ein Leck in der Rohranlage würde eine schnelle exothermische Reaktion nach sich ziehen. Der Druck im Speicher 21 würde unkontrolliert anwachsen, falls ein an Energie reiches Salz verwendet wird. Das Bezugszeichen 22 kann auch einen Wärmetauscher bezeichnen, welcher in einem Rauchgasabzug oder dergleichen angeordnet ist.

Wassertank 23, welcher mit einem System zur Einspeisung von Wärmeenergie Q_1 versehen ist, welche für die Wasserverdampfung bei der Entladung des Speichers 21 erforderlich ist. Der Tank 23 kann mehr oder weniger tief in einem See eingetaucht werden oder er kann im Boden bis zu einer Tiefe eingegraben sein, wo er dem Frost nicht ausgesetzt ist, und er kann mit einem Wärmetauscher 29b verbunden sein, um Wärmeenergie der Luft, dem Boden oder dem Seewasser zu entnehmen. Im vorliegenden Beispiel wird angenommen, dass Wärmeenergie aus dem Boden mit Hilfe einer Bodenspirale 29 gewonnen wird.

Vakuumpumpe 24, welche zur Begrenzung des Druckes unterhalb von 0,5 torr bestimmt ist. Die Pumpe ist verbunden mit dem Speicher 21 über eine Leitung 34 mit einem Ventil V_1 und einem Kondensator 25.

Kondensator 25 nützt die Wärmeenergie aus, welche den Wasserdampf aufweist, der dem Salz 23a im Speicher 21 entzogen wird.

Ein druckempfindliches Glied oder Manometer 26, welches die Vakuumpumpe 24 elektronisch betätigt und welches das Ventil V_1 dann öffnet, wenn der Partialdruck unerwünschter Gase einen vorgegebenen Wert, d.h. einige torr, überschreitet.

Radiatoren 27a zur Beheizung eines Hauses, und Wärmetauscher 27b zur Erwärmung von Wasser. Sie nützen die Wärmeenergie Q_1 aus, welche dem Speicher 21 entnommen wird.

Um den Nutzungsgrad der Anlage wesentlich zu verbessern, wird vorteilhaft eine Wärmepumpe 20 vorgesehen, welche sich während des Ladens und Entladens des Speichers in Betrieb befindet.

In der schematischen Darstellung in Fig. 3 sind auch Leitungen für Wasserdampf 31, 32 dargestellt, mittels welcher der Speicher 21 an den Wassertank 23 und den Kondensator 25 angeschlossen ist. Durch die Leitung 33 wird das Kondensat aus dem Kondensator 25 in den Wassertank 23 zurückgeführt, so dass ein geschlossener Kreis 47 entsteht. Die Leitung 31 endet mit einem perforierten Rohr 55 im Speicher 21, mit dessen Hilfe der Speichersubstanz 23a Wasserdampf zugeführt wird.

Ein zweiter Kreis 48 ist durch den Sonnenkollektor 22, eine Windung 35 in der Wärmepumpe 20, eine Windung 28 im Speicher 21, die Radiatoren 27a und die Leitungen 37-41 gebildet, welche die genannten Komponenten untereinander verbinden. Von den zuletzt erwähnten Leitungen enthält eine eine Umwälzpumpe 42. Mit 50 wird ein Parallelleiter zu den Radiatoren 27a bezeichnet, und $V_4, \dots, V_{10}$ sind Ventile.

Die Energiespeicheranlage gemäss Fig. 3 enthält ferner einen Kreis 49, in welchem der Kondensator 25 und die Wärmepumpe 20 eingeschaltet sind. Dieser Kreis enthält Rohrwindungen 43 und 44, welche im Kondensator 25 bzw. in der Wärmepumpe 20 angeordnet sind, wobei diese Windungen durch Leitungen 45, 46 verbunden sind. Der Kreis 49 befindet sich im Betriebszustand, falls die Ventile V_2 und V_3 sich in der Lage A befinden.

Falls sich die Ventile V_2, V_3, V_6 in der Lage U_L befinden, ist die Rohranlage 28 an die Rohrwindung 44 der Wärmepumpe 20 angeschlossen, und zwar via Speiseleitung 45a und Entladeleitung 39a und eine Abzweigleitung 46a.

Es sind drei Muster für den Umlauf vorgesehen:

Speicherung, welche durch A in den Lagen der Ventile bezeichnet ist.

Entladung bei einer niedrigen Temperatur des Salzes, welche durch U_L in den Lagen der Ventile bezeichnet ist.

Entladung bei einer hohen Temperatur des Salzes, welche mit U_H in den Lagen der Ventile bezeichnet ist.

Die Ventillagen von V_8 sind mit A bezeichnet (Speisung) und U_{HL} (Entladung sowohl bei hohen als auch bei tiefen Temperaturen).

Bei der Ladung des Speichers 21 wird Wärmeenergie aus dem Kondensator 25 über die Rohrwindung 43 entnommen. Alle Ventile befinden sich in der Lage A (Speisung).

Bei der Entladung des Speichers 21 bei einer niedrigen Temperatur — falls eine höhere Temperatur für die Radiatoren 27a und Wassererhitzer 27b verlangt wird im Vergleich mit der Temperatur, welche im Medium erreichbar ist, das aus dem Speicher fließt — ist die Wärmepumpe 20 zwischen den Speicher 21 und den wärmeverbrauchenden Einheiten geschaltet, zwischen den Radiatoren 27a und Wassererhitzer 27b, und zwar über synchronbetätigte Ventile V_4 und V_5 , welche auch mit den Ventilen V_2 und V_3 synchron betätigt werden. Alle Ventile befinden sich in der Lage U_L (Entladung bei einer niedrigen Temperatur).

