

(19)



(11)

EP 3 184 807 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
28.06.2017 Patentblatt 2017/26

(51) Int Cl.:
F03B 13/00 (2006.01) F03B 17/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **15003640.8**

(22) Anmeldetag: **22.12.2015**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
MA MD

(71) Anmelder: **Maier, Joseph**
88212 Ravensburg (DE)

(72) Erfinder: **Maier, Joseph**
88212 Ravensburg (DE)

(74) Vertreter: **Riegel, Werner**
ZF Friedrichshafen AG
Graf-von-Soden-Platz 1
88046 Friedrichshafen (DE)

(54) SYSTEM ZUR ENERGIESPEICHERUNG UND -RÜCKGEWINNUNG

(57) Die Erfindung betrifft ein System zur Energiespeicherung und -rückgewinnung umfassend mindestens einen Druckluftbehälter (1), mindestens einen mit dem Druckluftbehälter (1) in Verbindung stehenden Druckwasserbehälter (2), mindestens eine mit dem mindestens einen Druckwasserbehälter (2) in Wirkverbindung stehende Turbine (3, 3a), einen Generator (4) zur Erzeugung elektrischer Energie, eine Hochdruckpumpe (11) zur Förderung von Wasser aus einem Wasserspeicher (9) in den Druckwasserbehälter (2). Gemäß einem Aspekt der Erfindung ist die in Wirkverbindung mit dem mindestens einen Druckwasserbehälter (2) stehende Turbine (3) eine Überdruckturbine ist, welche mit einer Gleichdruckturbine (3a) derart in Reihe geschaltet ist, dass eine Antriebswelle (AW) der Überdruckturbine (3) mit einer Antriebswelle (AW) der Gleichdruckturbine (3a)

und einer Antriebswelle (AW) des Generators (4) verbunden ist und, dass die Gleichdruckturbine (3a) zwischen der Überdruckturbine (3) und dem Generator (4) angeordnet ist, wobei der Generator (4) eine Schnittstelle aufweist zur Verbindung mit einem öffentlichen Stromnetz (S). Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung ist die in Wirkverbindung mit dem mindestens einen Druckwasserbehälter (2) stehende Turbine (3a) eine Pelton-turbine ist, ist der Generator (4) eingerichtet zur Erzeugung von elektrischer Spannung, ist der Generator (4) an einen Frequenzumrichter (4a) angeschlossen, zur Erzeugung einer gleichbleibenden Spannung und Frequenz, und weist der Frequenzumrichter (4a) eine Schnittstelle zur Verbindung mit einem öffentlichen Stromnetz auf(S).

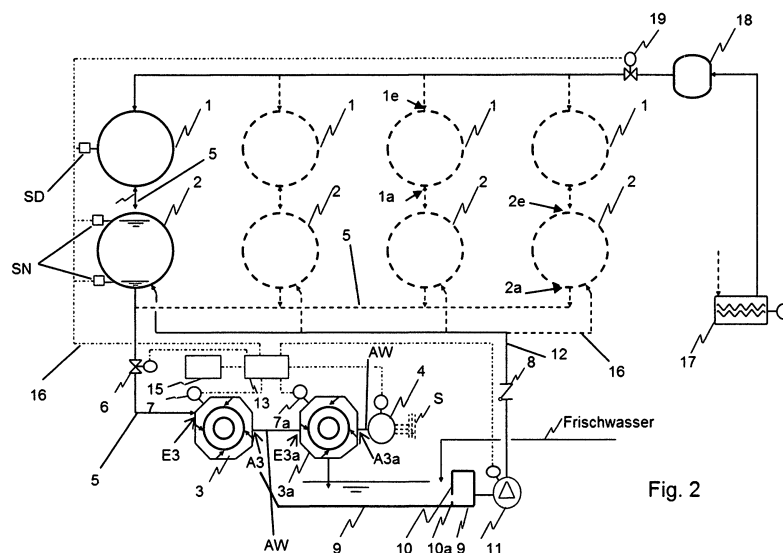


Fig. 2

EP 3 184 807 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein System zur Energiespeicherung und -rückgewinnung gemäß den Merkmalen der Patentansprüche 1 und 4.

[0002] Neue Entwicklungen im Bereich der alternativen Energien, insbesondere die der diskontinuierlichen Prozesse, wie Solarenergie oder Windenergie, haben zu der Situation geführt, dass einerseits Betriebszeiten gegeben sind, in denen die erzeugte Energie den vorliegenden Bedarf zum Teil erheblich übersteigt, andererseits solche, in denen es an der erforderlichen und abgefragten Energie völlig oder mindestens teilweise fehlt. Diese Schwankungen haben den Bedarf an geeigneten Speichermöglichkeiten für Überschussenergie akut werden lassen.

[0003] Damit richten sich die Entwicklungsbemühungen gezielt auf Vorgänge, in denen die elektrische Energie zunächst in einen anderen Energieträger umgewandelt und aus diesem wieder zurückgewonnen werden kann.

[0004] Eine dieser Vorgänge ist die Hydrolyse, bei der aus Wasser dessen Bestandteile Sauerstoff und Wasserstoff gewonnen werden. Wegen des schwierigen Umgangs mit chemisch aktivem Wasserstoff bieten sich diese Verfahren, die im Allgemeinen auch einen großen verfahrenstechnischen Aufwand erfordern, für die breite Verwendung zur elektrischen Energiespeicherung und Rückgewinnung nicht an.

[0005] Die Speicherung elektrischer Energie in elektrischer Form ist bisher nur in Akkumulatoren möglich, in denen ein Übergang von elektrischen zu chemischen Prozessen herbeigeführt wird. Es ist aber noch nicht gelungen, Geräte zu schaffen, in denen das Speichervolumen hoch und das Bauvolumen gering ist. Für die Speicherung großer Energiemengen oder dezentrale zahlreiche Anordnungen von Speichereinheiten bilden derartige Geräte daher noch keine geeignete Lösung.

[0006] Weitere Verfahren sind darauf gerichtet, die anfallende elektrische Energie zunächst zur Verrichtung von Arbeit einzusetzen, mit welcher Speicher gefüllt werden, und die Rückgewinnung ebenfalls über den Zwischenvorgang der Arbeitsverrichtung auszuführen. Solche Verfahren werden z.B. in Pumpspeicherkraftwerke, Talsperren, hydropneumatische Speicherkraftwerke, die in stillgelegten Kavernen oder Bergwerken untergebracht sind, eingesetzt. Die Speicherung erfolgt zum Teil mit Druckluft oder Erdgas oder in Kombination mit Wasser, das zur Kühlung in die Gase eingespritzt wird.

[0007] Die derzeit verfügbaren Energiespeicher reichen zur Speicherung der durch erneuerbare Energieerzeuger verursachten Schwankungen bei weitem nicht aus. Gleichzeitig reichen die klassischen Energiespeicher wie Pumpspeicherkraftwerk oder Talsperren nicht aus und sind aus umwelttechnischen Gründen nur schwer realisierbar.

[0008] Ein Verfahren, in dem Luft komprimiert und zur Rückgewinnung der Energie wieder in verdichteter oder

Druckluftmotoren eingesetzt wird, beschreibt die DE 27 17 679 A. Nachteilig für ein solches Verfahren ist die Tatsache, dass Luft als Energieträger für Arbeitsmaschinen einen verhältnismäßig niedrigen Wirkungsgrad hat und nur effektiv wirkt, wenn sie in hohen Mengen durchgesetzt werden kann, welche sich aber in den bei der Energiespeicherung gegebenen Bedingungen kaum erzeugen lassen.

[0009] Ein weiteres Verfahren zeigt die WO 2006/084748 A1. Dabei werden verformbare oder komprimierbare Teile in Wasserbehältern unter Druck gesetzt und verformt. Wird Energie benötigt, wird das Wasser entnommen, welches unter Druck steht und dadurch Geräte antreiben kann. Nachteilig bei dieser Gestaltung ist, dass der Druck an den verbrauchenden Geräten mit dem Wasserdruck im Speicher nicht linear sinkt und dass sich mit der Gestaltung ein sehr hoher Aufwand verbindet.

[0010] Ein weiteres Speicherverfahren zeigt die DE601 18 987 T2. Diese Methode ist für kleine Speicher wie z.B. an Fahrzeugen geeignet. Für Speicherkraftwerke die ein großes Speichervolumen benötigen ist das Verfahren nicht anwendbar.

[0011] Aus DE 102011082726 A1 sind Konstruktionen für Speicher bekannt. Für den Bau von Speicherkraftwerken sind diese Druckspeicher auf Grund der aufwändigen Konstruktion und dem geringen Speichervolumen nicht einsetzbar.

[0012] Aus DE 10 2013 112 196 A1 ist ein Druckluftspeicherkraftwerk bekannt. Druckluftspeicherkraftwerke haben auf Grund der physikalischen Gegebenheiten schlechte Wirkungsgrade. Die Komprimierung eines Gases wie z.B. Luft ist immer mit großen Wärmeentwicklungen verbunden. Bei der Entspannung entsteht dann wiederum Kälte die gespeichert oder zurückgewonnen werden muss. Die beschriebene Kombination zwischen Druckluftspeicher und Druckwasserspeicher zeigt einen praktikablen Weg auf. Bei dem beschriebenen Verfahren wird allerdings die Druckluft vor der erneuten Füllung des Wasserspeichers entspannt und erneut mit frischer Druckluft unter Druck gesetzt. Damit wird viel Energie zur Komprimierung der Druckluft bei einem schlechten Wirkungsgrad benötigt.

[0013] US 2012/0279209 A1 beschreibt eine unter Atmosphärenbedingungen arbeitenden Vorrichtung, ein Gas in einen druckfesten Behälter unter hohem Druck zu fördern und es daraus anschließend stufenweise auf Flüssigkeiten in geschlossenen hydraulischen Apparaten wirken zu lassen, bis es auf Atmosphärendruck entspannt ist. Nachteil ist in diesem Vorgang, dass zu einer nötigen steten Wiederholung wieder erheblicher Energieaufwand für die Komprimierung des Gases und den Betrieb der hydraulischen Geräte erforderlich ist.

