



(10) **DE 10 2011 012 261 A1** 2012.08.30

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 012 261.3**

(22) Anmeldetag: **24.02.2011**

(43) Offenlegungstag: **30.08.2012**

(51) Int Cl.: **F03B 13/06 (2006.01)**

(71) Anmelder:

Rau, Werner, Dipl.-Phys., 75210, Keltern, DE

(72) Erfinder:

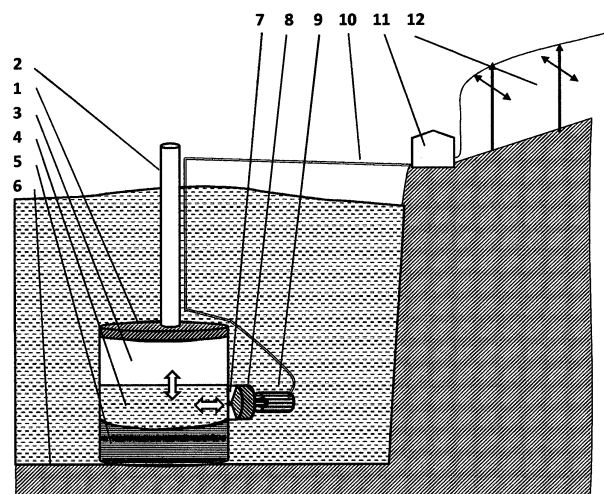
gleich Anmelder

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Tankspeicher Kraftwerk**

(57) Zusammenfassung: Verfahren und Vorrichtung zur Speicherung und Rückgewinnung elektrischer Energie unter Ausnutzung der Schwerkraft von Wasser, das in einem Tank auf dem Grund eines Gewässers gelagert wird. Hydraulische oder pneumatische Vorrichtungen pumpen unter dem Einsatz elektrischer Energie das Wasser aus dem tief liegenden Tank in das umgebende Gewässer und erzeugen eine potentielle Energie, die bei dem Rückfluss des Wassers in den Tank in elektrische Energie zurück gewandelt wird. Das Verfahren wird analog zu den bekannten Pumpspeicher Kraftwerken zur Speicherung elektrischer Energie und zur Stabilisierung der Stromnetze eingesetzt.



Beschreibung

[0001] Eine sichere Stromversorgung setzt voraus, dass das Stromangebot jederzeit exakt genau so groß ist wie die Stromnachfrage. Pumpspeicher Kraftwerke leisten dabei einen wichtigen Beitrag zur Stabilisierung der Stromnetze.

[0002] Die bekannten Pumpspeicher-Kraftwerke bestehen aus zwei Wasserbecken, die höhenmäßig möglichst weit auseinander liegen. Dazwischen ist das eigentliche Kraftwerk mit den Turbinen, Pumpen und Generatoren/Motoren angeordnet. Soll das Kraftwerk Strom liefern, wird das Wasser vom Oberbecken über die Turbinen in das Unterbecken geleitet. Soll das Oberbecken gefüllt werden, wird der Weg des Wassers umgekehrt. Die Generatoren werden dann als Motoren für den Antrieb der Pumpen genutzt, die das Wasser nach oben pumpen.

[0003] Den Strombedarf für den Pumpvorgang liefern heute meist Grundleistungskraftwerke in bedarfsarmen Zeiten. Zunehmend werden aber auch Angebotsspitzen z. B. aus der Windkraft zur Befüllung der oberen Becken genutzt. Der Wirkungsgrad von Pumpspeicherkraftwerken beträgt bis zu 80%. Der Energieverlust durch die Umwälzung des Wassers wird durch die Betriebsvorteile bei den Grundleistungs-Kraftwerken und Beiträge für die kurzfristige Versorgungssicherheit aufgewogen. Die Kosten für den Spitzenlaststrom aus Pumpspeicherkraftwerken können bei hoher Nachfrage mehrere EUR je kWh erreichen.