Bei der Entladung des Speichers 21 bei einer hohen Temperatur — falls eine ausreichend hohe Temperatur der Substanz im Speicher erreicht worden ist — werden die Ventile V_8 und V_9 in die Lage U_H (Entladung bei einer hohen Temperatur) verstellt.

Fig. 4 zeigt eine Vereinfachung des Systems nach Fig. 3 ohne die Wärmepumpe 20 und bedarf keiner näheren Beschreibung.

Das System nach Fig. 4 arbeitet wie folgt:

Bei der Ladung (Regenerierung) der Speichersubstanz im Speicher 21 wird die heiße Flüssigkeit aus dem Sonnenkollektor 22 durch einen Kreis hindurchgeleitet, welcher die Leitungen 37 und 45a, die Rohranlage 28, die Leitungen 39a und 39, wärmeverbrauchende Einheiten 27a und 27b, Umwälzpumpe 42 und die Leitung 41 enthält. Dampf, welcher durch Wärmezufuhr über die Rohranlage 28 im Speicher 21 freigesetzt wird, wird durch Leitungen 32 und 31 in den Kondensator 25 bzw. in den Wassertank 23 geführt und derart kondensiert, und zwar unter dem Einfluss der Rohrwindungen 25b und 29b. Die Flüssigkeit aus dem Kondensator 25 fließt in den Wassertank 23 zurück.

Während der Entladung wird die heiße Flüssigkeit aus dem Speicher 21 in die Verbrauchereinheiten 27b und 27a durch einen Kreislauf geführt, welcher die Rohranlage 28, die Leitung 39a und 39, die Umwälzpumpe 42 und eine Leitung 45a enthält. In diesem Verfahren fördert der Speicher 21 Wärmeenergie aus dem Wassertank 23 dadurch, dass Wasser hierin verdampft und in den Speicher 21 eingespeist wird, und zwar durch die Leitungen 31, 33 und 32. Die zur Verdampfung von Wasser erforderliche Wärmeenergie wird dem Wasser zugeführt, und zwar durch die Rohranlage 29b aus einer Bodenspirale 29.

In Fig. 5, welche eine Abwandlung der Energiespeicheranlage nach Fig. 4 darstellt, sind im wesentlichen zwei Änderungen in bezug auf Fig. 4 durchgeführt worden. Die erste beruht darin, dass die Vakuumpumpe 24 an einen Abschnitt 51 der Leitung 32 zwischen dem Energiespeicher 21 und dem Behälter des Kondensators 25 angeschlossen ist. Die Ventile 54, 53 und 52 in Fig. 5 entsprechend dem Ventil V_1 in den Fig. 1, 3 und 4 und den Ventilen V_3 und V_2 in Fig. 1. Die zweite Änderung beruht im wesentlichen darin, dass der Wassertank 23 und die Leitung 33 und der Kondensator 25 in einem einzigen Behälter 50 vereinigt sind. Zusätzlich ist hier dargestellt ein perforiertes Rohr 55, welches in den Speicher 21 hineinragt.

Das System nach Fig. 5 arbeitet im wesentlichen in derselben Weise, wie dies im Zusammenhang mit Fig. 4 erläutert worden ist, abgesehen von der Tatsache, dass es in dem System nach Fig. 5 möglich ist, entweder den Behälter 50 oder den Speicher 21 getrennt oder die beiden zusammen mit Hilfe der Vakuumpumpe zu evakuieren.

Die Kreisläufe zur Einspeisung von Wärmeenergie aus dem Sonnenkollektor in den Speicher beim Laden der Speichersubstanz und aus dem Speicher zu den Verbrauchereinheiten beim Entladen der Speichersubstanz, sind dieselben, wie sie durch die Fig. 4 bereits beschrieben worden ist.

Während der Ladung wird der freigesetzte Dampf aus dem Speicher 21 durch das Rohr 55, die Leitung 32, das Ventil 53, die Leitung 51 und das Ventil 52 zum Behälter 50 geführt, welcher wie ein Kondensator wirksam ist. Die freigesetzte Wärmeenergie wird im Behälter 50 durch die Rohranlage 29b zur Bodenspirale 29 abgeführt.

Während der Entladung wird Wasser im Behälter 50 verdampft und durch das Ventil 52, die Leitung 51, das Ventil 53, die Leitung 32 und das Rohr 55 zum Speicher 21 geführt. Die zur Verdampfung erforderliche Wärmeenergie wird der Bodenspirale 29 durch die Rohranlage 29b entnommen. Die Vakuumpumpe 24 sowie die Ventile 54, 52 und 53 werden durch eine auf Druck ansprechende Vorrichtung 26 gesteuert.

Die Energiespeicheranlage nach Fig. 6 stimmt mit der Darstellung von Fig. 5 überein, mit der Ausnahme, dass der Wasserbehälter 50 mit einer Einlass- und Auslassleitung 61 und 58 für Wasser versehen ist, welche ein Unterbrecherventil 56 und 57 enthalten. Ferner ist eine Leitung 60 für die Versorgung mit Luft vorgesehen, welche mit einem Unterbrecherventil 59 versehen ist, welches den Zu- und Abfluss von Wasser in bzw. aus dem Behälter 50 erleichtert.

