



(10) **DE 20 2012 010 190 U1** 2013.03.07

(12)

## Gebrauchsmusterschrift

(21) Aktenzeichen: **20 2012 010 190.0**

(22) Anmeldetag: **24.10.2012**

(47) Eintragungstag: **14.01.2013**

(45) Bekanntmachungstag im Patentblatt: **07.03.2013**

(51) Int Cl.: **F03G 7/00 (2013.01)**

**H02J 3/28 (2013.01)**

**H02J 15/00 (2013.01)**

(73) Name und Wohnsitz des Inhabers:

**Bellm, Hans-Peter, 76297, Stutensee, DE; Bellm,  
Hubert, Dr.-Ing., 76297, Stutensee, DE**

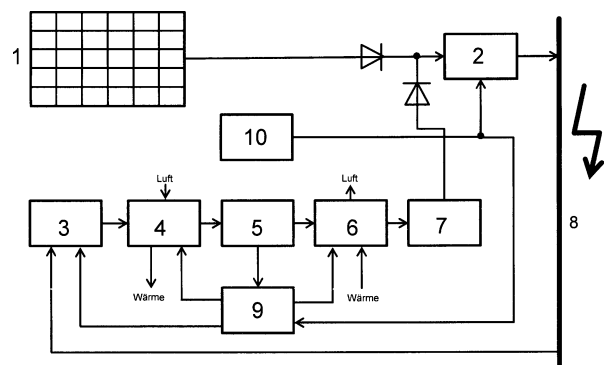
**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Dezentraler Druckluftspeicher für kleine Fotovoltaikanlagen**

(57) Hauptanspruch: Einrichtung zur temporären Speicherung elektrischer Energie, insbesondere zum Zwischenspeichern von in einer Windkraft- oder Fotovoltaikanlage kleiner Größe bereitgestellter Energie um eine geregelte Leistungsabgabe an ein zu versorgendes Netz (8) zu erzielen,

- mit einem Behälter (5) für Druckluft als ein erstes Energiespeichermedium,
- mit einem ein speziell konstruierten, wassergekühlten und mehrstufigen Rotationskolbenkompressor mit hoher Effizienz (4), der anstelle der Brennraummulde eine oberflächenvergrößernde Struktur besitzt und durch einen dreiphasigen Drehstrom-Motor (3) angetrieben ist, zum Einspeisen von Druckluft in den Druckluftbehälter (5) beim Ladevorgang,
- mit Mitteln zur Schalldämmung des Verdichters,
- mit einem hochverdichteten Expansionsmotor (6) zur Entnahme von Druckluft aus dem Druckluftbehälter (5) und einem dem hochverdichteten Expansionsmotor (6) nachgeschalteten Generator (7) zur Erzeugung elektrischer Energie beim Entladevorgang und
- mit Mitteln zur Übertragung von preisgünstiger thermischer Energie aus einem haushaltsüblichen Wärmeerzeuger auf die Druckluft vor oder bei deren Expansion.

– basierend auf einem...



**Beschreibung**

**[0001]** In der Vergangenheit erfolgte die Energieversorgung weitgehend zentral, das heißt, die Energie wurde überwiegend in Großkraftwerken erzeugt und Energieverteilungsnetze im Hinblick auf eine zentrale Energieeinspeisung hin ausgelegt. In jüngerer Zeit werden an die Energieverteilungsnetze vermehrt dezentrale Energieerzeugungseinrichtungen insbesondere zur Nutzung regenerativer Energiequellen angeschlossen, zum Beispiel Windenergie- oder Fotovoltaikanlagen. Da diese Energieerzeugungseinrichtungen häufig nicht in der Hand der Betreiber des Energieverteilungsnetzes liegen, kann durch die Netzbetreiber nicht beeinflusst werden, zu welchen Zeitpunkten und in welcher Menge Energie in das Energieverteilungsnetz eingespeist wird. Hierdurch kann eine Situation eintreten, in welcher die Kapazitäten der Leitungen des Energieverteilungsnetzes nicht mehr an die tatsächliche Energiesituation angepasst sind. Der forcierte Einsatz dezentraler Energieerzeugung erfordert neue Strategien zur Steuerung von Energieerzeugung und -verbrauch sowie größere Kapazitäten zur Zwischenspeicherung von Energie.