[0014] Aus DE 102013018741 A1 ist ein System zur Energiespeicherung und -rückgewinnung bekannt, bei welchem überschüssige Energie in einem Stromnetz mittels Druckluft in einem Druckluftbehälter gespeichert wird. Die Energierückgewinnung erfolgt dadurch, dass

die Druckluft in einen Wasserbehälter geleitet wird, wodurch das Wasser durch eine Turbine geleitet wird und entspannt wird. Der von der Turbine angetriebene Generator erzeugt Strom, der einem Stromnetz zugeführt wird.

[0015] Aufgabe der Erfindung ist es, ein System zur Energiespeicherung und Energierückgewinnung anzugeben, welches mit einem hohen Wirkungsgrad auf effiziente Art und Weise überschüssige Energie in einem öffentlichen oder nichtöffentlichen Stromnetz speichert und bei Energiebedarf wieder an selbiges abgegeben werden kann.

[0016] Diese Aufgabe wird mit den Systemen gemäß den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche 1 und 4 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand von Unteransprüchen.

[0017] Eine erste Variante der Erfindung ist ein System zur Energiespeicherung und -rückgewinnung, insbesondere ein Kraftwerk umfassend mindestens einen Druckluftbehälter, mindestens einen mit dem Druckluftbehälter in Verbindung stehenden Druckwasserbehälter, mindestens eine mit dem mindestens einen Druckwasserbehälter in Wirkverbindung stehende Turbine, und einen Generator zur Erzeugung elektrischer Energie, eine Hochdruckpumpe zur Förderung von Wasser aus einem Wasserspeicher in den Druckwasserbehälter. Gemäß der Erfindung ist die in Wirkverbindung mit dem mindestens einen Druckwasserbehälter stehende Turbine eine Überdruckturbine, welche mit einer Gleichdruckturbine derart in Reihe geschaltet ist, dass eine Antriebswelle der Überdruckturbine mit einer Antriebswelle der Gleichdruckturbine und einer Antriebswelle des Generators verbunden ist. Die Gleichdruckturbine ist gemäß der Erfindung zwischen der Überdruckturbine und dem Generator angeordnet, wobei der Generator eine Schnittstelle aufweist zur Verbindung mit einem öffentlichen Stromnetz.

[0018] Unter dem Begriff Wirkverbindung wird im Weiteren verstanden, dass der Druckwasserbehälter direkt mit der Turbine verbunden ist.. Das bedeutet, dass das aus dem Druckwasserbehälter ausströmende Wasser direkt an die Turbine geführt wird und diese antreibt. Die in Wirkverbindung mit dem Druckwasserbehälter stehende Turbine wird somit eben nicht durch eine andere Turbine angetrieben. Mit anderen Worten, die Überdruckturbine steht in Wirkverbindung mit dem Druckwasserbehälter und wird von dem ausströmenden Wasser angetrieben. Die Gleichdruckturbine wird hingegen von dem aus der Überdruckturbine ausströmenden Wasser angetrieben.

[0019] Mit dem erfindungsgemäßen System wird ein Wirkungsgrad von mehr als 75%, insbesondere mehr als 85% erzielt. Diese Wirkungsgrade können insbesondere bei Leistungen von mehr als 80MW erreicht werden.

[0020] Da die Überdruckturbine, z.B. Francisturbine und die Gleichdruckturbine, z.B. Pelton-turbine über ihre Antriebswellen mit dem Generator verbunden sind, entsteht ein ständiger Ausgleich zwischen der Überdruckturbine und der Gleichdruckturbine in der Weise, dass

die durch die laufende Druckreduzierung abnehmende Leistung der Überdruckturbine durch die Gleichdruckturbine ausgeglichen wird. Somit kann die in den Druckbehältern gespeicherte Energie optimal vom Generator in elektrische Energie umgesetzt werden. Die Druckreduzierung am Eingang der Überdruckturbine ist dem sinkenden Druck in dem Druckwasserbehälter geschuldet, wenn zur Energieerzeugung Wasser aus dem Druckwasserbehälter entnommen wird.

[0021] Die Antriebswelle der Überdruckturbine und die Antriebswelle der Gleichdruckturbine können eine gemeinsame Welle bilden. Oder die Antriebswelle der Überdruckturbine und die Antriebswelle der Gleichdruckturbine können über eine drehsteife Kupplung miteinander verbunden sein. Oder die Antriebswelle der Überdruckturbine kann mit der Antriebswelle der Gleichdruckturbine über ein Getriebe verbunden sein. Es ist auch möglich, dass zwischen der Überdruckturbine und der Gleichdruckturbine eine automatische Kupplung zur Entkopplung der Überdruckturbine vorgesehen ist.

[0022] Zweckmäßig ist ein Auslass des mindestens einen Druckwasserbehälters mit einem Einlass der Überdruckturbine und ein Auslass der Überdruckturbine mit einem Einlass der Gleichdruckturbine verbunden. Damit ist sichergestellt, dass die in dem Druckwasser gespeicherte Energie in zwei Schritten gewonnen werden kann, nämlich in einem ersten Schritt, indem das Wasser durch die Überdruckturbine geleitet wird und in einem daran anschließenden Schritt, dass das Wasser nach Durchströmen der Überdruckturbine durch die Gleichdruckturbine geleitet wird.

[0023] Mittels des Leitwerks der Überdruckturbine kann der Auslaufdruck aus der Überdruckturbine derart geregelt werden, dass trotz veränderlichem Systemdruck im Druckwasserbehälter und damit veränderlichem Eingangsdruck der Überdruckturbine der Auslaufdruck aus der Überdruckturbine und damit der Einlaufdruck in die Gleichdruckturbine konstant gehalten werden kann. Die Leistung der Gleichdruckturbine kann über regelbare Einlaufdüsen (Leitwerk) an die geforderte Generatorleistung angepasst werden. Durch Regelung der Gleichdruckturbine mittels Einlaufdüsen (Leitwerk) wird das Wasservolumen an die erforderliche Leistung angepasst und somit die Leistung der Überdruckturbine durch Nachregelung über deren Leitwerk indirekt an die Gesamtleistung der Turbinenkombination angepasst. Zweckmäßig ist zwischen einem Auslass der Überdruckturbine und einem Einlass der Gleichdruckturbine eine Einrichtung zur Druckregelung des Vordrucks der Gleichdruckturbine angeordnet.

[0024] Die Überdruckturbine ist zweckmäßig für Eingangsdrucke zwischen 10 und 1000 bar, insbesondere zwischen 225 bar und 500 bar ausgelegt.

[0025] Eine zweite Variante der Erfindung geht von aus von einem System zur Energiespeicherung und -rückgewinnung umfassend mindestens einen Druckluftbehälter, mindestens einen mit dem Druckluftbehälter in Verbindung stehenden Druckwasserbehälter, mindestens

eine mit dem mindestens einen Druckwasserbehälter in Wirkverbindung stehende Turbine, einen Generator zur Erzeugung elektrischer Energie und eine Hochdruckpumpe zur Förderung von Wasser aus einem Wasserspeicher in den Druckwasserbehälter. Gemäß der Erfindung ist die in Wirkverbindung mit dem mindestens einen Druckwasserbehälter stehende Turbine eine Pelton-turbine, der Generator ist eingerichtet zur Erzeugung von elektrischer Spannung, der Generator ist an einen Frequenzumrichter angeschlossen zur Erzeugung einer gleichbleibenden Spannung und Frequenz. Der Frequenzumrichter weist eine Schnittstelle auf zur Verbindung mit einem öffentlichen Stromnetz.

[0026] Die erfindungsgemäße Kombination eines Generators und eines Frequenzumrichters stellt sicher, dass trotz der Drehzahlschwankungen der Pelton-turbine, hervorgerufen durch schwankende Einlaufdrücke, eine gleichbleibende Spannung und Frequenz erzeugt und an das öffentliche Stromnetz abgegeben werden kann. Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass die Pelton-turbine nicht als Gleichdruckturbine mit gleichbleibenden Einlaufdrücken sondern mit schwankenden Einlaufdrücken betrieben ist. Dies hat Drehzahlschwankungen zur Folge, welche wiederum Spannungsschwankungen und Frequenzschwankungen im Generator verursachen. Diese Spannungs- und Frequenzschwankungen werden erfindungsgemäß mittels eines Frequenzumrichters der auf den Generator abgestimmt ist, ausgeglichen. Somit steht trotz der Druckschwankungen eine gleichbleibende Spannung und Frequenz zur Verfügung.

[0027] Wie bereits oben erläutert, sind die schwankenden Drucke am Eingang der Pelton-turbine dem sinkenden Druck in dem Druckwasserbehälter geschuldet, wenn zur Energieerzeugung Wasser aus dem Druckwasserbehälter entnommen wird.

[0028] Mit dem erfindungsgemäßen System können Investitionskosten reduziert und ein Wirkungsgrad von bis zu 95 % erreicht werden.

[0029] Bei mehreren Druckwasserbehältern kann eine Verbindungsleitung vorhanden sein, welche die Auslassse der Druckwasserbehälter miteinander verbindet, wobei die Druckwasserbehälter derart zueinander angeordnet sind, dass die Verbindungsleitung ein Gefälle aufweist und an ihrem tiefsten Punkt (z.B. Sammler, Wasserschloss) mit dem Einlass der Turbine verbunden ist (z.B. Tauchrohr).

[0030] Zwischen einem Auslass eines Druckluftbehälters und einem Einlass eines Druckwasserbehälters kann genau eine Druckleitung vorhanden sein, welche ausgebildet ist, bei Energiespeicherung Druckluft vom Druckwasserbehälter zum Druckluftbehälter und bei Energierückgewinnung Druckluft vom Druckluftbehälter zum Druckwasserbehälter zu leiten. Die Leitung ist derart dimensioniert, dass bei Bersten eines Druckluftbehälters nur ein geringes Volumen ausströmen kann und somit nur ein geringer Nachschub an Druckluft nötig ist. In der Verbindungsleitung zwischen dem Druckluftbehälter und dem Druckwasserbehälter kann eine Absperrvorrichtung

angeordnet sein, welche eingerichtet ist bei einem plötzlichen Druckabfall die Verbindungsleitung zu schließen. Damit wird sichergestellt, dass beim Bersten eines Druckluftbehälters oder eines Druckwasserbehälters nicht die gesamte gespeicherte Druckluft entweichen kann.

