



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2008 036 795.8**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F03G 3/00** (2006.01)

(22) Anmeldetag: **07.08.2008**

(43) Offenlegungstag: **13.01.2011**

(61) Zusatz zu:  
**10 2007 017 695.5**

(72) Erfinder:  
**gleich Anmelder**

(71) Anmelder:  
**Rau, Werner, Dipl.-Phys., 75210 Kelters, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

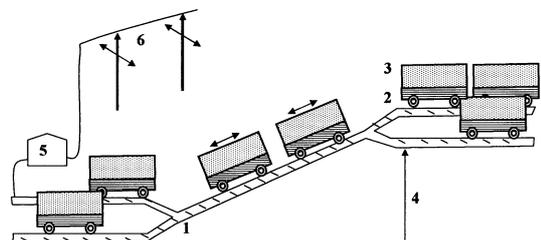
**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Mechanisches Hubspeicher Kraftwerk mit Fahrzeughub**

(57) Zusammenfassung: Verfahren und Vorrichtung zur Speicherung und Rückgewinnung elektrischer Energie unter Ausnutzung der Schwerkraft in mechanischen Hubvorrichtungen mit Fahrzeughub.

Mechanische Hubvorrichtungen mit Fahrzeughub erzeugen potentielle Energie, indem sie schwere Masseträger unter dem Einsatz elektrischer Energie bergauf transportieren. Die potentielle Energie der Masseträger wird bei der Talfahrt der Fahrzeuge über Generatoren in Strom zurückverwandelt. Die zurückgewandelte Strommenge ist um den Gesamtwirkungsgrad des Speichersystems reduziert.

Das Verfahren wird analog zu den bekannten Pumpspeicher-Kraftwerken zur Speicherung elektrischer Energie und zur Stabilisierung der Stromnetze eingesetzt.



**Beschreibung**

## Physikalische Grundlagen

## Bedeutung der Stromenergiespeicherung

**[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 bis zu 2 EUR je kWh erreichen.

**[0004]** Die Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland weist für das Jahr 2006 einen Verbrauch an Pumpspeicherstrom in Höhe von 9,1 TWh aus. Damit wurden ca 1,5% des Gesamtstromverbrauchs i. H. v. 614,6 TWh für die Stabilisierung der Netze und die Erhöhung der kurzfristigen Versorgungssicherheit eingesetzt.

**[0005]** Die Nutzung erneuerbarer Energien wie die Windenergie und oder die Solarstromerzeugung 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- bzw. Angebotsschwankungen nach Strom auszugleichen. Der Bedarf an Kraftwerken dieser Art ist tendenziell steigend. Der Zubau an Pumpspeicherkraftwerken ist u. a. aufgrund von Naturschutzaspekten kaum noch möglich.

**[0006]** Das Anheben bzw. Absenken einer Masse ist mit dem Einsatz bzw. dem Gewinn von Energie verbunden. Die potentielle Energie eines Masseträgers  $m$ , der an der Erdoberfläche um die Höhe  $h$  angehoben wird ist:

$$E_{\text{pot}} = m \times g \times h$$

**[0007]** Die Erdbeschleunigung  $g$  beträgt an der Erdoberfläche  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  Um einen Körper der Masse  $m = 1 \text{ kg}$  mit der Hilfe eines elektrischen Antriebs um die Höhe  $h = 1 \text{ m}$  anzuheben, ist eine elektrische Arbeit zu leisten:

$$9,81 \text{ Nm (Newtonmeter)} = 9,81 \text{ Ws (Wattsekunden)}$$

**[0008]** Die aufgewendete Arbeit zum Anheben des Körpers ist eine potentielle Energie, die beim Absenken des Körpers zurück gewonnen werden kann. In den nachfolgenden Beispielrechnungen wird vereinfachend das Anheben von 1 kg um 1 m mit 10 Ws angesetzt.

## Stand der Technik

**[0009]** Es ist bekannt, dass die Schwerkraft gestauter Wassermassen zur Erzeugung elektrischer Energie und in Pumpspeicherseen zum Speichern elektrischer Energie genutzt wird. Dabei wird die Fließeigenschaft des Wassers genutzt, um große Massen bei geringen Energieverlusten anzuheben bzw. abzusinken. Zum Beispiel speichert das Pumpspeicher Kraftwerk Herdecke pro Füllung ein Arbeitsvermögen von 590 MWh.