Die Energiespeicheranlage nach Fig. 6 arbeitet in folgender Weise:

Die Ladungs- und Entladungsprozesse des Speichers 21 gleichen denjenigen, wie sie mit den Fig. 4 und 5 dargelegt worden sind. Die Dampfübertragung zwischen dem Speicher 21 und dem Behälter 50 ist im wesentlichen dieselbe wie mit Fig. 5 dargelegt worden ist, allerdings mit einem Unterschied bei der Entladung. Sobald das Wasserniveau im Behälter 50 bis zu einem bestimmten minimalen Wert gesunken ist, betätigt ein Pegelsensor (nicht dargestellt) Ventile und es wird wie folgt gepumpt:

Erstes Ventil 52 ist geschlossen, nachdem das Ventil 56 offen ist wird Wasser zum Behälter 50 aus der Wasserleitung zugeführt. Sobald der maximale Pegel erreicht wird, schließen die Ventile 56 und 53. Nachdem die Vakuumpumpe 24 die Arbeit begonnen hat und die Ventile 52 und 54 offen sind, werden fremde Gase (Luft) mit Hilfe der Vakuumpumpe 24 entfernt. Nach einer geeigneten Pumpzeit wird das Ventil 54 geschlossen, die Vakuumpumpe wird gestoppt und das Ventil 53 wird geöffnet. Das Ventil 57 wird während der Entladungsphase geschlossen gehalten.

Während der Ladung wird der Pegelsensor aktiviert, falls der Wasserpegel im Behälter 50 bis zu einem vorgegebenen maximalen Wert ansteigt. Dann wird das Ventil 52 geschlossen und die Ventile 57 und 59 werden geöffnet. Wasser wird zum Ausguss geführt, und zwar durch das Ventil 57 und die Leitung 58, dies geschieht gleichzeitig mit der Einspeisung von Luft unter atmosphärischem Druck in den Behälter 50 durch das Ventil 59 und die Leitung 60. Sobald das Wasser aus dem Behälter 50 entfernt worden ist, werden die Ventile 57, 59 und 53 geschlossen. Nachdem die Pumpe 24 zu arbeiten begann und nachdem die Ventile 54 und 52 offen sind, wird die Luft aus dem Behälter 50 während einer geeigneten Pumpzeit entfernt. Nachdem das Ventil 54 geschlossen worden ist, wird die Pumpe 24 gestoppt und das Ventil 53 wird geöffnet.

Wenn die Energiespeicheranlage gemäss den Fig. 3 bis 6 zur Beheizung eines Hauses dimensioniert werden soll, und zwar unter Anwendung des Verfahrens nach der vorliegenden Erfindung und unter Verwendung von Sonnenenergie sowie einer niedrigen Wärmeenergie aus dem Boden, aus der Luft usw., sind folgende Bedingungen zu untersuchen.

Der Jahresverbrauch bei einer Villa mit ungefähr 150 m² Wohnraum kann variieren zwischen ca. 30 000 bis 10 000 kWh (1.1.10⁵ MJ - 0,35 · 10⁵ MJ) in Abhängigkeit von der Wärmeisolation und von der mittleren Jahrestemperatur an der Stelle, wo sich die Villa befindet.

Nach den zur Verfügung stehenden Daten, erfordert diese Speicherung von reiner thermischer Energie unter den oben vorausgesetzten Bedingungen die folgenden Mengen von verschiedenen Substanzen:

776 Tonnen Stein, welcher von 20° bis zu 100°C erwärmt werden muss

332 Tonnen Eisen, welches von 20° bis zu 100°C erwärmt werden muss

108 Tonnen Wasser, welches von 20° bis zu 100°C erwärmt werden muss

224 Tonnen eines Salzhydratgemisches (schmilzt bei 13°C)

22 Tonnen Lithiumhydrid (schmilzt bei 675°C).

Die Aufnahme von Kristallisationswasser (beim H₂O wird angenommen, dass es sich im Zustand von Dampf befindet) erfordert:

12 Tonnen CaCl₂ (spezifisches Gewicht : 1) entspricht 9,2 Tonnen von MgCl₂ (spezifisches Gewicht : 0,5), entsprechend etwa 18 m³, oder etwa 6 Tonnen von Na₂S, falls alle Phasenübergänge (O → 9H₂O) ausgenützt werden, oder etwa 12 Tonnen von Na₂S falls nur der Phasenübergang O → 4,5 H₂O ausgenützt wird.

Wie aus den vorstehenden Angaben ersichtlich wird, ergeben sich bei der Anwendung des Verfahrens nach der Erfindung folgende Vorteile:

1. Eine wesentlich kleinere Masse an Speichersubstanz bei vorgegebener Energiespeicherkapazität (9mal weniger als bei der Verwendung von Wasser).

2. Erfordert bei einer Langzeitspeicherung von Wärmeenergie keine raumbeanspruchende teure Wärmeisolation.

Calciumchlorid, Magnesiumchlorid und Natriumsulfid sind ausserdem billige Substanzen.

Durch Verbindung von mehreren Energiespeichereinheiten wird es möglich, Temperaturen zu erreichen, welche höher sind als die Temperatur der Wärmequelle, beispielsweise 150°C bis 200°C. Jeder von diesen Speichern kann ein eigenes, bei einer bestimmten Temperatur arbeitendes, dämpferzeugendes und kondensierendes Gerät sein mit zugehörigem Wasserbehälter, wobei diese in Serie geschaltet sind und wobei durch diese ein immer wärmerer und wärmerer Wasserdampf von einer zur nächsten Stufe hindurchläuft. Ein Aufbau solcher Art ist in den Fig. 7 und 8 gezeigt, welche drei Speichereinheiten schematisch zeigen, welche in Serie geschaltet sind, wobei hier auch die Art und Weise der Entnahme der Wärmeenergie aus diesen und die Speicherung von Wärmeenergie in diesen gezeigt ist.