[0004] Die Erzeugung erneuerbarer Energien wie Windenergie und oder Solarstrom ist mit plötzlichen Schwankungen (Minutenreserve) verbunden, die ausgeglichen werden müssen. Hinzu kommen die natürlichen Schwankungen des Stromangebots über den Tagesverlauf und die Jahreszeiten. Pumpspeicher Kraftwerke werden insbesondere eingesetzt um die kurzfristigen Nachfrage- und Angebotsschwankungen (Regelenergie) nach Strom auszugleichen. Der Bedarf an Kraftwerken dieser Art ist tendenziell steigend. Der Zubau an Pumpspeicherkraftwerken ist u. a. auch aufgrund von Naturschutzaspekten kaum noch möglich.

Physikalische Grundlagen

[0005] Mechanische Arbeit und elektrische Arbeit sind äquivalent. Es gilt: $1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws}$

[0006] Das Anheben bzw. Absenken einer Masse ist mit dem Einsatz bzw. dem Gewinn von Energie verbunden. Zum Anheben eines Körpers ist eine Arbeit zu verrichten, die eine potentielle Energie $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$ erzeugt. (m = Masse in kg, g = Fallbeschleunigung = $9,81 \text{ m/sec}^2$ und h = Hubhöhe in m)

[0007] Wird ein Masseträger von 1 kg um 1 m angehoben, so beträgt die potentielle Energie an der Erdoberfläche $9,81 \text{ Nm}$. In den nachfolgenden Beispielrechnungen wird die potentielle Energie bei einem Hub von 1 kg um 1 m vereinfachend mit 10 Nm bzw. 10 Ws angesetzt.

[0008] Nach dem Archimedischen Prinzip erfährt jeder Körper, der in eine Flüssigkeit eintaucht eine nach oben gerichtete Auftriebskraft. $F_A = V_{\text{Fl}} \rho_{\text{FL}} g = m_{\text{Fl}} g$ (F_A = Auftriebskraft, V_{Fl} = Volumen der verdrängten Flüssigkeit, ρ_{FL} = Dichte der Flüssigkeit, m_{Fl} = Masse der Flüssigkeit, g = Fallbeschleunigung = $9,81 \text{ m/s}^2$) Ist die Auftriebskraft des in einem Tank verdrängten Wassers größer als die Gewichtskraft des Tanks, so schwimmt dieser nach oben. Ist Die Gewichtskraft des Tanks größer als seine Auftriebskraft so sinkt der Tank nach unten und bleibt auf dem Gewässergrund liegen.

Stand der Technik

[0009] Es ist bekannt, dass die Schwerkraft gestauter Wassermassen in Pumpspeicherseen zum Speichern elektrischer Energie genutzt wird.

Probleme beim Stand der Technik

[0010] Die zunehmende Nutzung Erneuerbarer Energien verringert den Anteil an Grundlaststrom aus fossilen Großkraftwerken. Es gibt zunehmend Zeiten mit einem Überschussangebot an Strom. Zu anderen Zeiten ist die Nachfrage nach Strom höher als das Angebot. Spitzen im Stromangebot müssen in die Zeiten geringen Stromangebots oder hoher Stromnachfrage verschoben werden. Die Speicherkapazitäten für elektrische Energie sind knapp. Die Speicherung elektrischer Energie in Pumpspeicherkraftwerken ist an das Vorkommen von Wasser bei geeigneten Höhenunterschieden gebunden. Der Zubau an Pumpspeicher Kraftwerken ist stark begrenzt.

Lösung

[0011] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Verfahren und Vorrichtungen zu entwickeln, die das Gewicht des Wassers, das in einem Tank gespeichert ist, für die Speicherung elektrischer Energie nutzt.

Tankspeicher-Kraftwerk

[0012] Zeichnung 1 verdeutlicht die Funktionsweise eines Tankspeicher-Kraftwerks.

[0013] Der Tank 1 ist mit einem schweren Ballastmaterial 5 (z. B. Kies, Beton) teilweise angefüllt. Er ruht aufgrund seines Gesamtgewichts auch in entleertem Zustand fest auf dem Gewässergrund 6.

[0014] Der Tank **1** ist über das Lufteinlassrohr **2** nach oben geöffnet. Das Lufteinlassrohr **2** ist so hoch, dass seine Öffnung über die Oberfläche des umgebenden Gewässers hinausragt. Das Lufteinlassrohr **2** ermöglicht das kompressionsfreie Entweichen bzw. das Zuströmen der Luft in die Luftkammer **3**.