**[0010]** Es ist bekannt, dass die Bremsenergie von Fahrzeugen (Züge, Autos) auch bei Talfahrten genutzt wird, um mitgeführte Batterien nachzuladen. Moderne Lokomotiven sind mit Nutzbremsen ausgestattet, die die Bremsenergie der Züge in Strom umwandeln und in das Bahnnetz zurückspeisen. Auch schwere Seilwinden sind mit Vorrichtungen ausgestattet, die den für das Anheben schwerer Lasten aufgewendeten Strom rekuperieren.

## Probleme beim Stand der Technik

**[0011]** 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. Kurzfristige Nachfrage- und Angebotsschwankungen werden durch Regelernergie ausgeglichen. Die Nachfrage nach Regelernergie steigt.

**[0012]** Die Speicherkapazitäten für elektrische Energie sind knapp und teuer. Die Stromerzeugung aus Wasserkraft ist an das Vorkommen von Wasser bei geeigneten Höhenunterschieden gebunden. Der Zubau von Pumpspeicher Kraftwerken ist stark begrenzt.

**[0013]** Es gibt neben den Pumpspeicher Kraftwerken keine technisch ausgereiften Verfahren, die elektrische Energie bei hohen Wirkungsgraden in großer Menge kostengünstig speichern.

#### Lösung

**[0014]** Die Speicherung elektrischer Energie durch das „bergauf“ pumpen von Wasser beruht physikalisch gesehen auf dem Anheben der Masse des Wassers. Alternativen zu den Pumpspeicher Kraftwerken ergeben sich, wenn das Speichermedium Wasser durch beliebige Masseträger z. B. Gestein, Beton, Eisen ersetzt wird.

**[0015]** Die Grundgleichung für die potentielle Energie beinhaltet bei gegebener Schwerkraft nur die Variablen: Masse und Hubhöhe. D. h. zum Speichern nennenswerter Mengen an Energie sind große Massen möglichst hoch anzuheben.

**[0016]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Verfahren und Vorrichtungen zu entwickeln, die kostengünstige Kapazitäten zur Speicherung elektrischer Energie bereitstellen.

#### Hubspeicher Kraftwerk mit Fahrzeughub

**[0017]** Patentantrag 10 2007 017 695.5-13 beschreibt die allgemeine Funktionsweise eines Hubspeicher Kraftwerks mit Fahrzeughub und dessen Vorteile. Die Zeichnungen 1 und 2, 3 skizzieren besonders vorteilhafte Anordnungen eines Hubspeicher Kraftwerks mit Fahrzeughub.

**[0018]** Zeichnung 1: Eine Gleisanlage **1** ist auf einer Steigung mit einem Höhenunterschied **4** verlegt. Am Fuß der Steigung und auf dem oberen Ende der Steigung verzweigt die Gleisanlage zu einem Bahnhof. Eine Übergabestation **5** schließt die Gleisanlage an das Stromnetz **6** an.

**[0019]** Auf der Gleisanlage fahren elektrisch betriebene Fahrzeuge **2**, die sowohl mit einem Elektromotor als auch mit einem Stromgenerator ausgerüstet sind. Die Fahrzeuge **2** sind mit schweren Gewichten (z. B. Betonquader) **3** beladen. Die Fahrzeuge werden so gesteuert, dass sie bei hohem Stromangebot und niedrigen Strompreisen bergauf fahren und so potentielle Energie erzeugen. Bei niedrigem Stromangebot und hohen Strompreisen fahren die Fahrzeuge bergab und treiben den Stromgenerator an. Dieser wandelt die potentielle Energie in elektrische

Energie zurück und speist sie in das Stromnetz ein. Die Speicherung und Rückgewinnung der elektrischen Energie ist mit Umwandlungsverlusten verbunden.

**[0020]** Eine Beispielrechnung veranschaulicht die Größenordnungen: Ein Betonquader mit den Maßen  $H \times B \times L = 4 \times 4 \times 10 \text{ m} = 160 \text{ m}^3$  wiegt ca. 360 t. Beträgt die Hubhöhe **4** der Steigung 300 Meter, so wird bei der Bergfahrt eine potentielle Energie in Höhe von 300 kWh erzeugt. Werden 1.000 Gewichte bergauf gefahren und oben abgestellt, so beinhalten sie eine potentielle Energie von 300 MWh.