Die Speicher sind bezeichnet mit B_{S1}, B_{S2} und B_{S3}. Jede Speichereinheit enthält einen Behälter für die Speichersubstanz S₁, S₂ und S₃. Die Speicher sind an Mittel zur Kondensation und Erzeugung von Dampf, welche einen Flüssigkeitsbehälter B_{W1}, B_{W2} und B_{W3} enthalten. Die Einheiten, welche B_{W1} + B_{S1}, B_{W2} + B_{S2} und B_{W3} + B_{S3} enthalten, sind mit I, II und III bezeichnet. T₀, T₁ und T₃ stellen Wärmequellen oder Wärmesenken dar, welche die Temperaturen t₀, t₁ und t₃ aufweisen, wobei man bei diesen Temperaturen annimmt, dass sie im wesentlichen konstant sind. Es wird angenommen, dass die Temperatur t₁ höher als t₀ und tiefer als t₃ ist, welche ihrerseits kleiner als t₃ ist. Pfeile V,

welche mit vollen Linien gezeichnet sind, zeigen die Richtung des Dampfstromes und die Pfeile Q, welche mit gestrichelten Linien gezeichnet sind, zeigen den Fluss von Wärme.

Während der Entladung sind die Behälter B_{S1} und B_{S2} an B_{W2} und B_{W3} thermal angeschlossen, und zwar vorteilhaft mit Hilfe von Wärmeaustauschern. Wärmeenergie Q₀ wird von der Wärmequelle T₀ zum Flüssigkeitsbehälter B_{W1} des Akkumulators I übertragen, wo die Flüssigkeit verdampft wird. Der Dampf fliesst zum Substanzbehälter B_{S1}, und zwar infolge des Druckunterschiedes zwischen B_{W1} und B_{S1}.

Falls der Dampf aus dem Flüssigkeitsbehälter B_{W1} durch die Substanz S₁ im Behälter B_{S1} absorbiert ist, wird Wärmeenergie Q₁₂ bei einem Temperaturniveau t₁ freigesetzt, welche zum Flüssigkeitsbehälter B_{W2} übertragen wird, in welchem Flüssigkeit verdampft wird. Dampf fliesst zum Behälter B_{S2} als Folge des Druckunterschiedes zwischen B_{W2} und B_{S2}.

Falls der Dampf aus dem Behälter B_{W2} durch die Substanz S₂ absorbiert ist, wird Wärmeenergie Q₂₃ bei einem Temperaturniveau t₂ freigesetzt. Diese Energie wird zum Wasserbehälter B_{W3} übertragen, in welchem die Flüssigkeit verdampft wird. Der Dampf fliesst zum Substanzbehälter B_{W3}, und zwar infolge des Druckunterschiedes zwischen B_{W3} und B_{S3}.

Wenn Dampf aus dem Behälter B_{W3} durch die Substanz im Behälter B_{S3} absorbiert ist, wird Wärmeenergie bei dem Temperaturniveau ungefähr t₃ freigesetzt und zur Wärmesenke t₃ übertragen, d.h. dass ein Wärmeverbraucher sich auf dem Temperaturniveau t₃ befindet.

Während der Speicherung von Wärmeenergie sind die Wärmeverbindungen Q₁₂ und Q₂₃, B_{S1} - B_{W2} und B_{S2} - B_{W3} unterbrochen.

Die Speicher B_{S1}, B_{S2} und B_{S3} werden parallel mit Wärmeenergie Q₁₀ aus der Wärmequelle T₁ bei einem Temperaturniveau t₁ geladen. Dampf, welcher während des Lade- oder Speicherprozesses gebildet wird, kondensiert im Flüssigkeitsbehälter B_{W1}, B_{W2} und B_{W3}, welche an den jeweiligen Speicher B_{S1}, B_{S2} und B_{S3} angeschlossen sind, wobei die Wärmeenergie zu einer Wärmesenke auf einem Temperaturniveau t₀ abgeleitet wird. Ein Teil der Energiemenge Q₁ wird als Dehydratationsenergie im Speicher gespeichert.

Als Vorbereitung zur Entnahme von Energie wird die Temperatur t₀ auf t₁ in B_{W2} und auf t₂ in B_{W3} erhöht.

Die entsprechende Wärmeenergie bei hoher Temperatur t₃, z.B. 200°C, kann verwendet werden, um ein geeignetes Gas zu erwärmen, welches in einem Carnot'schen Zyklus die Wärmeenergie in mechanische Energie umwandelt, welche ihrerseits leicht in elektrische Energie umgewandelt werden kann. Gleich wie bei der vorstehend beschriebenen Methode kann jeder m² des Sonnenkollektors 1443 kWh/Jahr freisetzen, oder als im Mittel während des Jahres 170 W, wobei ein Sonnenkollektor mit 20 m² im Mittel 3,4 kW liefert. Nur ein Teil davon kann in elektrische Energie umgewandelt werden. Ein Wärmeverlust, z.B., wird dadurch bewirkt, dass das Salz in jeder Speicherstufe geheizt werden muss, was ein Verlust an mechanisch anwendbarer Wärmeenergie von ca. 10% pro Stufe beinhaltet. Drei Stufen vermindern den Effekt auf etwa 2,4 kW. Im genannten Carnot'schen Zyklus wird maximal 20%, d.h. 0,48 kW, in mechanische Energie umgewandelt und der elektrische Generator liefert schlussendlich 0,4 kW ununterbrochen. Während des üblichen Verbrauchs von Elektrizität werden viel grössere Mengen, der Grössenordnung von mehreren kW verbraucht, ohne Beschränkungen, welche durch das Speichersystem bewirkt werden. Die Wärmeenergie, welche dem Speicher entnommen worden ist und welche nicht in elektrische Energie umgewandelt worden ist, ist nicht verlorengegangen, weil sie zu Heizzwecken verwendet werden kann.