[0031] Bei mehreren Druckluftbehältern kann eine Verbindungsleitung vorhanden sein, welche die Auslassse mehrerer Druckluftbehältern miteinander verbindet, wobei die mehreren Druckluftbehälter derart zueinander angeordnet sind, dass die Verbindungsleitung ein Gefälle aufweist und an ihrem tiefsten Punkt mit einem Einlass eines Druckwasserbehälters verbunden ist. Damit ist sichergestellt, dass in den Druckluftbehältern entstandenes Kondensat durch die Verbindungsleitung in den Druckwasserbehälter fließt. Hierbei ist es somit möglich, dass mehrere Druckluftbehälter einem einzelnen Druckwasserbehälter zugeordnet sind. Umfasst das System auch mehrere Druckwasserbehälter so ist hierbei sichergestellt, dass beim Bersten eines Druckluft- und/oder Druckwasserbehälters nicht das gesamte im System gespeicherte Druckvolumen entweichen kann. Mit anderen Worten, in dieser Ausführungsform umfasst das erfindungsgemäße System mehrere Gruppen von Druckbehältern, wobei jede Gruppe aus mehreren Druckluftbehältern und einem Druckwasserbehälter besteht. Bei der Fehlfunktion einer Gruppe kann das System durch Trennung der betroffenen Gruppen mittels Absperrschieber, weiterhin auf die anderen Gruppen zugreifen.

[0032] Der Druckluftbehälter und der Druckwasserbehälter sind derart miteinander verbunden, dass ein ständiger Druckausgleich zwischen den beiden Behältern stattfindet, so dass während der Energiespeicherung als auch während der Energiegewinnung der Druck in den beiden Behältern immer ausgeglichen ist, d.h. zwischen dem Druckwasserbehälter und dem Druckluftbehälter besteht ein Druckgleichgewicht. Dies bedeutet also, dass bei Energiespeicherung, d.h. Wasser wird in den Druckwasserbehälter eingeleitet, der Druck im Gesamtvolumen des Druckwasserbehälters einerseits stets ansteigt, andererseits der Druck im Gesamtvolumen des Druckwasserbehälters stets identisch ist zum Druck im Druckluftbehälter. Bei der Energierückgewinnung, d.h. Wasser wird aus dem Druckwasserbehälter hinausgeleitet, sinkt der Druck im Gesamtvolumen des Druckwasserbehälters einerseits stets ab, andererseits ist der Druck im Gesamtvolumen des Druckwasserbehälters stets identisch zu dem Druck im Druckluftbehälter. Insbesondere ist ein Druckluftbehälter und ein Druckwasserbehälter über genau eine Druckleitung verbunden, welche ausgebildet ist, bei Energiespeicherung Druckluft vom Druckwasserbehälter zum Druckluftbehälter und bei Energierückgewinnung Druckluft vom Druckluftbehälter zum Druckwasserbehälter zu leiten. Diese Druckleitung dient bei der Energierückgewinnung dazu, dass Druckluft aus dem Druckluftbehälter ohne Druckverlust in den Druckwasserbehälter strömen kann. Bei der Energiespeicherung dient diese Druckleitung dazu, dass Druck-

luft aus dem Druckwasserbehälter ohne Druckverlust in den Druckluftbehälter strömen kann. Damit wird ein einfacher Aufbau sichergestellt.

[0033] Zwischen dem Druckluftbehälter und dem Druckwasserbehälter kann, insbesondere in der Verbindungsleitung zwischen dem Druckluftbehälter und dem Druckwasserbehälter eine Druckluftturbine angeordnet sein. Dadurch kann zusätzliche Energie beim Durchströmen von Druckluft durch die Verbindungsleitung gewonnen werden, wodurch der Wirkungsgrad des erfindungsgemäßen Systems verbessert und gesteigert werden kann

[0034] Aus dem bekannten Stand der Technik ist es nicht bekannt, dass während des Betriebs der Energiespeicherung bzw. -rückgewinnung ein Druckgleichgewicht zwischen Druckluftbehälter und Druckwasserbehälter vorhanden ist.

[0035] Im Weiteren sei klargestellt, dass die vorgeschlagenen Systeme der Energiespeicherung als auch der Energierückgewinnung dienen. Selbstverständlich weisen die vorgeschlagenen Systeme hierfür jeweils einen Betriebszustand auf, nämlich einen ersten Zustand für die Energiespeicherung und einen zweiten Zustand für die Energierückgewinnung.

[0036] Bei der Energiespeicherung wird, wie später noch beschrieben wird, Wasser über eine Hochdruckpumpe aus einem Wasserspeicher in den Druckwasserbehälter gepumpt, wobei die Hochdruckpumpe mittels überschüssiger Energie aus einem öffentlichen oder nichtöffentlichen Stromnetz betrieben wird. Durch die anwachsende Wassermenge im Druckwasserbehälter wird die restliche Druckluft im Druckwasserbehälter in den angeschlossenen Druckluftbehälter verdrängt unter gleichzeitiger Druckerhöhung aufgrund des konstanten Volumens der Behälter. Aufgrund des Druckausgleichs zwischen Druckwasserbehälter und Druckluftbehälter herrscht in beiden Behältern stets identischer Druck. Dieser Druck steigt bei zunehmender Wassermenge im Druckwasserbehälter kontinuierlich bis zu einem vorgebbaren Maximalwert an.

[0037] Bei der Energierückgewinnung wird Wasser aus dem Druckwasserbehälter der Peltonturbine oder der Überdruckturbine und der mit dieser verbundenen Gleichdruckturbine zugeführt. Ein Generator, der an der Antriebswelle der Peltonturbine oder an der gemeinsamen Antriebswelle der Überdruckturbine und Gleichdruckturbine angeschlossen ist erzeugt Energie, welcher einem angeschlossenen öffentlichen oder nichtöffentlichen Stromnetz zugeführt wird. Durch die abnehmende Wassermenge bei konstantem Volumen der Behälter sinkt der Druck in dem Druckwasserbehälter. Aufgrund des Druckausgleichs zwischen Druckwasserbehälter und Druckluftbehälter herrscht in beiden Behältern zu jedem Zeitpunkt identischer Druck. Dieser Druck sinkt bei abnehmender Wassermenge im Druckwasserbehälter und im Druckluftbehälter kontinuierlich bis zu einem vorgebbaren Minimalwert ab.

[0038] Das vorgeschlagene System arbeitet mit Be-

triebsdrücken bis 500 bar. Bei entsprechender Auslegung der Druckbehälter (Druckwasserbehälter, Druckluftbehälter) sind sogar Drücke bis 1000 bar möglich. Dadurch wird eine hohe Energiedichte erzielt, die auf kleinstem Raum gespeichert werden kann. Auf diese Weise sind z.B. Leistungen zwischen 2 und 450 MW möglich. Durch Erweiterung, d.h. Vergrößerung der Druckluftbehälter und Druckwasserbehälter können beliebige Energiemengen wesentlich kostengünstiger als bei bisher bekannten Speichersystemen gespeichert werden. So ist es z.B. möglich, dass das Volumenverhältnis zwischen Druckwasserbehälter und Druckluftbehälter 1:1, 1:2, 1:3 oder 1:4 und mehr beträgt.

[0039] Das vorgeschlagene System arbeitet im Wesentlichen mit umlaufendem Wasser, das durch die Peltonturbine oder durch die serielle Anordnung der Überdruckturbine und Gleichdruckturbine entspannt und mit Hilfe von Hochdruckpumpen in den Druckwasserbehälter zurückgepumpt wird. Das System arbeitet mit einer geringen Menge an Ergänzungsluft. Ergänzungsluft kann aufgrund von Leckagen im Drucksystem nötig werden und bei Bedarf in die jeweiligen Behälter nachgefüllt werden. Die benötigte Menge wird während des Betriebes des vorgeschlagenen Systems über die Steuereinheit ermittelt und über einen Druckluftspeicher zugeführt.

[0040] Es kann eine Vergleichseinrichtung vorgesehen sein zum Vergleichen des momentanen Drucks im Druckwasserbehälter und/oder des momentanen Drucks im Druckluftbehälter und der momentanen Wassermenge im Druckwasserbehälter mit einem Solldruckwert. Die Vergleichseinrichtung ist derart ausgebildet, dass in Abhängigkeit vom Ergebnis des Vergleichs dem Druckluftbehälter Druckluft aus einem Druckluftspeicher (Windkessel) zugeführt wird. Die durch Leckage entwichene Luft wird somit durch Ergänzungsluft ausgeglichen. Insbesondere ist der Druckluftspeicher mit einem Kompressor verbunden zur Förderung von Außenluft in den Druckluftspeicher. Mit anderen Worten, der Druckluftbehälter wird ausschließlich über einen vorgelagerten Druckluftspeicher, welcher durch einen Kompressor befüllbar ist, mit Druckluft befüllt.

[0041] Mit Hilfe des Kompressors wird der Druck einmalig im Druckluftbehälter und Druckwasserbehälter vor Inbetriebnahme des Speicherkraftwerks je nach Auslegung auf einen Druck von 50, 100, 200 oder bis zu 1000 bar komprimiert. Nach Inbetriebnahme des Systems, d.h. während der Betriebsphase, in welcher das System als Kraftwerk zur Energiespeicherung und Energierückgewinnung genutzt wird, dient der Kompressor ausschließlich der Zuleitung von Druckluft in einen Druckluftspeicher, welcher dem Druckluftbehälter vorgeschaltet ist und nur dem Ersatz von Leckluft dient. Das Speicherkraftwerk kann somit bei Drücken von 50, 100, 200 oder bis zu 1000 bar betrieben werden.