**[0021]** Bei einer Steigung von 10% beträgt die Länge der Steigung 3 km. Zu einem Zeitpunkt können sich z. B. 200 Fahrzeuge gleichzeitig an der Steigung bewegen und Strom aufnehmen bzw. abgeben. Bei einer Leistung der Elektromotoren und Stromgeneratoren je Fahrzeug von 500 kW, kann das Gesamtsystem über einen Zeitraum von ca. 3 Stunden eine Leistung von 100 MW Strom aufnehmen bzw. abgeben.

**[0022]** Zeichnungen 2 und 3 zeigen eine besonders kostengünstige Anordnung des Speichersystems.

**[0023]** Zeichnung 2 zeigt eine Anordnung, bei der im Bereich der Bahnhöfe neben den Gleisen Tragwände **7** errichtet sind. Die Gewichte **3** werden auf den Tragwänden **7** abgestellt. Die Tragwände **7** sind geringfügig höher als die Fahrzeuge **2**. In die Fahrzeuge **2** sind hydraulische Vorrichtungen **8** eingebaut, die die Gewichte während der Fahrt im Bahnhofsbereich so hoch anheben, dass sie über die Tragwände bewegt werden können. Durch das Absenken der hydraulischen Vorrichtungen **8** werden die Gewichte **3** auf den Tragwänden **7** abgestellt. Die Fahrzeuge **2** können bei abgesenkter Hubvorrichtung **8** unter den abgestellten Gewichten **3** ohne Last hindurch fahren. Die Fahrzeuge sind über Stromabnehmer **9** an das Netz des Speichersystems angeschlossen.

**[0024]** Zeichnung 3 zeigt eine Anordnung, bei der auf der Steigung zwei Gleise **1** verlegt sind. Auf den Gleisen fahren die Fahrzeuge **2** alternierend im beladenen und unbeladenen Zustand in jeweils entgegengesetzter Richtung.

**[0025]** Auf dem hinteren Gleis fahren zwei beladene Fahrzeuge **2** bergab und erzeugen Strom. Auf dem vorderen Gleis fahren gleichzeitig zwei unbeladene Fahrzeuge **2** bergauf, um weitere Gewichte von dem oben gelegenen Bahnhof zu holen. Beim Aufladen des Speichersystems fahren die beladenen Fahrzeuge aufwärts und die der leeren Fahrzeuge abwärts.

**[0026]** Die beschriebene Anordnung ermöglicht eine kontinuierliche Aufladung und Entladung des Gesamtsystems, indem eine stetig gleich bleibende

Anzahl von beladenen Fahrzeugen auf der Steigung fährt. Die Ausgestaltung der Fahrzeuge **2** als Unterflurfahrzeuge ermöglicht es, dass mehrere Fahrzeuge im Konvoi in die gleiche Richtung fahren können, um die Gewichte gleichzeitig zu beladen und zu transportieren.

#### Vorteile

**[0027]** Die im Patentantrag 10 2007 017 695.5-13 dargelegten Vorteile werden durch die skizzierte Vorrichtung um folgende Punkte erweitert:

Fahrzeuge zum Transport schwerer Lasten kosten ein Vielfaches der zu transportierenden Gewichte. Sie verursachen einen wesentlichen Anteil an den Herstellkosten eines Hubspeicherkraftwerks mit Fahrzeughub. Durch das beschriebene Verfahren werden die Kosten eines Fahrzeugs auf den Hub mehrerer Gewichte verteilt. Die spezifischen Kosten je gespeicherter kWh Energie werden gesenkt.

**[0028]** Die spezifischen Kosten werden weiter gesenkt, wenn nur ein Teil der Fahrzeuge als Triebfahrzeuge (z. B. Lokomotive) ausgestaltet werden und der verbleibende Teil als Anhänger (z. B. Wagon) ohne eigenen Antrieb und Generator.

**[0029]** Das Gesamtsystem ist über mehrere Parameter z. B. Hubhöhe des Fahrwegs, Steigung des Fahrwegs, Anzahl Gleise, Masse eines Gewichts, Anzahl Gewichte, Gewicht je Fahrzeug, Anzahl Fahrzeuge und Anzahl Anhänger je Triebfahrzeug skalierbar.