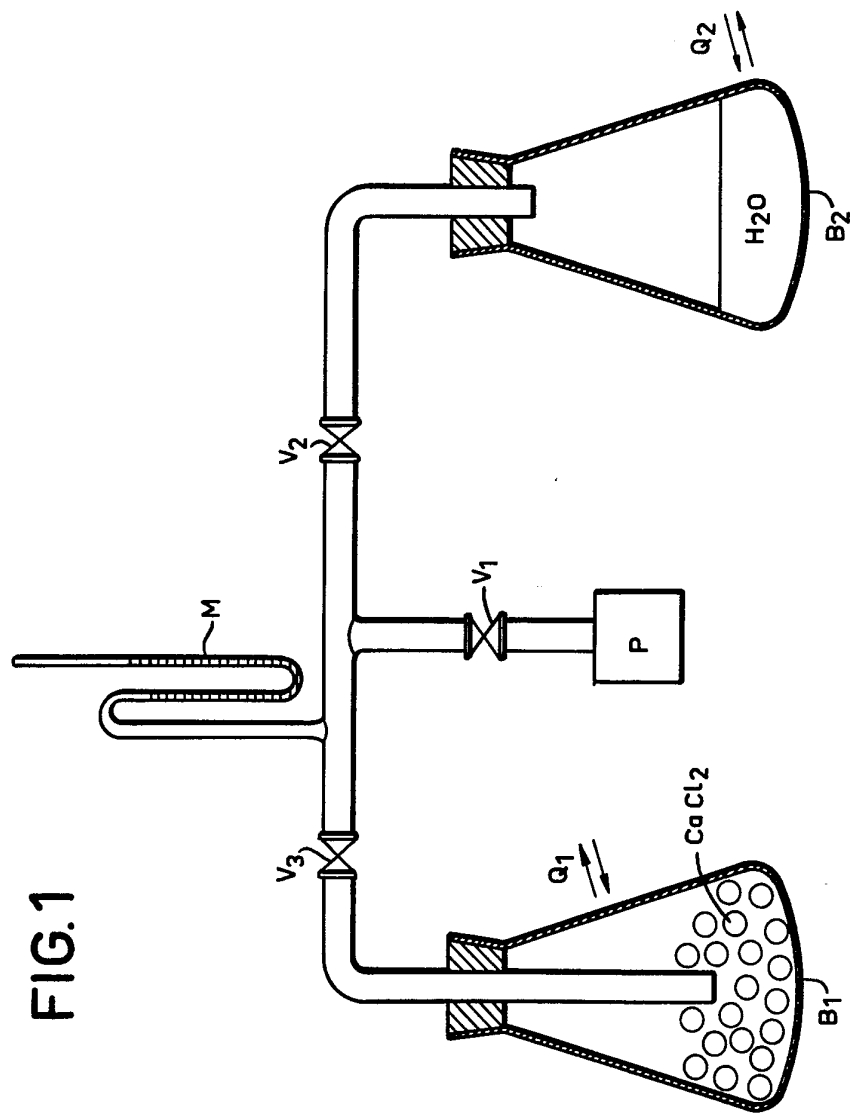
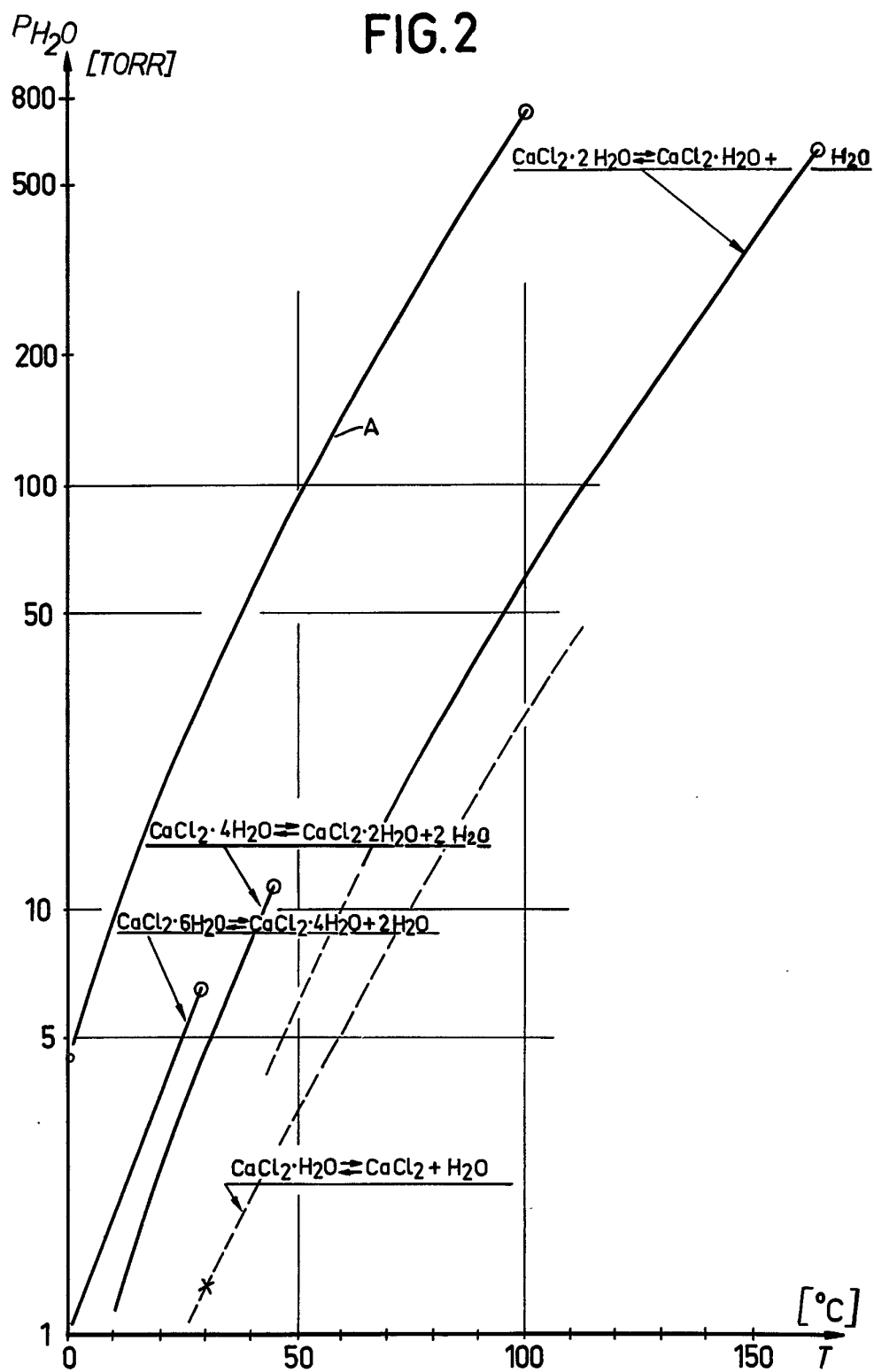