[0042] Es kann eine Steuereinheit vorhanden sein, welche ausgebildet ist, in Abhängigkeit der Auslastung eines mit dem System verbundenen oder verbindbaren öffentlichen oder nicht öffentlichen Stromnetzes, die

Hochdruckpumpe mittels Strom aus dem öffentlichen Stromnetz anzusteuern, um Wasser aus einem Wasserspeicher in den Druckwasserbehälter zu pumpen, wenn im öffentlichen Stromnetz ein Energieüberschuss vorhanden ist. Druckwasser wird aus dem Druckwasserbehälter zur Turbine geleitet und der in dem an die Turbine angeschlossenen Generator erzeugte Strom dem öffentlichen Stromnetz zugeführt, wenn im öffentlichen Stromnetz ein Energiebedarf besteht. Mit dem vorgeschlagenen System kann so mit kurzen Reaktionszeiten entweder überschüssige Energie gespeichert oder gespeicherte Energie zur Verfügung gestellt werden.

[0043] Die Energiespeicherung erfolgt ausnahmslos durch Rückführung des Kreislaufwassers mit Hochdruckpumpen in die Druckwasserbehälter. Dieser Vorgang erfolgt nur mit überschüssiger Energie aus dem öffentlichen Stromnetz. Die erforderliche Druckluft wird ebenfalls nur mit überschüssiger Energie aus dem öffentlichen Stromnetz erzeugt. Das erfindungsgemäße System kann in ca. 65 sec. von 0 auf 100 % hochgefahren werden. Lastwechsel erfolgen im Sekundenbereich. Die Hochdruckpumpen können so ausgelegt sein, dass sie ca. 25 sec. aus dem Stillsand auf 100 % Leistung gefahren werden können. Das Volumen der Druckluftbehälter und der Druckwasserbehälter kann so ausgelegt sein, dass das erfindungsgemäße System über eine Dauer von bis zu 4 h die volle Auslegungsleistung liefern kann.

[0044] Diesbezüglich ist vorgeschlagen, dass die Steuereinheit ausgebildet ist, für den Fall der Energierückgewinnung die von der Überdruckturbine und/oder der Gleichdruckturbine erzeugte Leistung durch Öffnung oder Schließen von mit der Überdruckturbine und/oder der Gleichdruckturbine verbundenen Leitwerke (Vlaserreinlaufdüsen) zu regeln.

[0045] Vorteil der vorgeschlagenen Systeme ist, dass es nur einen geringen Flächenbedarf in Anspruch nimmt und an jeder beliebigen Stelle in der Nähe von Hochspannungsleitungen, Windparks, Solaranlagen oder Großverbrauchern aufstellbar ist. Ferner benötigt das vorgeschlagene System keine zusätzlichen Ressourcen. Aus Gründen der Sicherheit sei hier angemerkt, dass das erfindungsgemäße Speichersystem, insbesondere die Druckbehälter, zweckmäßig unterirdisch verbaut ist. Insbesondere kann das erfindungsgemäße System auf flachem oder abfallendem Gelände, auf kleinstem Raum aufgebaut werden. Nach Einlassen der Druckluft- und Druckwasserbehälter in die Erde werden diese abgedeckt und als Grünfläche oder Ackerland wieder genutzt. Somit wird die Umwelt minimal belastet und Ressourcen gegenüber üblichen Systemen erheblich geschont. Durch Unterbringung des Wasserspeichers zur Aufnahme des aus dem Turbinensystem entspannten Wassers unter dem Gebäude zur Aufnahme der Turbinen wird auch dafür keine zusätzliche Fläche benötigt. Gleichzeitig wird das System vor Verunreinigungen geschützt.

[0046] Die Erfindung sowie weitere Vorteile der Erfindung werden im Weiteren anhand von Figuren näher er-

läutert. Es zeigen

Fig. 1 die Anordnung einer Überdruckturbine und einer Gleichdruckturbine in einem erfindungsgemäßen System zur Energiespeicherung- und rückgewinnung,

Fig. 2 ein erfindungsgemäßes System zur Energiespeicherung- und rückgewinnung mit einer Kombination aus Überdruckturbine und Gleichdruckturbine und beispielhaft vier Druckluftbehältern und vier Druckwasserbehältern,

Fig. 3 ein erfindungsgemäßes System zur Energiespeicherung- und rückgewinnung, mit beispielhaft zwei Gruppen bestehend jeweils aus zwei Druckluftbehältern und einem Druckwasserbehälter

Fig. 4 ein erfindungsgemäßes System zur Energiespeicherung- und rückgewinnung mit Pelton-turbine und Frequenzumrichter.

[0047] Fig. 1 zeigt die erfindungsgemäße Anordnung einer Überdruckturbine 3 und einer Gleichdruckturbine 3a in einem erfindungsgemäßen System zur Energiespeicherung- und rückgewinnung. Fig.1 zeigt der Einfachheit halber und zur besseren Darstellung nicht die weiteren Komponenten des erfindungsgemäßen Systems zur Energiespeicherung- und rückgewinnung. Es wird auf die Fig. 2 und 3 verwiesen.

[0048] Die Überdruckturbine 3, z.B., eine Francis-Turbine weist einen Einlass E3 und einen Auslass A3 auf. Der Einlass E3 ist über eine Druckleitung 5 mit dem/den nicht dargestellten Druckwasserbehältern verbunden. Der Auslass A3 der Überdruckturbine 3 ist mit dem Einlass einer Gleichdruckturbine 3a, z.B. einer Pelton-turbine verbunden. Der Auslass (nicht dargestellt) der Gleichdruckturbine 3a ist mit einem Wasserspeicher zur Bevorratung und Auffangen des Wassers verbunden.

[0049] Die Antriebswelle AW der Überdruckturbine 3 ist mit der Antriebswelle AW der Gleichdruckturbine 3a verbunden. An der Antriebswelle AW ist ferner ein Generator 4 zur Erzeugung von elektrischer Energie angeschlossen. Die Antriebswelle AW ist im Wesentlichen zentrisch durch die Gleichdruckturbine 3a geführt. Insbesondere handelt es sich bei der Antriebswelle AW um eine einstückige Antriebswelle AW.

[0050] Mit Pfeilen ist die Fließrichtung des Wassers durch die Druckleitung 5 zu dem Einlass E3 der Überdruckturbine 3, zwischen der Überdruckturbine 3 und der Gleichdruckturbine 3a gezeigt.

[0051] Fig. 2 zeigt ein erfindungsgemäßes System zur Energiespeicherung- und rückgewinnung mit einer Kombination aus Überdruckturbine und Gleichdruckturbine und beispielhaft vier Druckluftbehältern 1 und vier Druckwasserbehältern 2. Jeder Druckbehälter 1, 2 ist zweckmäßig als einwandiger Behälter ausgeführt. Jeder Be-

hälter 1, 2 kann ein Volumen von bis zu 300000 m³ aufweisen und für einen Druck von bis zu 1000 bar ausgelegt sein.

[0052] Jeder Druckluftbehälter 1 weist einen Einlass 1e für Druckluft und einen Auslass 1a für Druckluft auf. Der Einlass 1e eines Druckluftbehälters 1 steht in Verbindung mit einem Druckluftspeicher 18, welcher auch die Funktion eines Druckluftausgleichsbehälter übernimmt. Dieser Druckluftspeicher 18 ist mit einem Kompressor 17 verbunden, welcher komprimierte Außenluft dem Druckluftspeicher 18 zuführen kann. Die Stromversorgung des Kompressors 17 erfolgt durch ein an das System angeschlossenes oder anschließbares Stromnetz S. Das Nachfüllen von Druckluft aus dem Druckluftspeicher 18 in einen Druckluftbehälter 1 erfolgt, wie weiter unten erläutert, nach Bedarfsermittlung durch eine Steuer- und Vergleichseinheit 13.

[0053] Die Steuer- und Vergleichseinheit 13 ist über eine Datenleitung 16 mit einem Regelventil 19 verbunden. Dieses Regelventil 19 ist zwischen dem Druckluftspeicher 18 und dem Druckluftbehälter 1, insbesondere zwischen dem Ausgang des Druckluftspeicher 18 und dem Eingang 1e eines Druckluftbehälters 1, angeordnet. Fig. 2 zeigt ein einzelnes Regelventil 19, welches vor den Eingängen 1e der vier Druckluftbehälter 1 angeordnet ist. Selbstverständlich ist es auch möglich, dass zur individuellen Ansteuerung eines jeden Druckluftbehälters 1 jeweils ein Regelventil 19 am Eingang 1e eines Druckluftbehälters 1 angeordnet ist. Damit ist sichergestellt, dass während des Betriebs des Systems der Druck in dem System konstant gehalten werden kann, z.B. bei 500bar. Mittels der Steuer- und Vergleichseinheit 13 kann, wie weiter unten erläutert, ausgehend von der im Druckwasserbehälter 2 mittels der Sensoren SN ermittelten Wassermenge und dem zur Verfügung stehenden Volumen im Druckluftbehälter 1 und im Druckwasserbehälter 2 die für einen vorgegebenen Druck, z.B. 500bar, benötigte Menge an Druckluft ermittelt werden, welche gegebenenfalls aus dem Druckluftspeicher 18 über das Regelventil 19 in den Druckluftbehälter 1 nachgefüllt werden muss. Mittels des Sensors SD wird der Druck in einem Druckluftbehälter 1 gemessen. Die Sensoren SD, SN sind somit entsprechend über Datenleitungen 16 mit dem Regelventil 19 und der Steuer- und Vergleichseinheit 13 verbunden.

[0054] Der Auslass 1a des Druckluftbehälters 1 ist über eine Druckleitung 5 mit dem Einlass 2e eines Druckwasserbehälters 2 verbunden. Nicht dargestellt sind Absperrventile welche zwischen dem Druckluftbehälter 1 und dem Druckwasserbehälter 2 angeordnet sind. Ferner sind nicht dargestellt Druckluftturbinen, welche zwischen dem Auslass 1a des Druckluftbehälters 1 und dem Einlass des Druckwasserbehälters 2 angeordnet sind.

[0055] Der Ausgang 2a eines Druckwasserbehälters 2 ist über ein Absperrventil 6 und eine Druckleitung 5 mit dem Einlass E3 der Überdruckturbine 3 verbunden. Bezüglich der Anordnung der Überdruckturbine 3 und der Gleichdruckturbine 3a wird hier auf die Erläuterungen zu

Fig. 1 verwiesen. Die Ausgänge 2a der Druckwasserbehälter 2 befinden sich jeweils an der tiefsten Stelle der Druckwasserbehälter 2. Ferner sind die Ausgänge 2a der Druckwasserbehälter 2 über eine gemeinsame Druckleitung 5 miteinander verbunden. Diese Druckleitung 5 weist ein Gefälle in Richtung der Turbinenanordnung 3, 3a auf.

[0056] Die Überdruckturbine 3 und die Gleichdruckturbine 3a weisen jeweils ein regelbares Leitwerk 7, 7a auf, über welches der Auslaufdruck von der Überdruckturbine 3 in die Gleichdruckturbine 3a und die Zulaufmenge in die Überdruckturbine 3a und die Gleichdruckturbine 3 reguliert werden kann. Dadurch kann die Ausgangsleistung der Turbinenanordnung 3, 3a geregelt werden. Hierzu sind die Einlaufleitwerke 7, 7a über eine Datenleitung 16 mit der Steuer- und Vergleichseinheit 13 verbunden. Die Überdruckturbine 3a und die Gleichdruckturbine 3 sind über eine gemeinsame Antriebswelle AW mit einem Generator 4 zur Energieerzeugung verbunden. Dieser Generator 4 ist an ein Stromnetz S angeschlossen oder mit einem Stromnetz S verbindbar.

[0057] Die Anordnung aus Überdruckturbine 3 und Gleichdruckturbine 3a ist derart ausgebildet, dass das im Falle der Energierückgewinnung durch die Anordnung aus Überdruckturbine 3 und Gleichdruckturbine 3a geleitete Wasser aus dem Druckwasserbehälter 1 in einen Wasserspeicher 9 entspannt wird.

[0058] Der Wasserspeicher 9 weist eine Vorkammer 10 auf zur Entnahme des Wassers im Falle der Energiespeicherung. Diese Vorkammer 10 weist eine Öffnung 10a auf, welche derart ausgeführt ist, dass die untere Begrenzung dieser Einlauföffnung 10a oberhalb des Bodens der Vorkammer 10 angeordnet ist. Die obere Begrenzung der Öffnung 10a ist unterhalb des Wasserspiegels (nicht dargestellt) im Wasserspeicher 9 angeordnet. Durch die Begrenzung wird verhindert, dass Schwere- teile im Wasser in die Vorkammer 10 gelangen. Durch Eintauchen der oberen Kante unter den minimalen Wasserspiegel wird verhindert, dass lufthaltiges Wasser in die Vorkammer gelangt, was zu Störungen der Hochdruckpumpe 11 und Verunreinigungen im Druckwasserbehälter 2 führen kann. Die Verunreinigungen können zu Störungen in den Turbinen 3, 3a führen. Ferner wird verhindert, dass der durch die Wasserentspannung von der Gleichdruckturbine 3 erzeugte Schaum durch Mikrob- bläschen im Wasser, in die Vorkammer 10 und zur Hochdruckpumpe 11 gelangt.

[0059] An die Vorkammer 10 ist eine Hochdruckpumpe 11 angeschlossen. Die Hochdruckpumpe 12 fördert über eine Verbindungsleitung 12 Wasser aus der Vorkammer 10 in die Druckwasserbehälter 2. Die Stromversorgung der Hochdruckpumpe 11 erfolgt dazu aus dem angeschlossenen oder anschließbaren Stromnetz S. Darüber hinaus ist in der Verbindungsleitung 12 zwischen Hochdruckpumpe 11 und Druckwasserbehälter 2 ein Rückschlagventil 8 vorgesehen. Dieses Rückschlagventil 8 dient dazu, dass der während der Energiespeicherung aufgebaute Druck im Druckwasserbehälter 2 keine

Rückkopplung auf die Hochdruckpumpe 11 bewirkt. Selbstverständlich kann der Druckwasserbehälter 2 am Zugang 2a der Verbindungsleitung 12 in den Druckwasserbehälter 2 ein Absperrventil (nicht dargestellt) aufweisen.

[0060] Das System weist eine Steuer- und Vergleichseinheit 13 auf. Diese Steuer- und Vergleichseinheit 13 ist über eine Datenleitung 16 mit Drucksensoren SD im Druckluftbehälter 1 sowie mit Füllstandssensoren SN im Druckwasserbehälter 2 verbunden. Die Steuer- und Vergleichseinheit 13 umfasst eine Vergleichseinrichtung zum Vergleichen des momentanen Drucks im Druckwasserbehälter 2 bzw. des momentanen Drucks im Druckluftbehälter 1 und der momentanen Wassermenge im Druckwasserbehälter 2 mit einem Solldruckwert. Die Steuer- und Vergleichseinheit 13 ist derart eingerichtet, dass in Abhängigkeit vom Ergebnis des Vergleichs dem Druckluftbehälter 1 Druckluft aus dem Druckluftspeicher 18 über ein Regelventil 19 zugeführt wird.

[0061] Die Steuer- und Vergleichseinheit 13 ist mit einer Datenleitung 16 mit einem Netzrechner 15 eines angeschlossenen oder anschließbaren öffentlichen oder nicht öffentlichen Stromnetzes S verbunden. Über den Netzrechner 15 wird eine Anforderung an die Steuer- und Vergleichseinheit 13 gestellt, ob das System zur Energiegewinnung oder zur Energiespeicherung genutzt werden soll oder kann.

[0062] Hierzu ist die Steuer- und Vergleichseinheit 13 über eine Datenleitung 16 mit den regelbaren Einlaufleitungen 7, 7a der Turbinen 3, 3a verbunden. Damit ist es möglich, die vom Netzrechner 15 des öffentlichen Stromnetzes angeforderte Leistung an den Turbinen 3, 3a einzustellen. Ferner ist die Steuer- und Vergleichseinheit 13 über eine Datenleitung 16 mit dem Absperrventil 6 verbunden. Damit wird sichergestellt, dass nur im Falle der Energierückgewinnung das Absperrventil 6 geöffnet wird und eine Verbindung zwischen Druckwasserbehälter 2 und Turbinen 3, 3a hergestellt ist.

[0063] Ferner ist die Steuer- und Vergleichseinheit 13 über eine Datenleitung 16 mit einem Steuergerät (nicht dargestellt) der Hochdruckpumpe 11 verbunden. Damit ist es möglich, die aus dem Stromnetz S dem System zur Verfügung gestellte überschüssige Energie bei Bedarf in Förderung von Wasser in den Druckwasserbehälter 2 umzusetzen.

[0064] Fig. 3 zeigt ein erfindungsgemäßes System zur Energiespeicherung- und rückgewinnung, mit in Gruppen angeordneten Druckluft- und Druckwasserbehältern. Fig. 3 zeigt beispielhaft zwei Gruppen bestehend jeweils aus zwei Druckluftbehältern und einem Druckwasserbehälter.

[0065] Um Wiederholungen zu vermeiden, wird auf die Beschreibung der Fig. 1 und 2 verwiesen. Bei dem in Fig. 3 dargestellten System sind im Unterschied zu Fig. 2 zwei Druckluftbehältern 1 mit einem Druckwasserbehälter 2 verbunden. Die Ausgänge 1a der beiden Druckluftbehälter 1 sind über eine Druckleitung 5 mit dem Eingang 2e eines Druckwasserbehälters 2 verbunden. Somit bil-

den zwei Druckluftbehälter 1 und ein Druckwasserbehälter 2 eine Gruppe (Speichergruppe). Selbstverständlich können auch mehrere Druckluftbehälter bzw. mehrere Druckwasserbehälter in einer Gruppe miteinander verbunden sein. Nicht dargestellt sind Absperrventile welche zwischen dem Eingang 2e eines Druckwasserbehälters 2 und einem Ausgang 1a eines Druckluftbehälters 1 innerhalb einer Gruppe vorhanden sind.

[0066] Die Druckwasserbehälter 2 der Gruppen sind an den Ausgängen 2a mit der Überdruckturbine 3 (siehe Erläuterungen zu Fig. 1) verbunden. Hierbei sind die Ausgänge 2a der Druckwasserbehälter über eine Druckleitung 5 miteinander verbunden, wobei die Druckleitung 5 in Richtung des Sammlers ein Gefälle aufweist.

[0067] Bei den in Fig. 2 und Fig. 3 dargestellten Systemen wird das erforderliche Wasser vor Inbetriebnahme des Systems in die Druckwasserbehälter 2 gefüllt. Zweckmäßig erfolgt die erstmalige Befüllung des Druckwasserbehälters 2 nachdem der bzw. die Druckluftbehälter 1 mit Druckluft gefüllt sind. Der erforderliche Druck im Druckluftbehälter 1 bzw. Druckwasserbehälter 2 wird mit Hilfe des Kompressors 17 erzeugt und durch den Druckluftspeicher 18 in den bzw. die Druckluftbehälter 1 gefüllt. Je nach gefordertem Betriebsdruck wird der Druck in dem Druckluftbehälter 1 und damit in dem Druckwasserbehälter 2 auf 10, 50, 100, 200 oder 1000 bar erhöht.

[0068] Durch Anforderung von Energie durch den Netzrechner des Stromnetzes S wird über die Steuer- und Vergleichseinheit 13 das Absperrventil 6 zwischen Druckwasserbehälter 2 und den Turbinen 3, 3a geöffnet und somit das unter Druck stehende Wasser im Druckwasserbehälter 2 der Überdruckturbine 3 und der mit dieser gekoppelten Gleichdruckturbine 3a zugeführt. Die Menge des in die Überdruckturbine 3 strömenden Wassers wird über die Steuer- und Vergleichseinheit 13 geregelt. Dadurch wird die von Überdruckturbine 3 und Gleichdruckturbine 3a erzeugte Leistung geregelt. Der an die Überdruckturbine 3 und Gleichdruckturbine 3a gekoppelte Generator 4 erzeugt die vom Netzrechner 15 des Stromnetzes S angeforderte Energiemenge und speist diese in das Stromnetz S ein.

[0069] Es ist somit möglich, dass die Steuer- und Vergleichseinheit 13 die Energierückgewinnung und die Energiespeicherung im System regelt. Die Steuer- und Vergleichseinheit 13 erhält über entsprechende Datenleitungen 16 vom Netzrechner 15 des Stromnetzes S Vorgaben bezüglich der jeweiligen Betriebsphase, d.h. ob sich das System in der Betriebsphase der Energierückgewinnung oder der Energiespeicherung befindet.

[0070] Fig. 4 zeigt ein erfindungsgemäßes System zur Energiespeicherung- und rückgewinnung mit Pelton-turbine und Frequenzumrichter. Fig. 4 unterscheidet sich von dem in Fig. 3 beschriebenen System lediglich in der Anordnung der an den Druckwasserbehälter 2 angeschlossenen Turbine. In Fig. 4 ist an den Druckwasserbehälter 2 eine Pelton-turbine 3a angeschlossen. Mit der Antriebswelle AW der Pelton-turbine 3a ist ein Generator

4 und ein Frequenzumrichter 4a verbunden. Der Generator 4 ist hierbei zwischen Peltonturbine 3a und Frequenzumrichter 4a geschaltet. Der Frequenzumrichter 4a ist mit dem öffentlichen Stromnetz S verbunden.

Bezugszeichenliste

[0071]

1	Druckluftbehälter
1e	Eingang
1a	Ausgang
2	Druckwasserbehälter
2e	Eingang
2a	Ausgang
3	Überdruckturbine
3a	Gleichdruckturbine
E3	Eingang Überdruckturbine
A3	Ausgang Überdruckturbine
E3a	Eingang Gleichlauf-turbine
A3a	Ausgang Gleichlauf-turbine
AW	Antriebswelle
4	Generator
4a	Frequenzumrichter
5	Druckleitung/Verbindungsleitung
6	Absperrventil
7	Wassereinlaufleitwerk
7a	Wassereinlaufleitwerk
8	Rückschlagventil
9	Wasserspeicher
10	Vorkammer
10a	Öffnung
11	Hochdruckwasserpumpe
12	Verbindungsleitung
13	Steuer- und Vergleichseinheit
15	Netzrechner
16	Datenleitung
17	Kompressor
18	Druckluftspeicher
19	Absperrventil
S	Stromnetz
SN	Sensor Niveau
SD	Drucksensor

Patentansprüche

1. System zur Energiespeicherung und -rückgewinnung umfassend mindestens einen Druckluftbehälter (1),
mindestens einen mit dem Druckluftbehälter (1) in Verbindung stehenden Druckwasserbehälter (2),
mindestens eine mit dem mindestens einen Druckwasserbehälter (2) in Wirkverbindung stehende Turbine (3),
einen Generator (4) zur Erzeugung elektrischer Energie,
eine Hochdruckpumpe (11) zur Förderung von Was-

ser aus einem Wasserspeicher (9) in den Druckwasserbehälter (2),

dadurch gekennzeichnet, dass

die in Wirkverbindung mit dem mindestens einen Druckwasserbehälter (2) stehende Turbine (3) eine Überdruckturbine ist, welche mit einer Gleichdruckturbine (3a) derart in Reihe geschaltet ist, dass eine Antriebswelle (AW) der Überdruckturbine (3) mit einer Antriebswelle (AW) der Gleichdruckturbine (3a) verbunden ist und, dass die Gleichdruckturbine (3a) zwischen der Überdruckturbine (3) und dem Generator (4) angeordnet ist,
wobei der Generator (4) eine Schnittstelle aufweist zur Verbindung mit einem öffentlichen Stromnetz (S).

2. System nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Antriebswelle der Überdruckturbine (3) und die Antriebswelle (AW) der Gleichdruckturbine (3a) eine gemeinsame Welle bilden oder die Antriebswelle (AW) der Überdruckturbine (3) und die Antriebswelle (AW) der Gleichdruckturbine (3a) über eine drehsteife Kupplung miteinander verbunden sind oder die Antriebswelle (AW) der Überdruckturbine (3) mit der Antriebswelle (AW) der Gleichdruckturbine (3a) über ein Getriebe verbunden sind und dass ein Auslass des mindestens einen Druckwasserbehälters (2) mit einem Einlass der Überdruckturbine (3) und ein Auslass der Überdruckturbine (3) mit einem Einlass der Gleichdruckturbine (3a) verbunden ist.

3. System nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen einem Auslass der Überdruckturbine (3) und einem Einlass der Gleichdruckturbine (3a) eine Einrichtung zur Druckregelung des Vor-drucks der Gleichdruckturbine (3a) angeordnet ist.

4. System zur Energiespeicherung und -rückgewinnung umfassend mindestens einen Druckluftbehälter (1),
mindestens einen mit dem Druckluftbehälter (1) in Verbindung stehenden Druckwasserbehälter (2),
mindestens eine mit dem mindestens einen Druckwasserbehälter (2) in Wirkverbindung stehende Turbine (3a),
einen Generator (4) zur Erzeugung elektrischer Energie,
eine Hochdruckpumpe (11) zur Förderung von Wasser aus einem Wasserspeicher (9) in den Druckwasserbehälter (2),
dadurch gekennzeichnet, dass
die in Wirkverbindung mit dem mindestens einen Druckwasserbehälter (2) stehende Turbine (3a) eine Peltonturbine ist,
dass der Generator (4) eingerichtet ist zur Erzeugung von elektrischer Spannung,

- dass der Generator (4) an einen Frequenzumrichter (4a) angeschlossen ist, zur Erzeugung einer gleichbleibenden Spannung und Frequenz und dass der Frequenzumrichter (4a) eine Schnittstelle aufweist zur Verbindung mit einem öffentlichen Stromnetz (S).
5. System nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei mehreren Druckwasserbehältern (2) eine Verbindungsleitung vorhanden ist, welche die Auslässe der Druckwasserbehälter (2) miteinander verbindet, wobei die Druckwasserbehälter (2) derart zueinander angeordnet sind, dass die Verbindungsleitung ein Gefälle aufweist und an ihrem tiefsten Punkt einen Sammler aufweist, welcher mit dem Einlass der Turbine (3, 3a) verbunden ist.
 6. System nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** am Einlass der Turbine (3, 3a) ein Absperrventil (6) vorhanden ist.
 7. System nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der mindestens eine Druckluftbehälter (1) permanent im Druckgleichgewicht mit dem mindestens einen Druckwasserbehälter (2) steht, derart, dass während der Energiespeicherung und -rückgewinnung der Druck im mindestens einen Druckluftbehälter (1) gleich dem Druck im mindestens einen Druckwasserbehälter (2) ist.
 8. System nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen einem Druckluftbehälter (1) und einem Druckwasserbehälter (2) eine Druckluftturbine vorhanden ist.
 9. System nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen einem Auslass eines Druckluftbehälters (1) und einem Einlass eines Druckwasserbehälters (2) genau eine Druckleitung (5) vorhanden ist, welche ausgebildet ist, bei Energiespeicherung Druckluft vom Druckwasserbehälter (2) zum Druckluftbehälter (1) und bei Energierückgewinnung Druckluft vom Druckluftbehälter (1) zum Druckwasserbehälter (2) zu leiten.
 10. System nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Druckleitung (5) eine Absperrvorrichtung angeordnet ist, welche eingerichtet ist, bei plötzlichem Druckabfall die Druckleitung (5) zu schließen.
 11. System nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verhältnis des Volumens eines Druckwasserbehälters (2) zu dem Volumen eines Druckluftbehälters (1) 1:1, 1:2, 1:3 oder 1:4 beträgt.
 12. System nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Steuer- und Vergleichseinheit (13) vorhanden ist, welche ausgebildet ist, in Abhängigkeit der Auslastung eines öffentlichen Stromnetzes (S), die Hochdruckpumpe (11) mittels Energie aus dem öffentlichen Stromnetz (S) anzusteuern, um Wasser aus dem Wasserspeicher (9) in den Druckwasserbehälter (2) zu pumpen, wenn im öffentlichen Stromnetz (S) ein Energieüberschuss vorhanden ist oder Druckwasser aus dem Druckwasserbehälter (2) zur mindestens einen Turbine (3, 3a) zu leiten und die in dem Generator (4, 4a) erzeugte Energie dem öffentlichen Stromnetz (S) zuzuführen, wenn im öffentlichen Stromnetz (S) ein Energiebedarf besteht.
 13. System nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinheit (S) ausgebildet ist, für den Fall der Energierückgewinnung die von mindestens einer Turbine (3, 3a) erzeugten Leistung durch Öffnung oder Schließen von mit der Turbine (3, 3a) verbundenen Wassereinlaufdüsen (7) zu regeln.
 14. System nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Steuer- und Vergleichseinheit (13) vorhanden ist zum Vergleichen des momentanen Drucks im Druckwasserbehälter (2) und des momentanen Drucks im Druckluftbehälter (1) und der momentanen Wassermenge im Druckwasserbehälter (2) mit einem Solldruckwert, wobei die Steuer- und Vergleichseinheit (14) ausgebildet ist, dass in Abhängigkeit vom Ergebnis des Vergleichs dem Druckluftbehälter (1) Druckluft aus einem Druckluftspeicher (18) zugeführt wird.

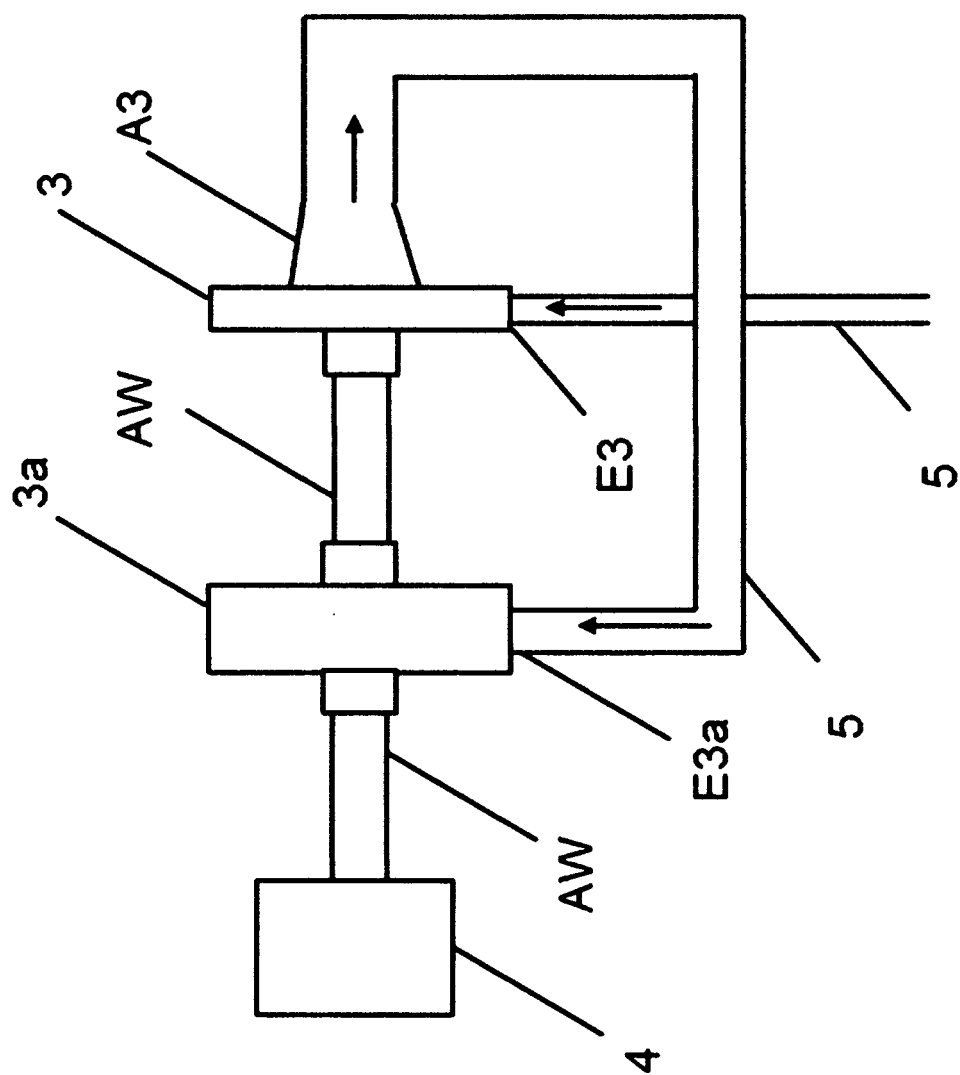


Fig. 1

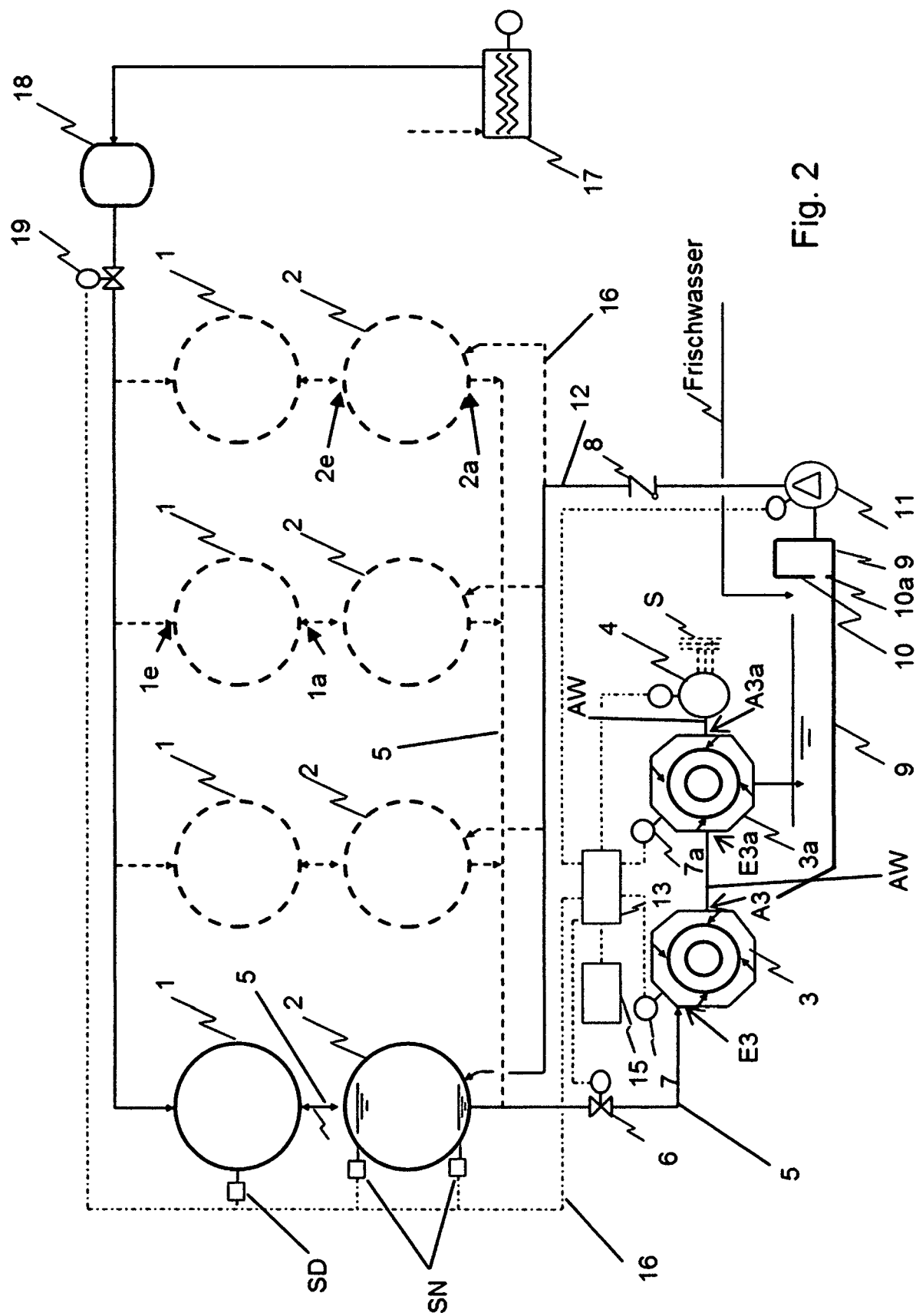


Fig. 2

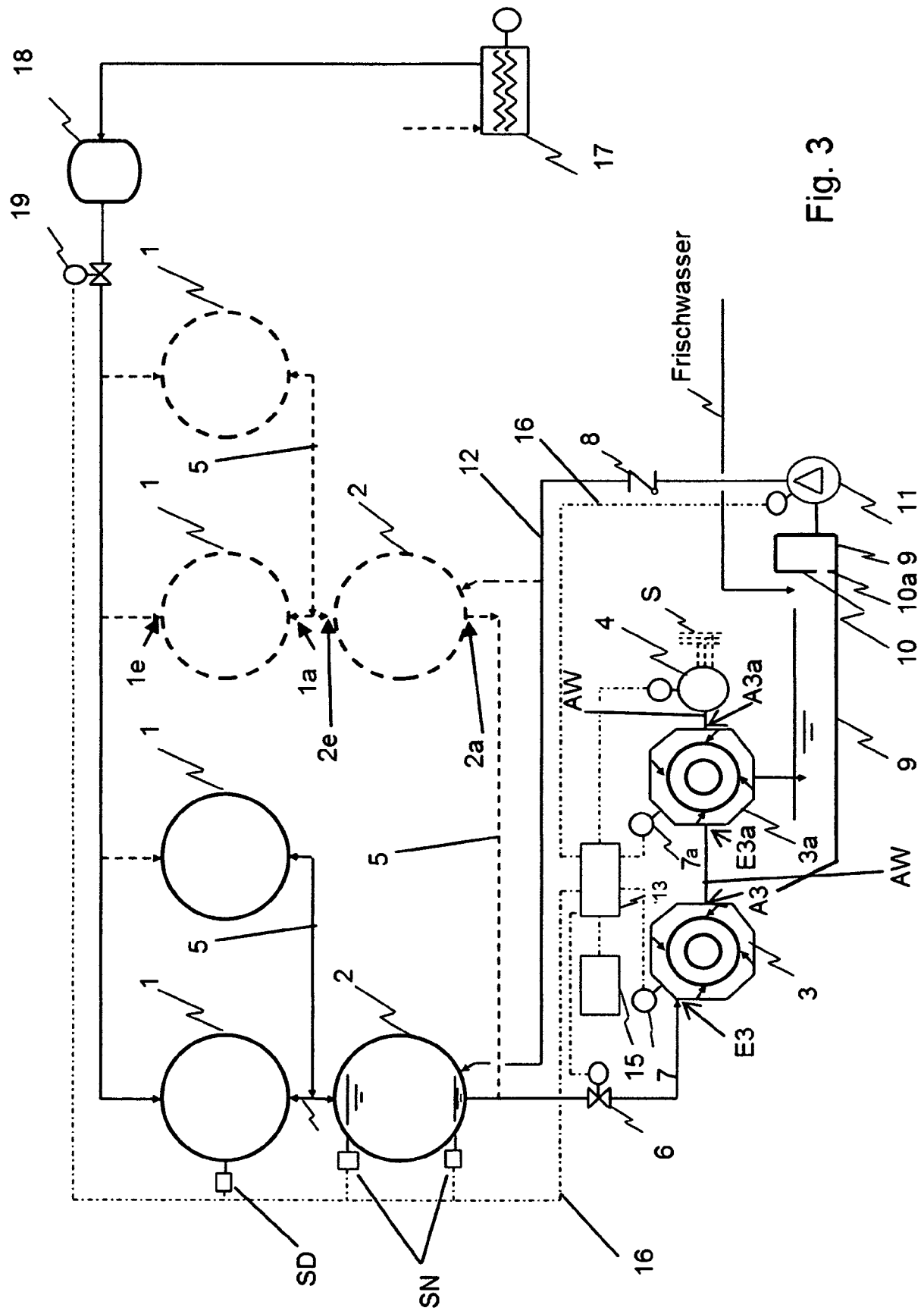


Fig. 3

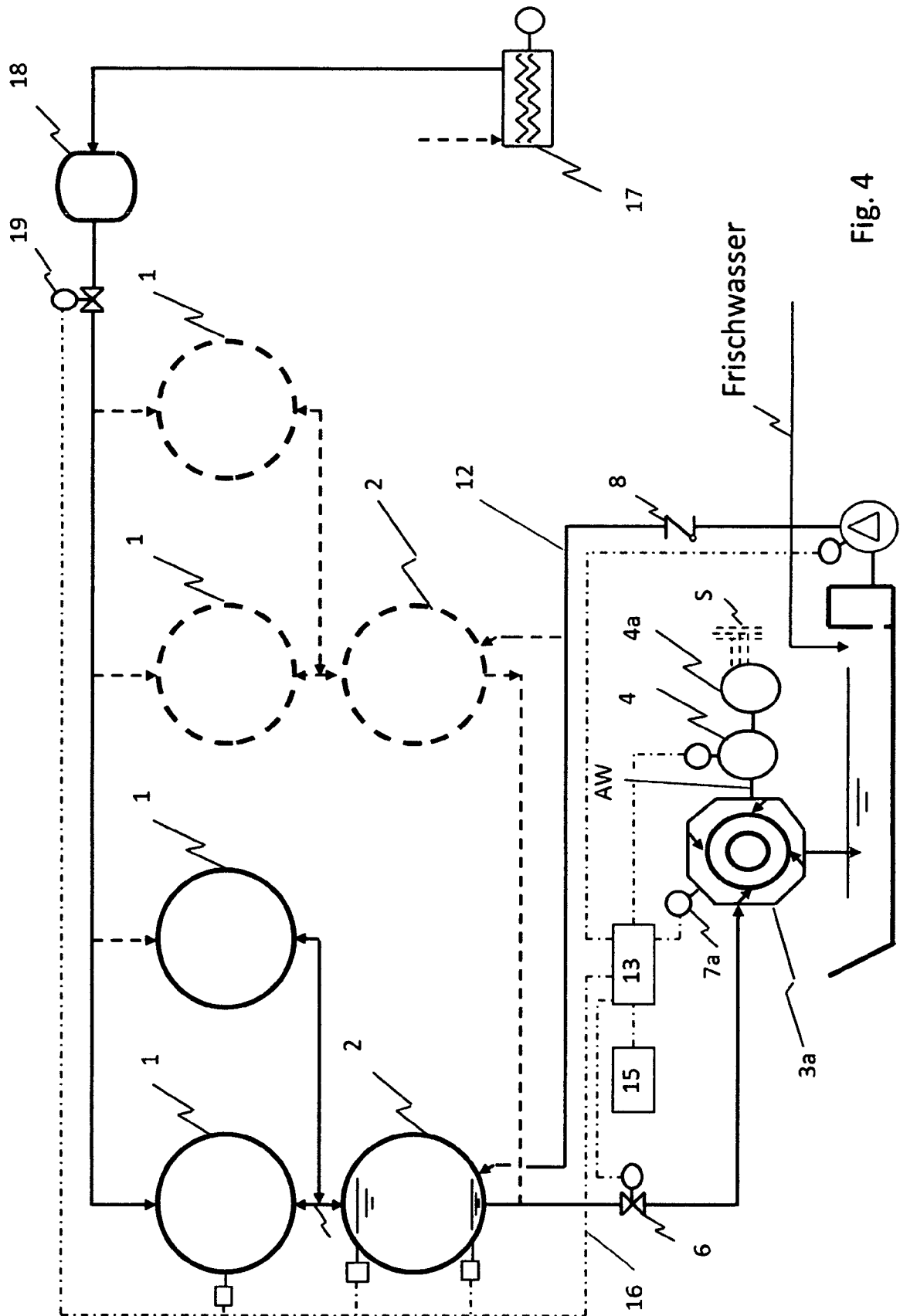


Fig. 4



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 15 00 3640

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	WO 2011/101647 A2 (CHAMPION HILARY) 25. August 2011 (2011-08-25) * Zusammenfassung * * Seite 3, Absatz 2-3 * * Abbildung 1 *	1-3,5-14	INV. F03B13/00 F03B17/00
Y	CH 708 605 A2 (EMIL BÄCHLI EMIL BÄCHLI ENERGIETECHNIK AG [CH]) 31. März 2015 (2015-03-31) * Zusammenfassung * * Absatz [0001] * * Absätze [0007] - [0011] * * Absatz [0014] * * Absatz [0020] * * Abbildungen 1-8 *	4,6,9-14	
A	DE 10 2013 018741 A1 (BUCHMANN ANDREAS [DE]) 2. Oktober 2014 (2014-10-02) * Zusammenfassung * * Abbildungen 1-2 *	1-3,8	
A,D	DE 10 2013 018741 A1 (BUCHMANN ANDREAS [DE]) 2. Oktober 2014 (2014-10-02) * Zusammenfassung * * Abbildungen 1-2 *	1-3,5-14	
A	EP 0 196 690 A1 (SHELL INT RESEARCH [NL]) 8. Oktober 1986 (1986-10-08) * Zusammenfassung * * Abbildungen 1-2 *	1-14	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F03B
Y	FR 3 012 537 A1 (THOMAS PIERRE-ARMAND [FR]; TACTHYS [FR]; CHARLES CHRISTIAN [FR]) 1. Mai 2015 (2015-05-01) * Zusammenfassung * * Seite 2, Zeilen 14-20 * * Seite 6, Zeile 21 - Seite 7, Zeile 21 * * Seite 8, Zeilen 9-15 * * Abbildungen 1-2 * * Seite 8, Zeilen 1-5 *	4,5,7	
A	FR 3 012 537 A1 (THOMAS PIERRE-ARMAND [FR]; TACTHYS [FR]; CHARLES CHRISTIAN [FR]) 1. Mai 2015 (2015-05-01) * Zusammenfassung * * Seite 2, Zeilen 14-20 * * Seite 6, Zeile 21 - Seite 7, Zeile 21 * * Seite 8, Zeilen 9-15 * * Abbildungen 1-2 * * Seite 8, Zeilen 1-5 *	8	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 9. November 2016	Prüfer Cabrele, Silvio
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 15 00 3640

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Y A	EP 0 230 636 A1 (SIEMENS AG [DE]) 5. August 1987 (1987-08-05) * Zusammenfassung * * Spalte 1, Zeilen 1-19 * * Spalte 3, Zeilen 1-34 * * Abbildungen 1-7 * -----	4-7,9-14 8	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 9. November 2016	Prüfer Cabrele, Silvio
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03/82 (P04C03)



Nummer der Anmeldung

EP 15 00 3640

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

GEBÜHRENPFLICHTIGE PATENTANSPRÜCHE

Die vorliegende europäische Patentanmeldung enthielt bei ihrer Einreichung Patentansprüche, für die eine Zahlung fällig war.

☐ Nur ein Teil der Anspruchsgebühren wurde innerhalb der vorgeschriebenen Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für jene Patentansprüche erstellt, für die keine Zahlung fällig war, sowie für die Patentansprüche, für die Anspruchsgebühren entrichtet wurden, nämlich Patentansprüche:

☐ Keine der Anspruchsgebühren wurde innerhalb der vorgeschriebenen Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für die Patentansprüche erstellt, für die keine Zahlung fällig war.

MANGELNDE EINHEITLICHKEIT DER ERFINDUNG

Nach Auffassung der Recherchenabteilung entspricht die vorliegende europäische Patentanmeldung nicht den Anforderungen an die Einheitlichkeit der Erfindung und enthält mehrere Erfindungen oder Gruppen von Erfindungen, nämlich:

Siehe Ergänzungsblatt B

☒ Alle weiteren Recherchegebühren wurden innerhalb der gesetzten Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.

☐ Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der eine zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Recherchenabteilung nicht zur Zahlung einer solchen Gebühr aufgefordert.

☐ Nur ein Teil der weiteren Recherchegebühren wurde innerhalb der gesetzten Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für die Teile der Anmeldung erstellt, die sich auf Erfindungen beziehen, für die Recherchegebühren entrichtet worden sind, nämlich Patentansprüche:

☐ Keine der weiteren Recherchegebühren wurde innerhalb der gesetzten Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für die Teile der Anmeldung erstellt, die sich auf die zuerst in den Patentansprüchen erwähnte Erfindung beziehen, nämlich Patentansprüche:

☐ Der vorliegende ergänzende europäische Recherchenbericht wurde für die Teile der Anmeldung erstellt, die sich auf die zuerst in den Patentansprüchen erwähnte Erfindung beziehen (Regel 164 (1) EPÜ).



**MANGELNDE EINHEITLICHKEIT
DER ERFINDUNG
ERGÄNZUNGSBLATT B**

Nummer der Anmeldung

EP 15 00 3640

Nach Auffassung der Recherchenabteilung entspricht die vorliegende europäische Patentanmeldung nicht den Anforderungen an die Einheitlichkeit der Erfindung und enthält mehrere Erfindungen oder Gruppen von Erfindungen, nämlich:

1. Ansprüche: 1-3(vollständig); 5-14(teilweise)

Energiespeicherungssystem mit Überdruck- und
Gleichdruckturbinen

2. Ansprüche: 4(vollständig); 5-14(teilweise)

Energiespeicherungssystem mit Pelton turbine und
Frequenzumrichter

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 15 00 3640

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

09-11-2016

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	WO 2011101647 A2	25-08-2011	KEINE	
15	CH 708605 A2	31-03-2015	CH 708605 A2	31-03-2015
			EP 3049667 A1	03-08-2016
			WO 2015043747 A1	02-04-2015
	DE 102013018741 A1	02-10-2014	KEINE	
20	EP 0196690 A1	08-10-1986	CA 1260802 A	26-09-1989
			DE 3666489 D1	23-11-1989
			DK 140386 A	29-09-1986
			EP 0196690 A1	08-10-1986
			JP S61226571 A	08-10-1986
25	FR 3012537 A1	01-05-2015	EP 3080451 A1	19-10-2016
			FR 3012537 A1	01-05-2015
			WO 2015063230 A1	07-05-2015
30	EP 0230636 A1	05-08-1987	DE 3601288 A1	23-07-1987
			EP 0230636 A1	05-08-1987
			US 4806781 A	21-02-1989
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 2717679 A [0008]
- WO 2006084748 A1 [0009]
- DE 60118987 T2 [0010]
- DE 102011082726 A1 [0011]
- DE 102013112196 A1 [0012]
- US 20120279209 A1 [0013]
- DE 102013018741 A1 [0014]