**[0002]** Eine Möglichkeit zur Abschwächung dieses Problems kann darin gesehen werden, bei dezentralen Energieerzeugern Einrichtungen zur temporären Speicherung zur Verfügung stehender, aber momentan vor Ort nicht verbrauchbarer elektrischer Energie vorzusehen. Derartige Energiespeicher finden bisher jedoch in Windkraft- oder Fotovoltaikanlagen von kleiner Größe, das heißt mit Spitzenleistungen von 2 kW bis zu 9 kW, kaum Anwendung. Ein Grund ist der hohe Aufwand, mit welchem ein derartiger elektrischer Energiespeicher bisher verbunden ist.

**[0003]** Beispielsweise würde für eine Fotovoltaikanlage mit einer Spitzenleistung von 3 kW, wie sie in privaten Haushalten üblich ist, ein elektrischer Energiespeicher mit einer Kapazität von 3 bis 7 kWh genügen. Die Anlage mit zum Beispiel Lithium-Ionen-Akkumulatoren in dieser Größe zu versehen, würde den Aufwand für die Anlageninstallation gegenüber dem Aufwand für die reine Energieerzeugung nahezu verdoppeln. Hinzu käme, dass die Lebensdauer von Lithium-Ionen-Akkumulatoren bei jeweils vollständiger Entladung auf ca. 800 Ladezyklen begrenzt ist (bei einer teilweisen Ladung/Entladung und optimaler Elektronik werden nach heutigem Stand der Technik, z. B. bei E-Bikes/Pedelecs bis zu 1200 Zyklen bzw. 5–8 Jahre bei kontinuierlich abnehmender Kapazität erreicht). Weiterhin ginge von Akkumulatoren dieses Typs nach dem heutigen Stand der Technik bei Fehlbehandlung ein nicht unwesentliches Brandrisiko aus.

**[0004]** Eine weitere Möglichkeit zur Realisierung elektrischer Energiespeicher stellen Druckluftspeicher dar, wie z. B. in DE 10 2009 030 146 A1,

DE 10 2010 014 834 A1 und in der Anmeldung 2012E09036DE vorgeschlagen.

**[0005]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Einrichtung zur temporären Speicherung elektrischer Energie, insbesondere für dezentrale Energieversorgungsanlagen kleiner Größe, zu schaffen, deren Gesamtwirkungsgrad bei Lade- und Entladevorgängen verbessert ist, sowie ein entsprechendes Verfahren zum Laden und Entladen eines Energiespeichers zu finden.

**[0006]** Der Energieaufwand bei der Kompression von Gasen ist ein sich selbstverstärkender Prozess: Bei der Kompression erwärmt sich das Gas (siehe Fahrrad-Luftpumpe) => der Druck steigt => es muss mehr mechanische Energie zugeführt werden, die zum Teil wieder in Wärme umgewandelt wird => Druck und Temperatur steigen weiter => usw. Bei der isothermen Kompression müsste die geringste Wärmemenge abgeführt werden! Dieser Idealzustand ist aber technisch nur näherungsweise zu erreichen. (Die heute übliche „Zwischenkühlung“ zwischen den Kompressionsstufen ist allerdings bezüglich Effizienz auch nicht zielführend, da dann ja schon ein hoher Anteil mechanischer Energie in die Erwärmung geflossen ist!) Heute handelsübliche Ausführungen von Hochdruckkompressoren mit einer Luftleistung um die 100 l/min z. B. zur Füllung von Tauchflaschen erreichen nur Wirkungsgrade zwischen 20 und 30%.

**[0007]** Bei der Erfindung wird im Unterschied zu DE 10 2009 030 146 A1, DE 10 2010 014 834 A1 und 2012E09036DE unter Verzicht auf eine Nutzung der bei der Kompression freiwerdenden Wärme als Kompressor (auch „Verdichter“ genannt) ein speziell konstruierter, wassergekühlter und mehrstufiger Rotationskolbenkompressor mit hoher Effizienz vorgeschlagen, der anstelle der Brennraummulde eine oberflächenvergrößernde Struktur besitzt und von einem industriellen Drehstrommotor angetrieben wird. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass elektrische Energie in Schwachlastzeiten auch aus dem Verteilungsnetz bezogen und gespeichert und bei Bedarf wieder an das Verteilungsnetz abgegeben werden kann. Dies muss natürlich bei der Abrechnung berücksichtigt werden. Ein weiterer Vorteil besteht in der einfacheren Nachrüstbarkeit bei bestehenden Fotovoltaikanlagen. Für die Verwendung in privaten Haushalten wird der Kompressor mit einer zusätzlichen Schalldämmung versehen.

**[0008]** Ein weiterer Unterschied zu DE 10 2009 030 146 A1 besteht darin, dass keine Mittel zur Druckluftentspannung (Druckminderer) enthalten sind, d. h. gemäß dem in Gebrauchsmuster 202012007415.6 beschriebenen Gerät wird der volle Behälterdruck von Druckluftmotor und Generator in elektrische Energie umgesetzt.

**[0009]** Statt eines mehrstufigen Druckluftmotors, wie z. B. bei 2012E09036DE verwendet, wird bei der Erfindung ein einstufiger Druckluftmotor vorgeschlagen, der aber neben einer hohen Verdichtung ggfs. mehrere Zylindern bzw. Kammern mit taktenden elektrischen Ventilen besitzt, die gemäß dem in Gebrauchsmuster 202012007415.6 beschriebenen Gerät elektronisch angesteuert werden.

**[0010]** Zur Lösung dieser Aufgabe weist die neue Einrichtung zur temporären Speicherung elektrischer Energie, insbesondere zum Zwischenspeichern von in einer Windkraft- oder Fotovoltaikanlage kleiner Größe bereitgestellter Energie, zur Erzielung einer geregelte Leistungsabgabe an ein zu versorgendes Netz die in Anspruch 1 angegebenen Merkmale auf. Die Aufgabe wird insbesondere durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 zum Laden und Entladen des Energiespeichers gelöst. In den abhängigen Ansprüchen sind vorteilhafte Weiterbildungen beschrieben.

**[0011]** Der Energiespeicher umfasst einen Behälter für Druckluft, die als Energiespeichermedium dient. Durch Zufuhr von Wärme zur Druckluft vor bzw. im Druckluftmotor wird der Wirkungsgrad der Einrichtung zur temporären Speicherung elektrischer Energie insbesondere im "hyperthermischen" Bereich des Gasexpansionsmotors wesentlich erhöht, wobei die Wärme im Unterschied zu DE 10 2009 030 146 A1, DE 10 2010 014 834 A1 und 2012E09036DE nicht aus einem Wärmespeicher, sondern von dem in privaten Haushalten überwiegend vorhandenen Wärmeerzeuger entnommen wird. "Hyperthermisch" bedeutet, dass die zugeführte Wärme die für die isotherme Expansion erforderliche Menge übersteigt. Die damit verbundenen geringeren Kosten der Anlage verbessern deutlich ihre Rentabilität, so dass derartige elektrische Energiespeicher vermehrt in dezentralen Energieversorgungseinrichtungen, insbesondere in Windkraft- oder Fotovoltaikanlagen kleiner Größe, Anwendung finden können. Dies führt in vorteilhafter Weise zu einer Verstärkung der von dezentralen Energieerzeugungseinrichtungen in Energieverteilungsnetze eingespeisten Energie und damit zu einer Verbesserung der Netzstabilisierung. Zudem werden dadurch die Anforderungen an die Kapazitäten der Leitungen des Energieverteilungsnetzes reduziert.

**[0012]** Ein weiterer Vorteil der Einrichtung zur temporären Speicherung elektrischer Energie ist ihre unbegrenzte Zyklusfestigkeit innerhalb der Lebensdauer der einzelnen Komponenten. Eine Zyklusbegrenzung verbunden mit einer Kapazitätsabnahme ähnlich derjenigen von bekannten Blei-Gel- oder Lithium-Ionen-Akkumulatoren besteht hier in vorteilhafter Weise nicht. Bei Verwendung von Komponenten hoher Lebensdauer zeichnet sich der neue Energiespeicher somit durch eine hohe Robustheit aus.

**[0013]** Ein weiterer Vorteil ist die bezüglich Umweltaspekten unkritische Recyclingfähigkeit der Komponenten an ihrem Lebensdauerende.

**[0014]** Insbesondere bei höheren Stückzahlen wird durch den Einsatz der neuen Speicher für elektrische Energie die Wirtschaftlichkeit von Windkraft- oder Fotovoltaikanlagen kleiner Größe verbessert und damit die Privatinitiative für die Inbetriebsetzung weiterer Anlagen und den weiteren Ausbau der Versorgung mit regenerativer Energie gefördert.

**[0015]** Zur weiteren Steigerung des Wirkungsgrads beim Entladevorgang kann in vorteilhafter Weise ein hocheffizienter Gleichstromgenerator eingesetzt werden, der vom Druckluftmotor angetrieben wird. Derartige Generatoren haben einen Wirkungsgrad von mehr als 90% und bieten sich insbesondere in Fotovoltaikanlagen an, in welchen ohnehin ein Wechselrichter den Gleichstrom für die Einspeisung in das Energieverteilungsnetz in Drehstrom umwandelt.

**[0016]** Anhand der Zeichnung, in der ein Ausführungsbeispiel der Erfindung dargestellt ist, werden im Folgenden die Erfindung sowie Ausgestaltungen und Vorteile näher erläutert.

**[0017]** In der Figur ist ein Blockschaltbild einer Fotovoltaikanlage zur dezentralen Erzeugung regenerativer Energie dargestellt, die mit einer Einrichtung zur temporären Speicherung elektrischer Energie versehen ist. Mit Hilfe von Solarzellen **1** wird die Lichtenergie von Sonnenlicht in elektrische Energie gewandelt, die durch einen Wechselrichter **2** in ein Versorgungsnetz **8** eingespeist wird. Wenn überschüssige Energie zur Verfügung steht, wobei es technisch unerheblich ist, ob die überschüssige Energie aus der Fotovoltaikanlage **1** oder aus dem Versorgungsnetz **8** kommt, wird ein Drehstrommotor **3** eingeschaltet, der als Antrieb für einen Verdichter **4** dient. Der Verdichter **4**, der häufig auch als Kompressor bezeichnet wird, saugt Luft **11** aus der Umgebung an, komprimiert diese unter Abgabe von Wärme und pumpt die erzeugte Druckluft in einen Behälter **5**. In Zeiten intensiver Sonneneinstrahlung, in denen mehr elektrische Energie durch die Solarzellen **1** erzeugt bzw. im Versorgungsnetz verfügbar ist als von Verbrauchern abgenommen wird, wird die überschüssige Energie auf diese Weise in dem Behälter **5** für Druckluft als Energiespeichermedium zwischengespeichert. Wenn zu anderen Zeiten mehr Energie aus dem Netz **8** entnommen werden soll, als die Solarzellen **1** über den Wechselrichter **2** bereitstellen können, erfolgt eine Entnahme von Energie aus dem Speicher **5** und eine Umwandlung zurück in elektrische Energie. Dazu dient ein einstufiger Gasexpansionsmotor **6**, der ggfs. mehrere Zylinder- oder Kammern besitzt und welchem Druckluft aus dem Behälter **5** zugeführt wird. Bei der Entspannung der Druckluft wird durch den Gasexpansi-

onsmotor **6** mechanische Energie erzeugt. Zur Verbesserung des Wirkungsgrads wird dem Gasexpansionsmotor **6** bzw. der Druckluft vor der Einspeisung Wärme zugeführt, im optimalen Fall bis dieser im "hyperthermischen" Bereich arbeitet. D. h. die zugeführte Wärme übersteigt die für die isotherme Expansion erforderliche Menge. An die Umgebung wird wieder vollständig entspannte Luft **12** abgegeben. Ein dem Motor **6** nachgeschalteter Gleichstromgenerator **7** wandelt die mechanische Energie schließlich in elektrische Energie um, welche über den Wechselrichter **2** in das Netz **8** eingespeist werden kann.

**[0018]** Zur Steuerung der einzelnen Komponenten des Druckluftspeichers wird ein Steuer- und Regelgerät **9** eingesetzt, welches je nach Situation, das heißt Über- oder Unterproduktion elektrischer Energie durch die Solarzellen **1** bzw. überschüssiger Energie im Verteilungsnetz, Lade- bzw. Entladevorgänge der Einrichtung zur temporären Speicherung elektrischer Energie veranlasst. Ein Rundsteuerempfänger **10** erlaubt dem Energieversorgungsunternehmen je nach Bedarf die Ladung oder Entladung des Speichers zu steuern.

**[0019]** Anhand eines Dimensionierungsbeispiels werden die mit der neuen Einrichtung zur temporären Speicherung elektrischer Energie erzielbaren Vorteile besonders deutlich. Der Energieinhalt von einem kg komprimierter Luft bei 200 bar beträgt bei isothermer Expansion ca. 113,8 Wh bzw. in einem Liter derart komprimierter Druckluft sind 29,4 Wh enthalten. Da die Druckluft einem Speicherbehälter entnommen wird, sinkt der Entladedruck mit der entnommenen Druckluftmenge. Dabei nimmt der entnehmbare Energieinhalt bei sinkendem Druck ab. Vereinfachend wird für den Druckbehälter ein mittlerer Entladedruck von 100 bar angenommen. Damit beträgt der mittlere entnehmbare Energieinhalt 99 Wh/kg bzw. 25,6 Wh/l. Für die angestrebte Speicherkapazität von 3 kWh ist also ein Behälter **5** mit ca. 118 Liter Inhalt erforderlich. Bei Druckluft mit 200 bar befinden sich in dem Behälter 30,3 kg Luft. Ein derartiger Behälter **5** ist zum Beispiel mit drei Stahlflaschen zu je 50 Liter Inhalt realisierbar, welche die Abmessungen 1700 mm·230 mm·700 mm aufweisen. Für diesen Druckluftspeicher mit einer Spitzenleistung von etwa 3 kW beträgt bei einer angenommenen Sonnenscheindauer von 4–6 Stunden die erforderliche saugseitige Luftleistung des Kompressors **4** etwa 65,6–98,3 Liter pro Minute bezogen auf Druckluft mit 1 bar.

**[0020]** Handelsübliche niedrig verdichtete einstufige Druckluftmotoren erreichen nur einen Wirkungsgrad von ca. 20%. Zur Verbesserung des Wirkungsgrads wird ein hochverdichteter einstufiger Gasexpansionsmotor **6** mit mehreren Zylindern-/Kammern eingesetzt, in welchem die Druckluft vor der Expansion mit Hilfe zugeführter Wärmeenergie bis in den "hyperthermischen" Bereich vorgewärmt wird. D. h.

die zugeführte Wärme übersteigt die für die isotherme Expansion erforderliche Menge. Diese wird zu geringen zusätzlichen Kosten aus dem in den meisten privaten Haushalten vorhandenen Wärmeerzeuger entnommen. Der Motor **6** treibt dann einen Gleichstromgenerator **7** zur Stromerzeugung mit einer Spitzenleistung von beispielsweise 3 kW an.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Fotovoltaik-Anlage
<b>2</b>	Dreiphasiger Wechselrichter
<b>3</b>	Dreiphasiger Elektromotor
<b>4</b>	Mehrstufiger Rotationskolben-Kompressor mit oberflächenvergrößernden Maßnahmen
<b>5</b>	Drucklufttank
<b>6</b>	Einstufiger Mehrzylinder-/Mehrkammer-Gasexpansionsmotor
<b>7</b>	Hocheffizienter Gleichstromgenerator
<b>8</b>	Niederspannungsnetz
<b>9</b>	Steuer-/Regelgerät
<b>10</b>	Rundsteuerempfänger (Option)
<b>11</b>	Angesaugte Luft
<b>12</b>	Ausgeblasene Luft

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 102009030146 A1 [[0004](#), [0007](#), [0008](#), [0011](#)]
- DE 102010014834 A1 [[0004](#), [0007](#), [0011](#)]

### Schutzansprüche

1. Einrichtung zur temporären Speicherung elektrischer Energie, insbesondere zum Zwischenspeichern von in einer Windkraft- oder Fotovoltaikanlage kleiner Größe bereitgestellter Energie um eine geregelte Leistungsabgabe an ein zu versorgendes Netz (8) zu erzielen,

– mit einem Behälter (5) für Druckluft als ein erstes Energiespeichermedium,

– mit einem ein speziell konstruierten, wassergekühlten und mehrstufigen Rotationskolbenkompressor mit hoher Effizienz (4), der anstelle der Brennraummulde eine oberflächenvergrößernde Struktur besitzt und durch einen dreiphasigen Drehstrom-Motor (3) angetrieben ist, zum Einspeisen von Druckluft in den Druckluftbehälter (5) beim Ladevorgang,

– mit Mitteln zur Schalldämmung des Verdichters,

– mit einem hochverdichteten Expansionsmotor (6) zur Entnahme von Druckluft aus dem Druckluftbehälter (5) und einem dem hochverdichteten Expansionsmotor (6) nachgeschalteten Generator (7) zur Erzeugung elektrischer Energie beim Entladevorgang und  
– mit Mitteln zur Übertragung von preisgünstiger thermischer Energie aus einem haushaltsüblichen Wärmeerzeuger auf die Druckluft vor oder bei deren Expansion.

– basierend auf einem Verfahren zum Laden und Entladen eines Energiespeichers, der insbesondere zum Zwischenspeichern von in einer Windkraft- oder Fotovoltaikanlage kleiner Größe bereitgestellter Energie dient, um eine geregelte Leistungsabgabe an ein zu versorgendes Netz (8) zu erzielen, wobei beim Ladevorgang durch einen elektrisch angetriebenen hocheffizienten Verdichter mit oberflächenvergrößernden Strukturen im Innern des Verdichtungsraumes (3, 4) Druckluft als Energiespeichermedium in einen Behälter (5) eingespeist und bei der Verdichtung in der Druckluft entstehende Wärmeenergie in die Umgebung abgegeben wird, und wobei bei einem Entladevorgang mit einem hochverdichteten Expansionsmotor (6) Druckluft aus dem Druckluftbehälter (5) entnommen und mit einem dem Expansionsmotor (6) nachgeschalteten Gleichstromgenerator (7) Energie erzeugt wird, wobei zusätzlich preisgünstige thermische Energie von einem haushaltsüblichen Wärmeerzeuger vor oder bei der Expansion auf die Druckluft übertragen wird, so dass der Expansionsmotor (6) im "hyperthermischen" Bereich arbeitet. D. h. die zugeführte Wärme übersteigt die für die isotherme Expansion erforderliche Menge.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Expansionsmotor (6) einstufig, hochverdichtet und mit mehreren Zylindern/Kammern, die jeweils eine elektronische Ventilsteuerung gemäß Gebrauchsmuster 202012007415.6 besitzen, ausgeführt ist.

3. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass dem Expansionsmotor (6), bzw. der Druckluft vor diesem, Wärme von einem haushaltsüblichen Wärmeerzeuger zugeführt wird, so dass der Expansionsmotor (6) im "hyperthermischen" Bereich arbeitet. D. h. die zugeführte Wärme übersteigt die für die isotherme Expansion erforderliche Menge.

4. Einrichtung nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass der elektrische Generator (7) ein hocheffizienter Gleichstromgenerator ist.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