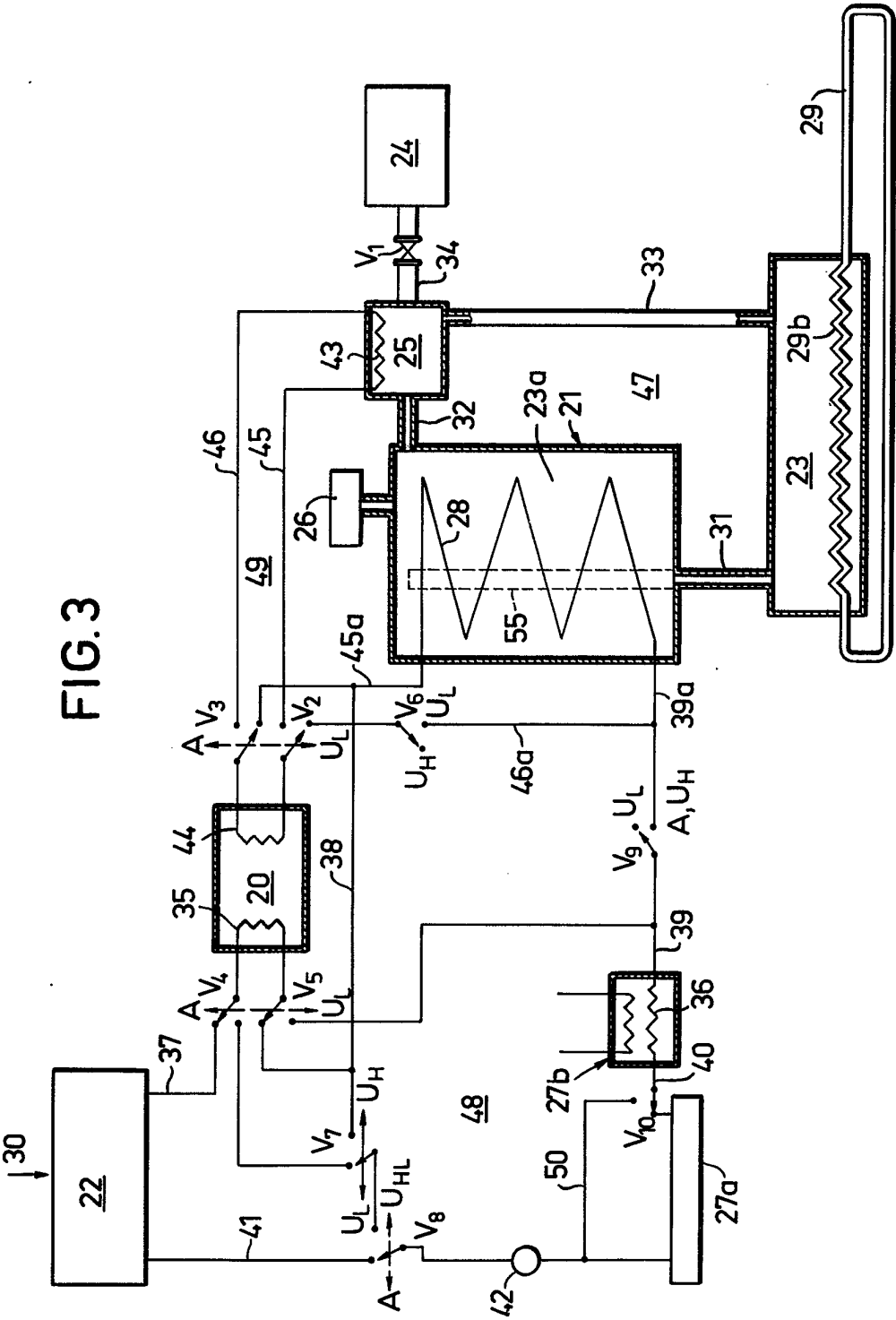


FIG.1





7.913

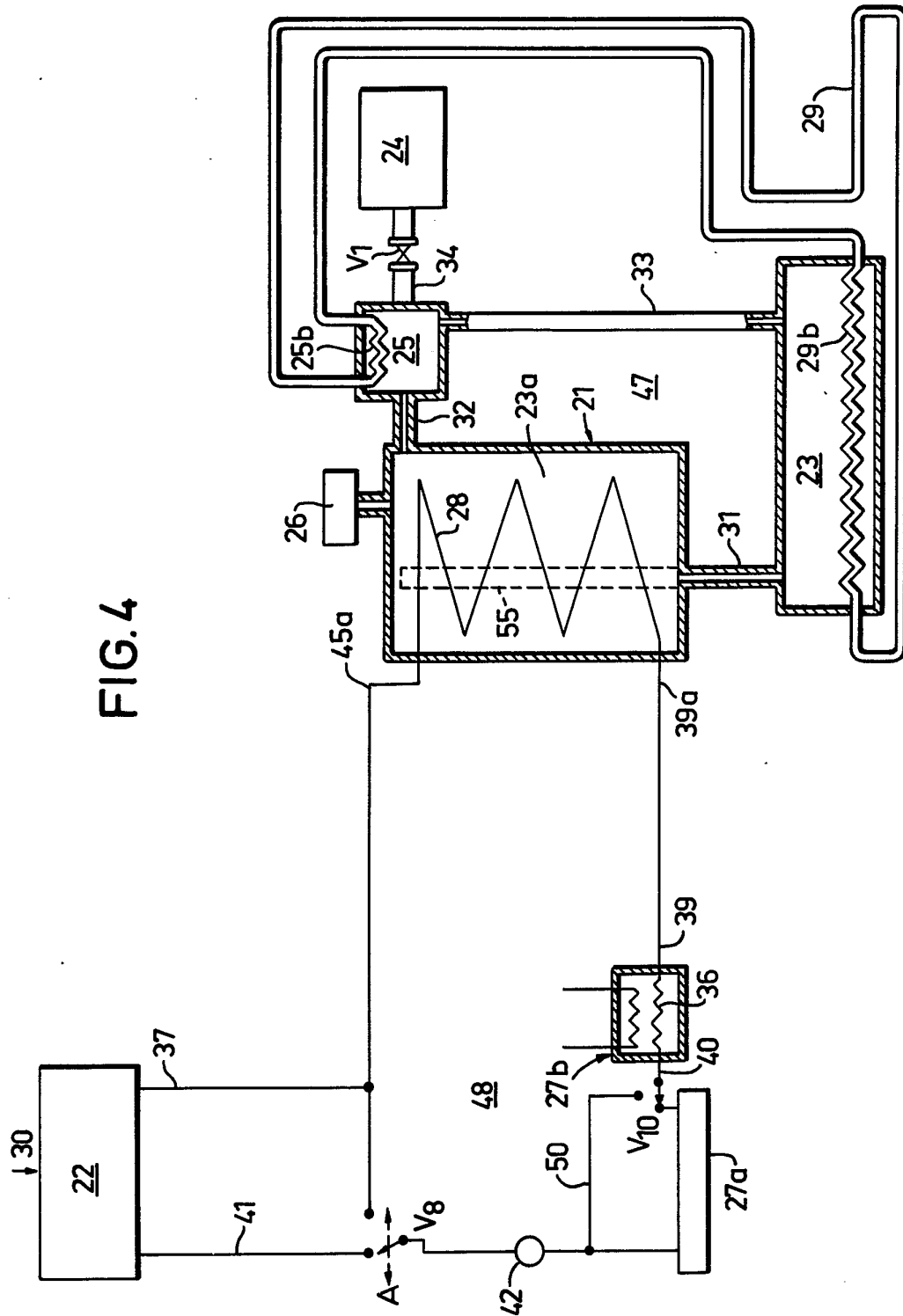
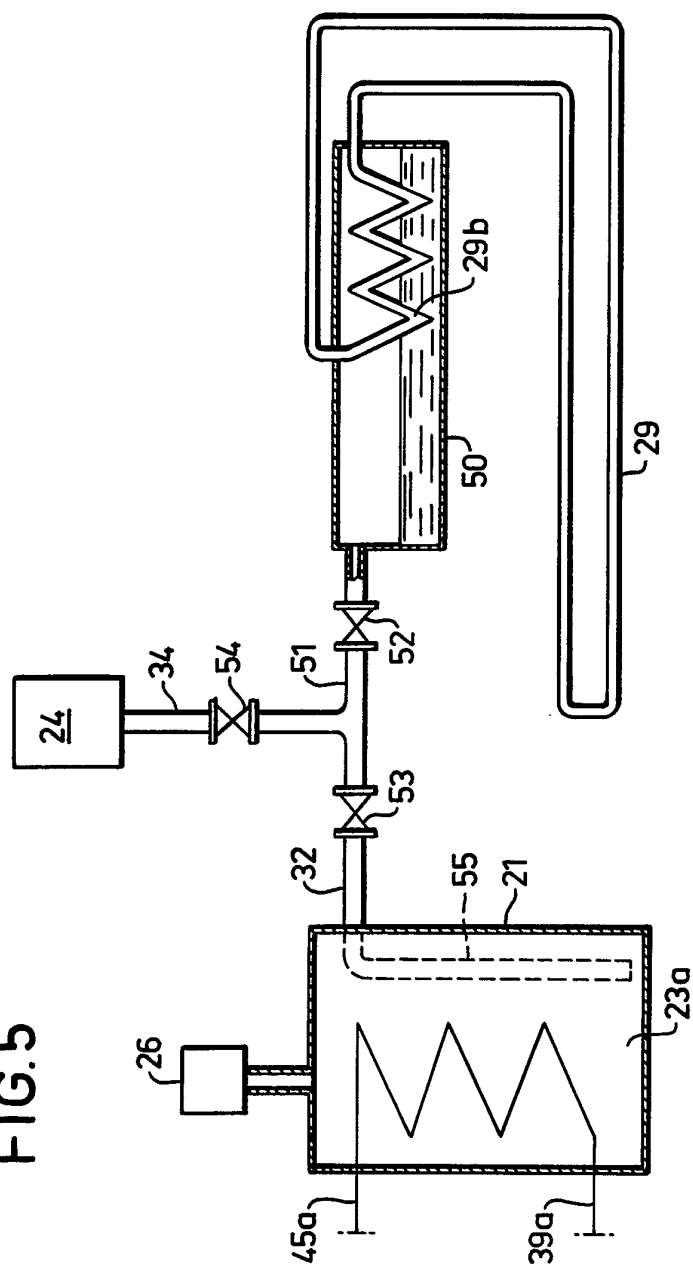


Fig. 5



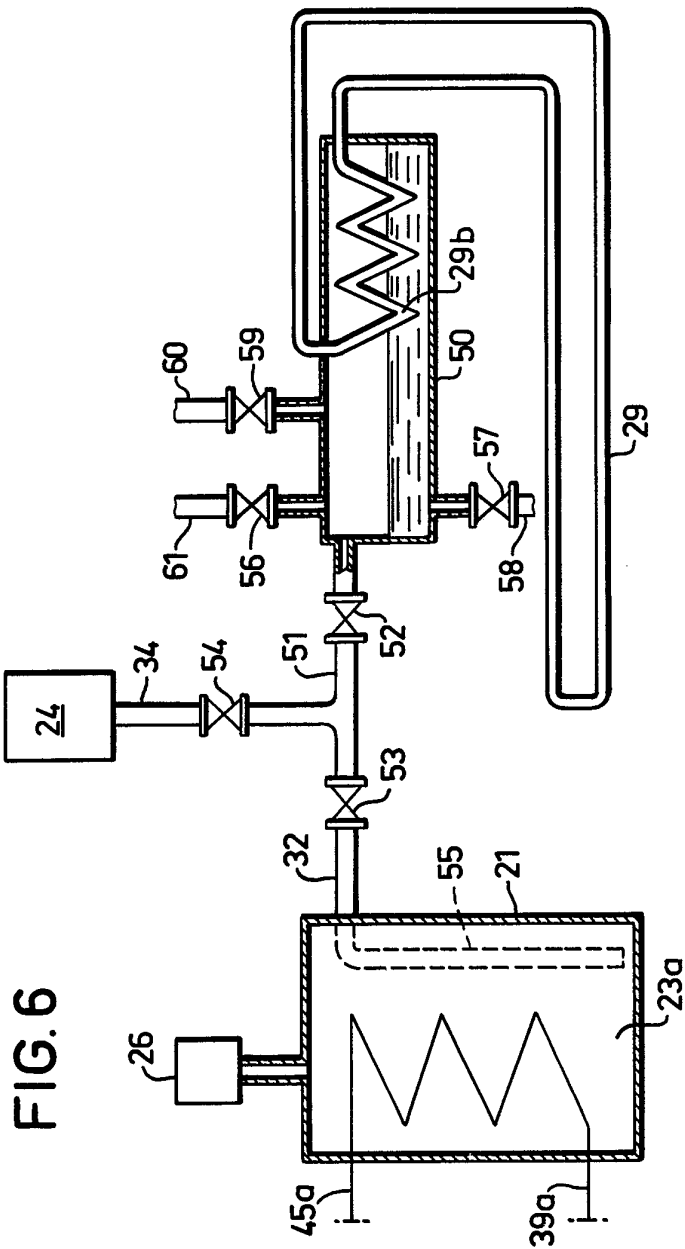


FIG.7

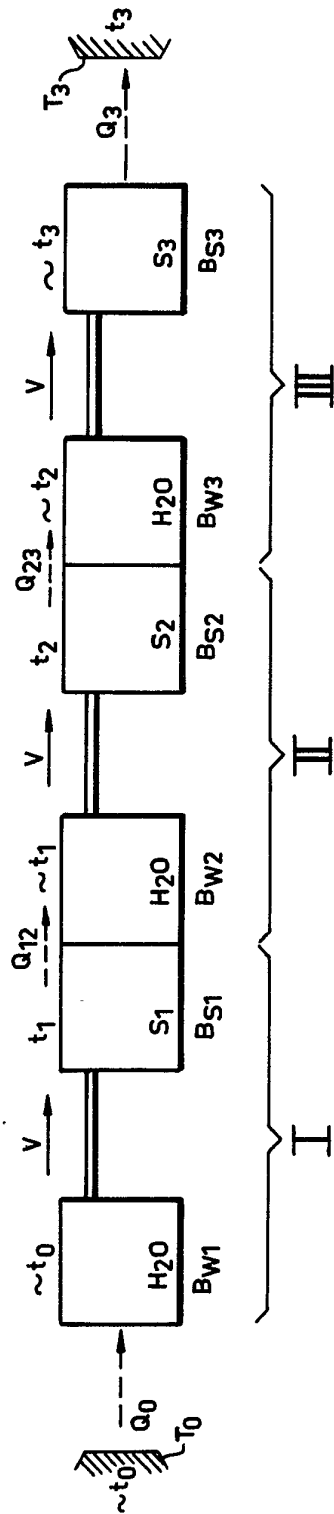


FIG.8