[0015] Die Wasserschicht **4** steht in dem Tank **1** über dem Ballastmaterial **5**. Über das Einlassventil **7**, die Umkehrturbine **8** und den Elektromotor/Generator **9** wird wahlweise Wasser von außen in den Tank eingeleitet oder von innen in das umgebende Gewässer zurückgepumpt. Beim Einleiten des Wassers aus dem umgebenden Gewässer verringert sich das Volumen der Luftkammer **3**. Beim zurück Pumpen des Wassers nach außen vergrößert sich das Volumen der Luftkammer **3**.

[0016] Im Pumpbetrieb wird der Elektromotor/Generator **9** mit Strom aus dem Stromnetz **12** angetrieben. Über die Umkehrturbine **8** wird das Wasser der Wasserschicht **4** nach außen in das umgebende Gewässer gedrückt. Die Wasserschicht **4** sinkt und erhöht das Volumen der Luftkammer **3** und damit den Auftrieb des Tanks **1**. Bevor der Auftrieb das Gesamtgewicht des Tanks **1** (= Gewicht des Ballastmaterials **6** zuzüglich das Eigengewicht des Tanks **1**) überschreitet, wird der Pumpvorgang beendet.

[0017] Im Turbinenbetrieb wird Wasser über die Umkehrturbine **8** in das Innere des Tanks **1** geleitet. Das einströmende Wasser treibt die Umkehrturbine **8** und den Generator **9** an. Der erzeugte Strom wird über das Stromkabel **10** und den Stromwandler **11** in das Stromnetz **12** zurückgespeist. Das Einlassventil **7** regelt die einströmende Wassermenge und damit die Leistung der Umkehrturbine **8** sowie des Generators **9**.

[0018] Zeichnung 2 zeigt eine Anordnung, bei der das Einlassventil **7**, die Umkehrturbine **8** und der Elektromotor/Generator **9** auf dem Lufteinlassrohr **3** angeordnet sind und das Wasser aus der Wasserschicht **4** über das Steigrohr **13** nach oben gepumpt und anschließend in das umgebende Gewässer eingeleitet wird. Das Steigrohr **13** stellt eine geschlossene Verbindung zwischen der Wasserschicht **4** und dem umgebenden Gewässer her, so dass auch der Rückfluss des Wassers aus dem umgebenden Gewässer in die Wasserschicht **4** unterbrechungsfrei gewährleistet ist.

Vorteile des Tankspeicher Kraftwerks

[0019] Tankspeicherkraftwerke können sehr große Mengen elektrische Energie speichern. Ihr Wirkungsgrad entspricht dem von Pumpspeicherkraftwerken und erreicht ca. 80%.

[0020] Tankspeicher sind kostengünstig und mit geringem Entwicklungsaufwand zu erstellen.

[0021] Tankspeicher erfordern keine Staumauern, oder andere Eingriffe um den Wasserhaushalt des umgebenden Gewässers zu bewirtschaften. Der Wasserstand des umgebenden Gewässers steigt und fällt im Verhältnis des Tankvolumens zum Volumen des Gewässers. Der Eingriff in die Ökologie des Gewässers ist deshalb gering.

[0022] Tankspeicher können vorzugsweise in den gefluteten Gruben des Braunkohle Tagesbaus (z. B. Lausitz, Garzweiler) errichtet werden und diese einer zweiten Nutzung zuführen.

[0023] Tankspeicher können im Meer zusammen mit offshore Windparks errichtet werden und einen Teil des erzeugten Windstroms zwischenspeichern. Sie können auch als Gründungen für die Windmühlen selbst ausgebildet werden.

[0024] Die Volumenänderung in der Luftkammer erfolgt kompressionsfrei und adiabatisch. Dadurch wird der Energieverlust, der in den bekannten Druckluftspeichern durch das Erwärmen bzw. Abkühlen der ausgetauschten Luft entsteht, vermieden.

[0025] Tankspeicherkraftwerke erzielen alle Vorteile, die auch von Pumpspeicherkraftwerken erbracht werden. (z. B. Regelenergie, Schwarzstarfähigkeit, Verschieben des Stromangebots, Reduzierung von Reservekapazität etc.) Tankspeicher verursachen keine Veränderung des Landschaftsbildes, da das Lufteinlassrohr das umgebende Gewässer mit nur geringer Höhe überragt.

[0026] Die Beispielrechnung 1 veranschaulicht die erzielbaren Speicherkapazitäten in tiefen Gewässern.

[0027] Das spezifische Gewicht des Wassers beträgt 1 t/m^3 . Das spezifische Gewicht des gesamten Tankmaterials einschließlich Ballastgewicht beträgt 3 t/m^3 .

[0028] Der Tank besteht aus einem Zylinder mit einem Radius von 110 m, das entspricht einer Fläche von ca. 36.000 m^2 . Bei einer Höhe von 30 m verdrängt der eingetauchte Tank $1.080.000 \text{ m}^3$ Wasser das entspricht einer Auftriebskraft von $1.080.000 \text{ t}$.

[0029] Die Auftriebskraft des Tanks wird durch die Gewichtskraft des Tankmaterials ausgeglichen. Hierzu genügt $1/3$ des Verdrängungsvolumens in Höhe von 360.000 m^3 . Damit können in den Tank 720.000 m^3 Wasser abwechseln eingefüllt und anschließend herausgepumpt werden, ohne dass der Tank auftreibt.

[0030] Der Hub eines Gewichts von 360 t um 100 m erzeugt eine potentielle Energie von 100 kWh. Bei einer Tiefe des umgebenden Gewässers von 300 m kann mit dem Wasservolumen von 720.000 m³ eine potentielle Energie von ca. 600 MWh erzeugt und anschließend in Strom zurück gewandelt werden.

[0031] Auf der Grundfläche von einem Quadratkilometer können ca. 28 Tankspeicherkraftwerke der beschriebenen Größe errichtet werden. Das ergibt ein Speichervermögen von ca. 16,8 GWh je km².

[0032] Die Beispielrechnung 2 veranschaulicht die Speicherkapazität der Gründung einer Windmühle, die in 60 m tiefem Wasser errichtet wird und einen Radius von 50 m hat. Die Höhe des Gesamtspeichers wird mit 15 m angenommen.

[0033] Die austauschbare Wassermenge beträgt dann $V = 50 \text{ m} \times 50 \text{ m} \times 3,14 \times 10 \text{ m} = 78.500 \text{ m}^3$. Wird diese Wassermenge um 50 m angehoben, so entsteht eine potentielle Energie des Speichers von: $78.500 \text{ t} / 360 \text{ t} \times 0,1 \text{ MWh} \times 50 \text{ m} / 100 \text{ m} = 10,9 \text{ MWh}$.

Bezugszeichenliste

- | | |
|----|-------------------------------------|
| 1 | Tank |
| 2 | Lufteinlassrohr |
| 3 | Luftkammer |
| 4 | Wasserschicht |
| 5 | Ballastmaterial (z. B. Kies, Beton) |
| 6 | Gewässergrund |
| 7 | Einlassventil |
| 8 | Umkehrturbine |
| 9 | Elektromotor/Generator |
| 10 | Stromkabel |
| 11 | Stromwandler |
| 12 | Stromnetz |
| 13 | Steigrohr |

Patentansprüche

1. Verfahren und Vorrichtung zur Speicherung elektrischer Energie **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Tank mit einem Gewicht so beschwert ist, dass er im entleerten Zustand auf dem Grund eines umgebenden Gewässers sicher liegt und der abwechselnd mit Wasser gefüllt und entleert wird. Das Entleeren des Tanks in das umgebende Gewässer erzeugt eine potentielle Energie, die bei dem Füllen des Tanks zurückgewonnen wird.

2. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass eine Umkehrturbine das Wasser aus dem Tank in das umgebende Gewässer pumpt und anschließend der Rückfluss des Wassers die Umkehrturbine und den Generator antreibt und dieser Strom erzeugt.

3. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 2 dadurch gekennzeichnet, dass ein Ventil die einströmende Wassermenge so reguliert, dass die Leistung der Umkehrturbine und des Generators an die Anforderungen des Stromnetzes angepasst werden.

4. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 2 dadurch gekennzeichnet, dass die Luftkammer des Tanks durch ein Rohr oder einen Schlauch mit der Außenluft über dem Gewässer verbunden ist und einen kompressionsfreien Luftaustausch ermöglicht.