**[0030]** Hubspeicher Kraftwerke mit Fahrzeughub können dem Zweck der Anwendung entsprechend konfiguriert und im Hinblick auf die Marktpreise für Strom optimiert werden. Hubspeicherkraftwerke, die große Mengen elektrischer Energie (Grundlaststrom) für einen oder mehrere Tage speichern sollen, werden z. B. mit vielen Gewichten je Fahrzeug ausgestattet. Hubspeicherkraftwerke, die vorzugsweise hohe Leistung über kurze Zeit (Regelenergie) erzeugen sollen, werden mit wenigen Gewichten je Fahrzeug ausgestattet.

**[0031]** Hubspeicher Kraftwerke mit Fahrzeughub sind langlebig, wartungsarm und umweltfreundlich.

#### Bezugszeichenliste

- 1 Gleisanlage
- 2 Fahrzeug mit Elektromotor und Stromgenerator
- 3 Gewicht (Masseträger)
- 4 Hubhöhe
- 5 Anschluss an Stromnetz
- 6 Stromnetz
- 7 Tragwände
- 8 Hydraulikzylinder
- 9 Stromabnehmer

#### Patentansprüche

1. Verfahren und Vorrichtung zur Speicherung elektrischer Energie, **dadurch gekennzeichnet**, dass beliebige Gewichte (Masseträger) mit der Hilfe elektrisch angetriebener Hubvorrichtungen angehoben werden und deren potentielle Energie verringert um die spezifischen Verluste der Hubvorrichtung mit der Hilfe von Stromgeneratoren in elektrische Energie zurück gewandelt wird.

2. Verfahren und Vorrichtung zur Speicherung elektrischer Energie nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass ein Masseträger bestehend aus schweren Materialien (z. B. Gestein, Beton, Eisen) mit der Hilfe eines Fahrzeugs, das mit einem elektrischen Antrieb ausgestattet ist, bergauf transportiert wird. Der Strom zum Antrieb des Elektromotors wird dem Netz entnommen. Die potentielle Energie des Masseträgers treibt bei der Talfahrt das Fahrzeug, auf dem ein Stromgenerator angebracht ist, an. Der Generator erzeugt Strom und speist ihn in das Netz zurück.

3. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 2 dadurch gekennzeichnet, dass bei hohem Stromangebot ein oder mehrere Fahrzeuge ein oder mehrere Gewichte bergauf transportieren und am oberen Ende eines Fahrwegs (z. B. Gleisanlage) abstellen und dadurch gekennzeichnet, dass bei hoher Stromnachfrage die abgestellten Gewichte einzeln oder gleichzeitig wieder aufgeladen, in das Tal zurück transportiert und am unteren Ende des Fahrweges abgestellt werden.

4. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 3 dadurch gekennzeichnet, dass die Gewichte auf Tragwänden, auf seitlich angebrachten Füßen oder anderen Vorrichtungen frei tragend so abgestellt werden, dass die Fahrzeuge unter den Gewichten hindurch fahren können.

5. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 3 dadurch gekennzeichnet, dass die Fahrzeuge, die Gewichte selbst oder die Unterlagen für die Gewichte mit Hubvorrichtungen ausgestattet sind, die das Abstellen der Gewichte unterstützen.

6. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 3 dadurch gekennzeichnet, dass die Fahrzeuge so ausgebildet sind, dass sie im unbeladenen Zustand unter den abgestellten Gewichten durchfahren können.