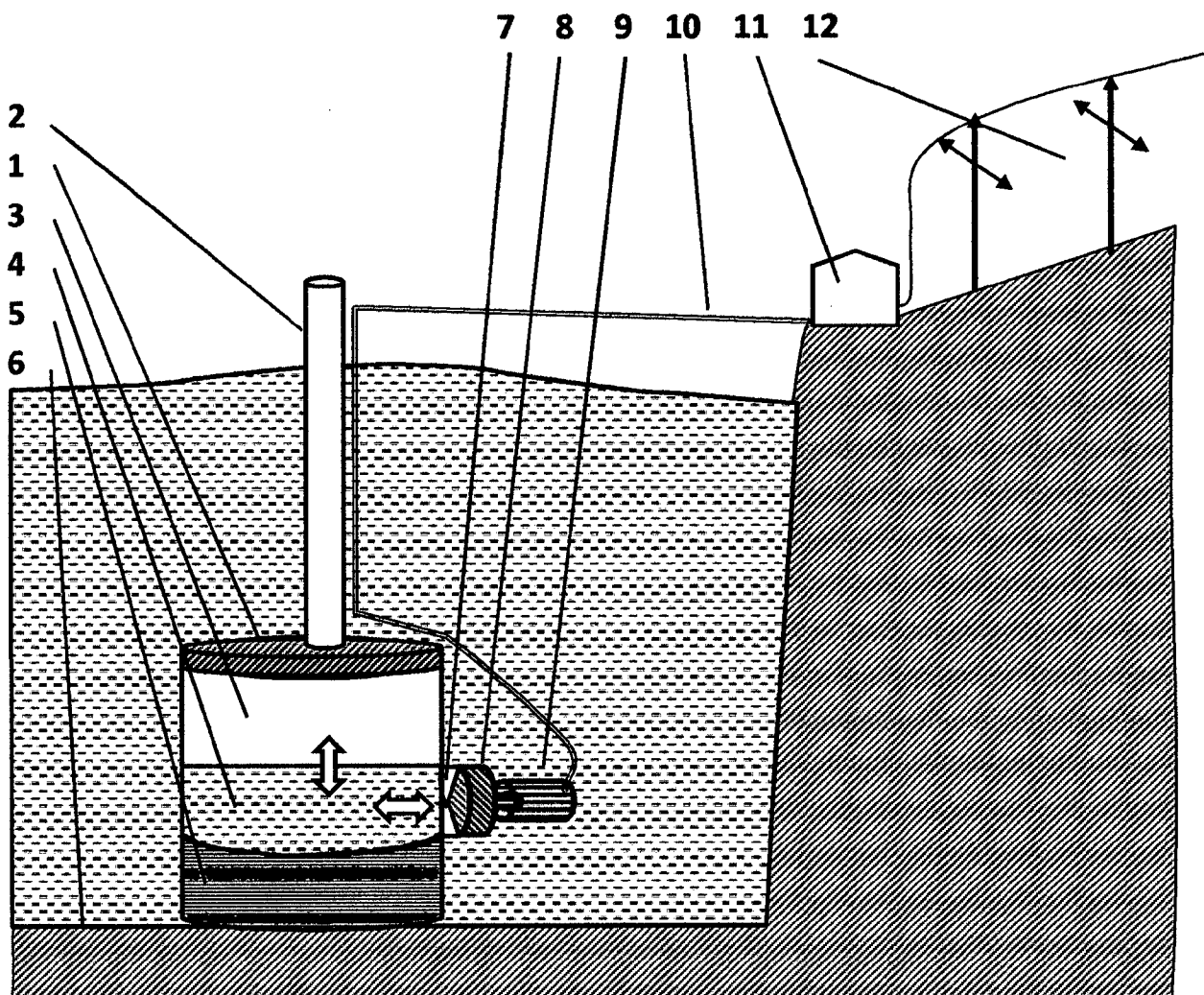
5. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 2 dadurch gekennzeichnet, dass das Wasser aus dem Tank über ein Steigrohr in das umgebende Gewässer gepumpt und anschließend wieder in den Tank zurückgeleitet wird.

6. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass der Tank als Gründungselement einer Windmühle ausgebildet ist, das die bekannten Gründungen (z. B. Pilone) ersetzt.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Zeichnung: 1



Zeichnung: 2