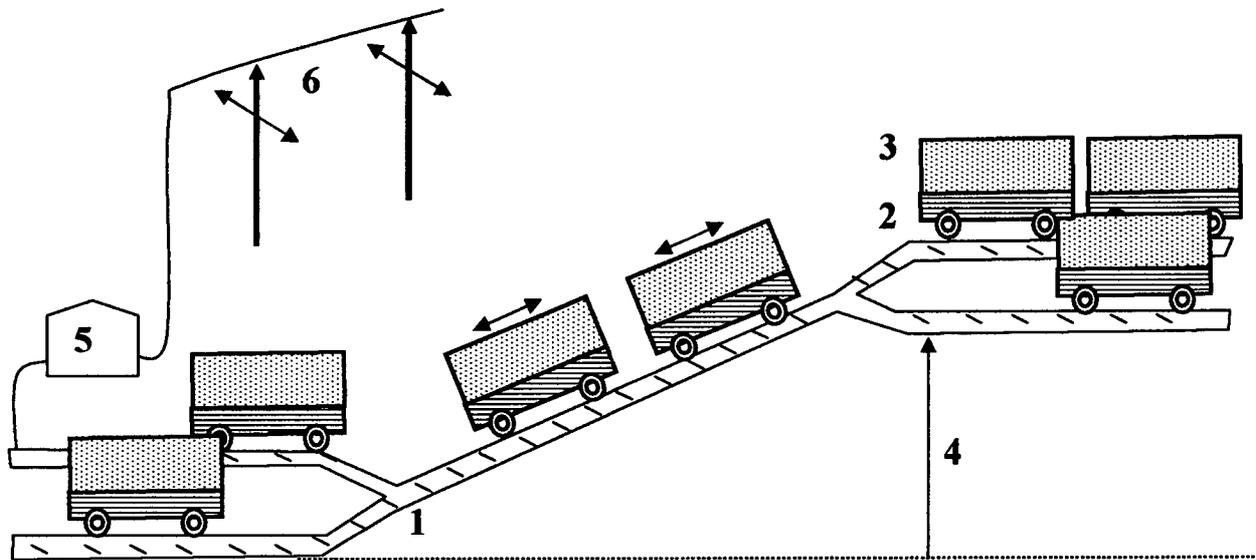
7. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 3 dadurch gekennzeichnet, dass die Bewegungen und die Geschwindigkeiten der Fahrzeuge einzeln angestoßen und so geregelt werden, dass das Gesamtsystem die Leistungsanforderungen des Stromnetzes optimal unterstützt.

8. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 3 dadurch gekennzeichnet, dass ein Algorithmus den Betrieb des Gesamtsystems nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten optimiert.

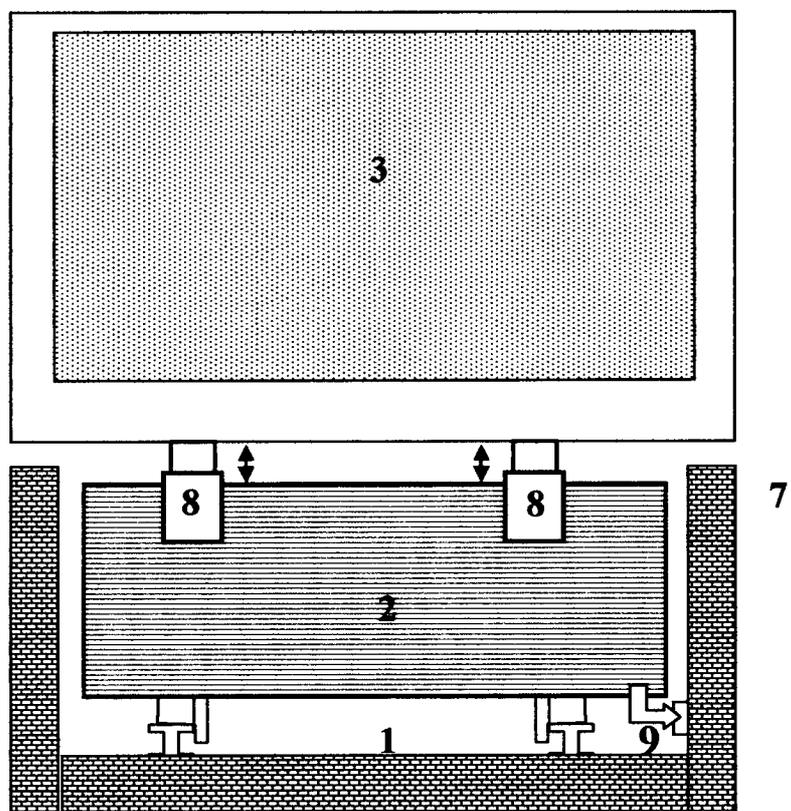
9. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 3 dadurch gekennzeichnet, dass das Gesamtsystem des Hubspeicher Kraftwerks über die Parameter: Höhenunterschied der Steigung, Steigung der Fahrwege, Anzahl der Fahrwege, Anzahl Fahrzeuge je Fahrweg, Anzahl Gewichte, die je Fahrzeug nacheinander transportiert werden, Anzahl Fahrzeuge mit Antrieb zu Anzahl Fahrzeuge ohne Antrieb kostenoptimal auf den geforderten Speicherinhalt und die geforderte Abgabeleistung des Hubspeicher Kraftwerks abgestimmt wird.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Zeichnung 1:



Zeichnung 2:



Zeichnung 3:

