

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges  
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales  
Veröffentlichungsdatum  
26. Juni 2014 (26.06.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2014/095457 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
H02J 3/32 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/075952

(22) Internationales Anmeldedatum:  
9. Dezember 2013 (09.12.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2012 113 051.5  
21. Dezember 2012 (21.12.2012) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von IR, US): **EVONIK INDUSTRIES AG** [DE/DE]; Rellinghauser Straße 1-11, 45128 Essen (DE). **STEAG POWER SAAR GMBH** [DE/DE]; Trierer Straße 4, 66111 Saarbrücken (DE).

(72) Erfinder; und

(71) Anmelder (nur für US): **MARKOWZ, Georg** [DE/DE]; Schafwiesenstr. 19, 63755 Alzenau (DE). **KOLLIGS, Carsten** [DE/DE]; Habichtweg 6, 46244 Bottrop (DE). **SIMSEK, Erdem** [DE/DE]; Heinrich-Strunk-Straße 44, 45143 Essen (DE). **FLEMMING, Anna** [DE/DE]; Großer Hasenpfad 134, 60598 Frankfurt (DE). **GAMRAD, Dennis** [DE/DE]; Kronprinzenstraße 9, 46562 Voerde (DE). **COCHET, Sébastien** [FR/DE]; Ziethenstr. 25e, 46149 Oberhausen (DE). **SCHWEISSTHAL, Wolfgang** [DE/DE]; Eschringer Str. 25, 66399 Mandelbachtal (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

(54) Title: METHOD FOR PROVIDING CONTROL POWER TO STABILIZE AN ALTERNATING CURRENT NETWORK, USING AN ENERGY ACCUMULATOR

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR ERBRINGUNG VON REGELLEISTUNG ZUR STABILISIERUNG EINES WECHSELSTROMNETZES, UMFASSEND EINEN ENERGIESPEICHER

(57) Abstract: The present invention relates to a method for providing control power to stabilize an alternating current network, using an energy accumulator which can absorb and emit electric energy. In order to provide control power, the energy accumulator is used together with a differential power provider. Said alternating power network operates at a specified frequency and a frequency range is defined around the specified frequency and the control power which must be provided in the event of a frequency deviation within the frequency range is provided by an energy accumulator upto more than 50%, with respect to the total control power to be provided.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erbringung von Regelleistung zur Stabilisierung eines Wechselstromnetzes, umfassend einen Energiespeicher, der elektrische Energie aufnehmen und abgeben kann, wobei zur Erbringung der Regelleistung der Energiespeicher gemeinsam mit einem Differenzleistungserbringer eingesetzt wird, wobei das Wechselstromnetz bei einer Vorgabefrequenz arbeitet und ein Frequenzband um die Vorgabefrequenz definiert ist und die Regelleistung, die bei einer Frequenzabweichung innerhalb des Frequenzbandes zu erbringen ist, zu mehr als 50%, bezogen auf die insgesamt zu erbringende Regelleistung, vom Energiespeicher erbracht wird.

WO 2014/095457 A2

## **Verfahren zur Erbringung von Regelleistung zur Stabilisierung eines Wechselstromnetzes, umfassend einen Energiespeicher**

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erbringung von Regelleistung zur Stabilisierung eines Wechselstromnetzes, umfassend einen Energiespeicher, sowie  
5 eine Vorrichtung zum Durchführen eines solchen Verfahrens.

Stromnetze werden verwendet, um Strom von meist mehreren Energieerzeugern in großen Gebieten auf viele Nutzer zu verteilen und Haushalte und Industrie mit Energie zu versorgen. Energieerzeuger, meist in Form von Kraftwerken, stellen dazu die benötigte Energie bereit. In der Regel wird die Stromerzeugung auf den  
10 prognostizierten Verbrauch hin geplant und bereitgestellt.

Sowohl beim Erzeugen als auch dem Verbrauchen von Energie kann es jedoch zu ungeplanten Schwankungen kommen. Diese können auf der Energieerzeugerseite beispielsweise dadurch entstehen, dass ein Kraftwerk oder ein Teil des Stromnetzes ausfällt oder zum Beispiel im Fall Erneuerbarer Energien wie Wind, dass die  
15 Energieerzeugung höher oder geringer ausfällt als prognostiziert. Auch bezüglich der Verbraucher kann es zu unerwartet hohen oder niedrigen Verbräuchen kommen. Der Ausfall eines Teils des Stromnetzes beispielsweise, der einige Verbraucher von der Energieversorgung abschneidet, kann zu einer plötzlichen Reduzierung des Stromverbrauchs führen.

Dies führt im Allgemeinen dazu, dass es in Stromnetzen durch ungeplante Abweichungen von Leistungserzeugung und/oder -verbrauch zu Schwankungen der Netzfrequenz kommt. Die gewünschte Wechselstromfrequenz beträgt beispielsweise in Europa 50,00 Hz. Eine Verringerung des Verbrauchs gegenüber dem Plan führt zu einer Erhöhung der Frequenz bei planmäßig eingespeister Leistung durch die  
25 Energieerzeuger, gleiches gilt für eine Erhöhung der Stromproduktion gegenüber dem Plan bei planmäßigem Verbrauch. Eine Verringerung der Leistung der Energieerzeuger gegenüber dem Plan führt dagegen zu einer Verringerung der Netzfrequenz bei plangemäßigem Verbrauch, gleiches gilt für eine Erhöhung des Verbrauchs gegenüber dem Plan bei plangemäßer Erzeugung.

30 Aus Gründen der Netzstabilität ist es erforderlich, diese Abweichungen in einem definierten Rahmen zu halten. Dazu muss je nach Höhe und Richtung der Abweichung

- 2 -

gezielt positive Regelleistung durch Zuschalten von zusätzlichen Erzeugern oder Abschalten von Verbrauchern oder negative Regelleistung durch Abschalten von Erzeugern oder Hinzuschalten von Verbrauchern bereitgestellt werden. Es besteht allgemein der Bedarf an einer wirtschaftlichen und effizienten Bereitstellung dieser  
5 Regelleistungen, wobei die Anforderungen an die bereitzuhaltenden Kapazitäten und die Dynamik der Regelleistungsquellen beziehungsweise -senken je nach Charakteristik des Stromnetzes variieren können.

In Europa gibt es beispielsweise ein Regelwerk (UCTE Handbook), das drei verschiedene Kategorien an Regelleistung beschreibt. Darin sind auch die jeweiligen  
10 Anforderungen und die Regelleistungsarten festgelegt. Die Regelleistungsarten unterscheiden sich unter anderem in den Anforderungen an die Dynamik und die Dauer der Leistungserbringung. Außerdem werden sie unterschiedlich hinsichtlich der Randbedingungen eingesetzt. Primärregelleistung (PRL) ist unabhängig vom Ort der Verursachung der Störung europaweit von allen eingebundenen Quellen zu erbringen,  
15 und zwar im Wesentlichen proportional zur aktuellen Frequenzabweichung. Die absolut maximale Leistung ist bei Frequenzabweichungen von minus 200 mHz und (absolut) darunter zu erbringen, die absolut minimale Leistung ist bei Frequenzabweichungen von plus 200 mHz und darüber zu erbringen. Hinsichtlich der Dynamik gilt, dass aus dem Ruhezustand die jeweils (betragsmäßig) maximale Leistung innerhalb von 30  
20 Sekunden bereitgestellt werden muss. Demgegenüber sind Sekundärregelleistung (SRL) und Minutenreserveleistung (MRL) in den Bilanzräumen zu erbringen, in denen die Störung aufgetreten ist. Ihre Aufgabe ist es, die Störung möglichst schnell zu kompensieren und somit dafür zu sorgen, dass die Frequenz wieder möglichst schnell, vorzugsweise spätestens nach 15 Minuten wieder im Sollbereich liegt. Hinsichtlich der  
25 Dynamik werden an die SRL und die MRL geringere Anforderungen gestellt (5 bzw. 15 Minuten bis zur vollen Leistungserbringung nach Aktivierung), gleichzeitig sind diese Leistungen auch über längere Zeiträume bereitzustellen als Primärregelleistung.

In den bisher betriebenen Stromnetzen wird ein Großteil der Regelleistung von konventionellen Kraftwerken, insbesondere Kohle- und Atomkraftwerken bereitgestellt.  
30 Zwei grundsätzliche Problemstellungen resultieren hieraus. Zum einen werden die konventionellen, Regelleistung bereitstellenden Kraftwerke nicht bei Vollast und damit

- 3 -

maximalen Wirkungsgraden, sondern leicht unterhalb derselben betrieben, um bei Bedarf positive Regelleistung bereitstellen zu können, ggfs. über einen theoretisch unbegrenzten Zeitraum.

Für eine langfristige Bereitstellung von Regelleistung müssen die erforderlichen  
5 Regelleistungs-Quellen also im Allgemeinen in Teillast betrieben werden, um je nach Bedarf zusätzliche Energie aufnehmen oder abgeben zu können. Sollte beispielsweise ein Kraftwerk eingesetzt werden, so müsste dies in Teillast gefahren werden, um bei Bedarf auch zusätzliche positive Regelleistung bereitstellen zu können. Analog müsste ein Verbraucher in Teillast gefahren werden, um bei Anforderung zusätzlicher negativer  
10 Regelleistung die Last erhöhen zu können.

Diese Teillastfahrweisen sind in der Regel nachteilig. Bei den meisten konventionellen Kraftwerken (z. B. Steinkohlekraftwerke oder Gaskraftwerke) kann der Teillastbetrieb zu einem niedrigeren Wirkungsgrad der Stromerzeugung und höheren spezifischen Emissionen führen. Dies gilt insbesondere falls die Last, bezogen auf die  
15 Maximalleistung sehr gering ist. Außerdem entstehen bei reduzierter Nutzung der Kapazität erhöhte spezifische Fixkosten. Bei Verbrauchern, die in Teillast betrieben werden, reduziert sich die Produktivität und ebenfalls der Wirkungsgrad. Eine Elektrolyseanlage, die für die chemische Produktion eingesetzt wird, hat entsprechend der Lastreduktion eine geringere Produktivität und es wird nur ein geringerer Anteil der  
20 verbrauchten Energie in das Produkt umgesetzt, das heißt, dass für die gleiche Produktmenge eine größere Menge Energie benötigt wird.

Zum anderen sind mit zunehmendem Ausbau und zunehmender bevorzugter Nutzung der Erneuerbaren Energien immer weniger konventionelle Kraftwerke in Betrieb, was aber oftmals die Grundvoraussetzung für die Erbringung von Regelleistungen ist.

25 Aus diesem Grund wurden Ansätze entwickelt, vermehrt Speicher einzusetzen, um negative Regelleistung zu speichern und bei Bedarf als positive Regelleistung bereitzustellen.

Aus der DE 10 2008 002 839 A1 ist es bekannt, Energieverbraucher in Form von Fahrstühlen derart zu betreiben, dass nicht gebrauchte Fahrstühle einer ganzen Region  
30 zur Bereitstellung von negativer Regelleistung in obere Stockwerke gefahren werden.

- 4 -

Wenn also negative Regelleistung benötigt wird, wird die Leistung eines Verbrauchers erhöht.

Aus der DE 10 2009 018 126 A1 ist ein Verfahren zur Bereitstellung von Regelleistung bekannt, bei dem ein brennbares Gas mit erneuerbaren Energien erzeugt und gespeichert wird. Das brennbare Gas kann dabei genau in Zeiträumen mit hoher residualer Last des Stromnetzes rückverstromt werden. Dabei wird also die Leistung eines Gaskraftwerks erhöht, wenn eine positive Regelleistung angefordert wird. Nachteilig ist hieran, dass das Gaskraftwerk nur bei einer vollen Regelanforderung bei hoher Leistung und damit bei hohem Wirkungsgrad betrieben wird, also nur in seltenen Fällen.

Nachteilig ist hieran also, dass es derzeit keine Möglichkeit gibt, Energieerzeuger oder Energieverbraucher zur Bereitstellung von Regelleistung möglichst genauso effizient, wie im Betrieb zur Bereitstellung von Leistung ohne Regelung und damit bei Best möglichem Wirkungsgrad, und auch über längere Zeit zu betreiben, um Regelleistung zur Stabilisierung des Stromnetzes zur Verfügung zu stellen. Die Überdimensionierung ist in jedem Fall unwirtschaftlich.

Der Einsatz von Hydro-Pumpspeicherwerken zur Erbringung von Regelleistung ist Stand der Technik. In Europa werden alle oben genannten drei Regelleistungsarten von Pumpspeichern erbracht. Hydropumpspeicher werden jedoch auch immer wieder genannt als gegenwärtig wirtschaftlichste Technologie zur Ein- und Ausspeicherung von bevorzugt Erneuerbaren Energien, um Energieangebot und -bedarf zeitlich besser aufeinander anpassen zu können. Das Potenzial zum Ausbau der Speicherkapazitäten – insbesondere in Norwegen – wird kontrovers diskutiert, da für die Nutzung beträchtliche Kapazitäten in Stromleitungen genehmigt und installiert werden müssen. Folglich steht die Nutzung für das energiewirtschaftliche Lastmanagement in Konkurrenz zur Bereitstellung von Regelleistung.

Vor diesem Hintergrund wurden im Bereich der Primärregelleistung in der jüngeren Vergangenheit immer wieder Ansätze untersucht und beschrieben, auch andere Speichertechnologien wie beispielsweise Schwungmassen- und Batteriespeicher für die Bereitstellung von Regelleistung einzusetzen.

- 5 -

Aus der US 2006/122738 A1 ist ein Energiemanagementsystem bekannt, das einen Energieerzeuger und einen Energiespeicher umfasst, wobei der Energiespeicher durch den Energieerzeuger aufladbar ist. Dadurch soll ein Energieerzeuger, der im normalen Betrieb keine gleichmäßige Energieerzeugung gewährleistet, wie zum Beispiel die  
5 zunehmend favorisierten erneuerbaren Energien, wie Windkraft- oder Photovoltaikkraftwerke, in die Lage versetzt werden, ihre Energie gleichmäßiger ins Stromnetz abzugeben. Nachteilig ist hieran, dass hierdurch zwar ein einzelnes Kraftwerk stabilisiert werden kann, alle anderen Störungen und Schwankungen des Stromnetzes aber nicht oder nur sehr begrenzt abgefangen werden können.

10 Es ist aus der WO 2010 042 190 A2 und der JP 2008 178 215 A bekannt, Energiespeicher zur Bereitstellung von positiver und negativer Regelleistung zu verwenden. Wenn die Netzfrequenz einen Toleranzbereich um die gewünschte Netzfrequenz verlässt, wird entweder Energie aus dem Energiespeicher bereitgestellt oder in den Energiespeicher aufgenommen, um die Netzfrequenz zu regulieren. Auch  
15 die DE 10 2008 046 747 A1 schlägt vor, einen Energiespeicher in einem Inselstromnetz derart zu betreiben, dass der Energiespeicher zur Kompensation von Verbrauchsspitzen und Verbrauchsminima eingesetzt wird. Nachteilig ist hieran, dass die Energiespeicher nicht die notwendige Kapazität haben, um eine längere Störung oder mehrere, hinsichtlich der Frequenzabweichung gleichgerichtete Störungen  
20 hintereinander zu kompensieren.

In dem Artikel „Optimizing a Battery Energy Storage System for Primary Frequency Control“ von Oudalov et al., in IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 22, No. 3, August 2007, wird die Abhängigkeit der Kapazität eines Akkumulators von technischen und betrieblichen Randbedingungen bestimmt, damit dieser nach den europäischen  
25 Normen (UCTE Handbook) Primärregelleistung bereitstellen kann. Es zeigt sich, dass auf Grund der Ein- und Ausspeicherverluste langfristig in unterschiedlichen Zeitabständen immer wieder ein Aufladen oder Entladen des Speichers unvermeidbar ist. Die Autoren schlagen dazu die Zeiträume vor, in denen sich die Frequenz im Totband (d.h. in dem Frequenzbereich, in dem keine Regelleistung zu erbringen ist)  
30 befindet. Trotzdem kann es kurzfristig bzw. vorübergehend dazu kommen, dass der Speicher überladen wird. Die Autoren schlagen für solche Fälle den (begrenzten

- 6 -

Einsatz) von Verlust erzeugenden Widerständen vor, die extremal die komplette negative Nenn-Regelleistung aufnehmen, also hierauf ausgelegt werden müssen. Neben dem zusätzlichen Investitionsbedarf für die Widerstände und deren Kühlung führt dies jedoch, wie von den Autoren selbst schon genannt, zu einer mehr oder  
5 weniger unerwünschten Energieentwertung, wobei die entstehende Abwärme in der Regel nicht genutzt werden kann. Die Autoren zeigen auf, dass eine geringere Inanspruchnahme der Verlufterzeugung nur durch eine höhere Speicherkapazität, verbunden mit höheren Investitionskosten, möglich ist.

Akkumulatoren und andere Energiespeicher können sehr schnell Energie aufnehmen  
10 oder abgeben, wodurch sie sich grundsätzlich zur Bereitstellung von PRL eignen. Nachteilig ist jedoch hieran, dass sehr große Kapazitäten der Akkumulatoren bereitgestellt werden müssen, um die Regelleistung auch über einen längeren Zeitraum oder wiederholt liefern zu können. Akkumulatoren mit sehr großer Kapazität sind aber auch sehr teuer.

15 Auf Grund der Verluste beim Ein- und Ausspeichern von Energie erfolgt bei statistisch symmetrischer Abweichung der Netzfrequenzen vom Sollwert durch den Betrieb früher oder später eine Entladung des Energiespeichers, wie zum Beispiel eines Akkumulators. Es ist daher erforderlich, den Energiespeicher mehr oder weniger regelmäßig gezielt aufzuladen. Eventuell muss dieser Ladestrom separat bezahlt  
20 werden.

Es wurde im Rahmen der Erfindung gefunden, dass mitunter beträchtliche Energiemengen monoton ein- oder ausgespeist werden, wie eine Analyse von realen Frequenzverläufen der Erfinder zeigt. Dies führt bei gegebener Speicherkapazität zu  
25 entsprechend hoher Ladezustandsänderung. Große Ladezustandsänderungen wiederum führen tendenziell zu schnellerer Alterung als geringe Ladezustandsänderungen. Entweder erreicht der Energiespeicher somit eher sein Lebensende und muss eher ausgetauscht werden, oder die Kapazität ist à priori zu erhöhen, um die relative Ladezustandsänderung zu reduzieren. Beides führt zu einer Erhöhung der Investitionskosten.

30 Zusätzlich erfordert eine konsequente Einhaltung der Leitlinien zur Präqualifizierung von Primärregeltechnologien die Bereithaltung entsprechender Leistungsreserven zu jedem

- 7 -

beliebigen Betriebszeitpunkt und damit Ladungszustand des Energiespeichers. Diese Anforderung (in Deutschland aktuell: die vermarktete Primärregelleistung über eine Dauer von 15 min) führt dazu, dass zusätzlich eine entsprechende, Investitionskosten erhöhende Kapazität vorgehalten werden muss. Tatsächlich würde eine solche Reserve  
5 (statistisch bedingt) nur sehr selten genutzt werden.

In Anbetracht des Standes der Technik ist es daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein technisch verbessertes Verfahren zur Erbringung von Regelleistung zur Stabilisierung eines Wechselstromnetzes zur Verfügung zu stellen, das nicht mit den Nachteilen herkömmlicher Verfahren behaftet ist.

10 Insbesondere soll es ermöglicht werden, Regelleistung bei einem hohen Wirkungsgrad der eingesetzten Komponenten bereitzustellen.

Weiterhin sollte das Verfahren möglichst einfach und kostengünstig durchgeführt werden können. Insbesondere sollten die Anlagen, mit denen das Verfahren durchgeführt werden kann, in Bezug auf die bereitgestellte Regelleistung mit möglichst  
15 geringen Investitionen verbunden sein.

Hierbei soll es ermöglicht werden Regelleistung mittels Energieerzeugern oder Energieverbrauchern bereitzustellen, die bei möglichst optimalen Bedingungen, ganz besonders bei möglichst hohem Wirkungsgrad, betrieben werden können.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist darin zu sehen, dass die Kapazität des  
20 Energiespeichers möglichst gering sein soll, um die erforderliche Regelleistung bereitzustellen.

Zudem wäre es auch vorteilhaft, wenn eine geringere Alterungsbelastung erreicht werden könnte. Ferner wäre auch die Bereitstellung der Primärregelleistung unter Vermeidung eines zwischenzeitlichen Ladens oder Entladens wünschenswert.  
25 Alternativ wäre anzustreben, dass zumindest die Zahl von Lade- oder Entladevorgängen, die zur Aufrechterhaltung der Betriebsfähigkeit erforderlich ist, reduziert wird.

Ferner ist es Aufgabenstellung der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zu finden, bei dem die beschriebenen Störungen des Stromnetzes und gleichzeitig Handlungsvorgänge

- 8 -

vermieden oder reduziert werden. Weiterhin sollte das Verfahren möglichst einfach und kostengünstig durchgeführt werden können.

Darüber hinaus sollen die Energieerzeuger und Energieverbraucher eine möglichst effiziente Energieausbeute als Regelleistungslieferanten aufweisen.

- 5 Das erfindungsgemäße Verfahren soll außerdem dazu geeignet sein, die notwendige Regelleistung bei Bedarf möglichst schnell bereitstellen zu können.

Weiterhin sollte das Verfahren mit möglichst wenigen Verfahrensschritten durchgeführt werden können, wobei dieselben einfach und reproduzierbar sein sollten.

- 10 Weitere nicht explizit genannte Aufgaben ergeben sich aus dem Gesamtzusammenhang der nachfolgenden Beschreibung und der Ansprüche.

- Gelöst werden diese sowie weitere nicht explizit genannte Aufgaben, die jedoch aus den hierin einleitend diskutierten Zusammenhängen ohne weiteres ableitbar oder erschließbar sind, durch ein Verfahren mit allen Merkmalen des Patentanspruchs 1. Zweckmäßige Abwandlungen des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Bereitstellung  
15 von Regelleistung für ein Stromnetz werden in den Unteransprüchen 2 bis 17 unter Schutz gestellt. Ferner haben Patentanspruch 18 bis 20 eine Vorrichtung zum Durchführen eines solchen Verfahrens zum Gegenstand.

- Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist dementsprechend ein Verfahren zur Erbringung von Regelleistung zur Stabilisierung eines Wechselstromnetzes, umfassend  
20 einen Energiespeicher, der elektrische Energie aufnehmen und abgeben kann, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass zur Erbringung der Regelleistung der Energiespeicher gemeinsam mit einem Differenzleistungserbringer eingesetzt wird, wobei das Wechselstromnetz bei einer Vorgabefrequenz arbeitet und ein Frequenzband um die Vorgabefrequenz definiert ist und die Regelleistung, die bei einer Frequenzabweichung  
25 innerhalb des Frequenzbandes zu erbringen ist, zu mehr als 50 %, bezogen auf die insgesamt zu erbringende Regelleistung, vom Energiespeicher erbracht wird.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren gelingt es auf nicht vorhersehbare Weise, ein Verfahren zur Erbringung von Regelleistung zur Stabilisierung eines

- 9 -

Wechselstromnetzes bereitzustellen, das nicht mit den Nachteilen herkömmlicher Verfahren behaftet ist.

Insbesondere kann das Verfahren sehr einfach und kostengünstig durchgeführt werden, da die für die volle Verfügbarkeit erforderliche Speicherkapazität kostengünstiger  
5 bereitgestellt werden kann oder die Zahl der Lade- und Entladevorgänge, die zur Einstellung des Ladezustandes des Energiespeichers mit externen Energiequellen oder -senken vorgenommen werden müssen, verringert werden kann. Hierbei ist festzuhalten, dass der Energiespeicher über das Stromnetz durch Energiehandel  
10 Leistung beziehen kann. Diese Leistung muss eingekauft und zu einem spezifischen Zeitpunkt abgerufen werden, da andernfalls eine Störung des Systems vorliegt. Die tatsächliche Netzfrequenz ist für diesen Vorgang unerheblich, da bei einer geplanten, gleichzeitigen Einspeisung und Entnahme einer Leistung die Frequenz des Stromnetzes nicht beeinflusst wird. Wichtig ist vielmehr, dass die Einspeisung und die Entnahme dieser Leistung möglichst synchron erfolgen. Bei einer konstanten Kapazität  
15 des Energiespeichers kann in Folge der verminderten Lade-/Entladezyklen die betriebliche Lebensdauer des Speichers vergrößert werden, wobei dies insbesondere für Akkumulatoren einen wichtigen Gesichtspunkt darstellt, der durch die vorliegende Erfindung überraschend verbessert werden kann.

Weiterhin kann bei einer Verwendung von galvanischen Elementen, wie  
20 Akkumulatoren, die Kapazität von teuren Energiespeichern sehr gering gehalten werden, um eine erforderliche Regelleistung bereitzustellen.

Ferner weisen die bevorzugt als Differenzleistungserbringer eingesetzten Energieerzeuger und/oder Energieverbraucher eine sehr effiziente Energieausbeute als Regelleistungslieferanten auf. Weiterhin ermöglicht die vorliegende Erfindung  
25 Regelleistung bei einem hohen Wirkungsgrad der eingesetzten Komponenten bereitzustellen.

Die Erfinder konnten durch eine Fourieranalyse des Ladezustandes von Energiespeichern überraschend feststellen, dass neben Ladezustands-schwankungen mit sehr kurzer Periodendauer auch solche mit deutlich längerer Periodendauer  
30 vorhanden sind. Diese führen zu Schwankungsvorgängen mit deutlich geringerer

- 10 -

Zyklenzahl. Diese Ladungsschwankungen können, aufgrund der hohen Effizienz mit einem Differenzleistungserbringer zumindest teilweise ausgeglichen werden. Durch diese Ausgestaltung kann der Differenzleistungs-erbringer bei einem höheren Wirkungsgrad betrieben werden, da ein Teil der Leistung durch den Energiespeicher erbracht werden kann. Weiterhin kann der Differenzleistungserbringer näher, vorzugsweise beim Wirkungsgradoptimum betrieben werden. Je größer die durch einen Energieverbraucher und/oder Energieerzeuger bereitzustellende Regelleistung ist, desto mehr weicht der Wirkungsgrad bei der hierzugehörigen Dauerlast, bei der der Differenzleistungserbringer betrieben wird, von dem Wirkungsgradoptimum ab, bezogen auf die von dem Differenzleistungserbringer maximal zu erbringende Leistung. Weiterhin wird der Differenzleistungserbringer relativ selten eingesetzt, so dass diese Anlagen dauerhafter bei diesen hohen Wirkungsgraden betrieben werden können. Die mit einer hohen Frequenz auftretenden Schwankungen lassen sich jedoch zweckmäßiger mit einem Energiespeicher abmildern.

Hierbei kann die Leistungselektronik des Energiespeichers auf eine geringere Leistungsabgabe ausgelegt sein, falls nur für einen Teilbereich der kontrahierten Höchstleistung Regelleistung durch den Energiespeicher geleistet werden muss, als für die gesamte kontrahierte Regelleistung. Diese Leistungselektronik kann demgemäß günstiger erhalten werden, so dass die Investitionskosten zur Bereitstellung einer vorgegebenen kontrahierten Regelleistung gesenkt werden können.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist außerdem dazu geeignet, die notwendige Regelleistung sehr schnell bereitzustellen.

Weiterhin können die Differenzleistungserbringer, insbesondere die Energieerzeuger und/oder Energieverbraucher unabhängig von der Höhe und Richtung der Abweichung der Netzfrequenz gezielt eine ausreichende Menge an positiver oder negativer Regelleistung bereitstellen.

Darüber hinaus kann das Verfahren mit sehr wenigen Verfahrensschritten durchgeführt werden, wobei dieselben einfach und reproduzierbar sind.

Das vorliegende Verfahren dient zur Bereitstellung von Regelleistung zur Stabilisierung eines Wechselstromnetzes. Wie in der Einleitung bereits dargelegt, verändert sich in einem Wechselstromnetz die Frequenz, falls das Gleichgewicht zwischen Energieverbrauch und Energiebereitstellung nicht eingehalten wird.

- 5 Die Regelenergie oder Regelleistung wird an das Stromnetz abgegeben (positive Regelenergie oder positive Regelleistung) oder aus dem Stromnetz aufgenommen (negative Regelenergie oder negative Regelleistung). Positive Regelleistung kann durch Energieeinspeisung, beispielsweise Energieeintrag eines Energiespeichers oder durch  
10 Zuschalten eines Kraftwerks, oder durch Drosselung eines Verbrauchers in das Netz zugeführt werden. Negative Regelleistung kann dem Netz durch Energieaufnahme eines Energiespeichers, Drosselung einer Energiequelle, beispielsweise eines Kraftwerks, oder durch Zuschalten eines Verbrauchers in das Netz eingespeist werden. Weitere wichtige Informationen hierzu finden sich im Stand der Technik, wobei insbesondere auf die in der Einleitung diskutierten Dokumente Bezug genommen wird.  
15 In diesem Zusammenhang ist festzuhalten, dass die Begriffe Regelleistung und Regelenergie für die Zwecke dieser Erfindung einen ähnlichen Bedeutungsgehalt aufweisen.

Üblich wird Regelleistung für eine bestimmte Nennleistung vom Anbieter dem Netzbetreiber zur Verfügung gestellt. Unter der Nennleistung ist vorliegend die Leistung  
20 zu verstehen, mit der die Regelleistungsquelle mindestens präqualifiziert ist, die mit einem erfindungsgemäßen Verfahren betrieben wird. Allerdings kann die Präqualifikationsleistung höher sein als die Nennleistung, die dem Netzbetreiber maximal zur Verfügung gestellt wird. Diese Nennleistung kann auch als kontrahierte Höchstleistung bezeichnet werden, da diese Leistung dem Netz maximal bereitgestellt  
25 wird.

Das erfindungsgemäße Verfahren dient zur Stabilisierung eines Wechselstromnetzes. Wechselstromnetze zeichnen sich durch eine Änderung der Polung des elektrischen Stromes aus, wobei sich positive und negative Augenblickswerte so ergänzen, dass der Strom im zeitlichen Mittel null ist. Diese Netze werden im Allgemeinen zur Übertragung  
30 von elektrischer Energie eingesetzt.

- 12 -

Üblich werden die Wechselstromnetze mit einer Vorgabefrequenz betrieben, die gegenwärtig in Europa, insbesondere in Deutschland, bei 50,000 Hz liegt. Im nordamerikanischen Raum beträgt die Vorgabefrequenz hingegen 60,000 Hz.

Gegenwärtig ist diese Vorgabefrequenz nicht fixiert, sondern wird geringfügig variiert, um die sogenannte Netzzeit, die unter anderem als Zeitgeber für Uhren dient, an die koordinierte Weltzeit anzupassen. Folglich arbeitet ein derartiges Wechselstromnetz bei einer variablen Vorgabefrequenz. Gemäß den in Europa derzeit gültigen Normen wird bei einer Abweichung von +/- 20 Sekunden zwischen der Netzzeit und der Weltzeit die Vorgabefrequenz, je nach Abweichung der Netzzeit um 10 mHz abgesenkt oder erhöht, so dass die Vorgabefrequenz derzeit Werte von 49,990 Hz, 50,000 Hz oder 50,010 Hz einnehmen kann. Diese Anpassung wird zentral vom Netzbetreiber vorgenommen und beim Einsatz von Sekundärregelleistung (SRL) und Minutenreserveleistung (MRL) berücksichtigt.

Gemäß einer besonderen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung kann die Vorgabefrequenz, beispielsweise zur Anpassung an die Weltzeit, leicht variiert werden. Dies kann beispielsweise durch eine aktive Übermittlung der entsprechenden Daten durch den Netzbetreiber erfolgen.

Für Einzelheiten zur Regelung von Regelleistung und zum Informationsaustausch mit den Netzbetreibern sei auf das Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (FNN) „TransmissionCode 2007“ vom November 2009 verwiesen.

Gegenwärtig gibt es für die Quellen zur Bereitstellung von Primärregelleistung zwei Toleranzen, die hinsichtlich der Frequenzabweichungen relevant sind. Zum einen ist dies die Frequenzmessgenauigkeit. Diese darf maximal +/- 10 mHz betragen. Zudem gibt es einen sogenannten Unempfindlichkeitsbereich von maximal +/- 10 mHz, der den Primärregelleistung erbringenden Quellen zugestanden wird. Um ein Agieren der Regelleistungsquellen entgegen der erwünschten Richtung in jedem Fall zu vermeiden, haben die Übertragungsnetzbetreiber in Deutschland in ihren Rahmenverträgen beispielsweise ein Band von +/- 10 mHz um den Sollwert von 50,00 Hz festgelegt, in dem keine Primärregelleistung zu erbringen ist. Selbst bei maximaler Frequenzmessgenauigkeit von + 10 mHz oder - 10 mHz ist so ein Erbringen von

Regelleistung entgegen der erwünschten Richtung ausgeschlossen. Außerhalb dieser Grenzen muss gemäß den Vertragsbedingungen Regelleistung bereitgestellt werden.

Regelleistung wird gegenwärtig in Europa ab einer bestimmten maximalen Abweichung der Netzfrequenz (Ist-Wechselstromfrequenz) von der Vorgabefrequenz (Soll-Wechselstromfrequenz), bei einer Abweichung von +/- 200 mHz, in voller Höhe bereitgestellt. In dem Bereich zwischen dem Totband und der maximalen Abweichung soll in Europa nur ein bestimmter Anteil der maximal bereitstellbaren Regelleistung in das Stromnetz eingespeist werden. Die Art der Regelleistungserbringung ist für die vorliegende Erfindung nicht kritisch. Gemäß den in Europa derzeit gültigen Vorschriften ist der Betrag der zu erbringenden Leistung weitgehend linear mit zunehmender Frequenzabweichung von der Vorgabefrequenz zu erhöhen. So wird üblich bei einer Abweichung von 100 mHz eine Regelleistung erbracht, die 50 % der Maximalleistung beträgt. Diese Maximalleistung wird bei einer Abweichung von 200 mHz erbracht und entspricht der zuvor definierten Nennleistung oder kontrahierten Höchstleistung, für die der Energiespeicher mindestens präqualifiziert ist. Bei einer Abweichung von 50 mHz wird demgemäß 25 % der Nennleistung erbracht.

Es ist festzuhalten, dass durch das Verfahren ein Beitrag zur Stabilisierung des Netzes auch bei einer relativ geringen Kapazität des Energiespeichers erreicht werden kann, da eine Bereitstellung von Regelleistung auch stattfinden kann, falls die Netzfrequenz über einen sehr langen Zeitraum außerhalb des Totbandes liegt, innerhalb dessen keine Regelung notwendig ist.

Erfindungsgemäß wird ein Energiespeicher zur Durchführung des Verfahrens eingesetzt, der elektrische Energie aufnehmen und abgeben kann. Die Art des Energiespeichers ist für die Durchführung der vorliegenden Erfindung nicht wesentlich. Gemäß einem bevorzugten Aspekt der vorliegenden Erfindung kann als Energiespeicher ein System mit einem elektrochemischen Element eingesetzt werden. Vorzugsweise kann vorgesehen sein, dass als elektrochemisches Element ein Energiespeichersystem auf Basis von Wasserstoff, ein Redox-Flow-Element und/oder ein galvanisches Element verwendet wird, vorzugsweise ein Akkumulator.

Zu den Akkumulatoren zählen insbesondere Bleiakkumulatoren, Natrium-Nickelchlorid-Akkumulatoren, Natrium-Schwefel-Akkumulatoren, Nickel-Eisen-Akkumulatoren, Nickel-Cadmium-Akkumulatoren, Nickel-Metallhydrid-Akkumulatoren, Nickel-Wasserstoff-Akkumulatoren, Nickel-Zink-Akkumulatoren, Natrium-Ionen-Akkumulatoren, Kalium-Ionen-Akkumulatoren und Lithium-Ionen-Akkumulatoren.

Hierbei sind Akkumulatoren bevorzugt, die einen hohen Wirkungsgrad sowie eine hohe betriebliche und kalendarische Lebensdauer aufweisen. Zu den bevorzugten Akkumulatoren zählen demgemäß insbesondere Lithium-Ionen-Akkumulatoren (z. B. Lithium-Polymer-Akkumulatoren, Lithium-Titanat-Akkumulatoren, Lithium-Mangan-Akkumulatoren, Lithium-Eisen-Phosphat-Akkumulatoren, Lithium-Eisen-Mangan-Phosphat-Akkumulatoren, Lithium-Eisen-Yttrium-Phosphat-Akkumulatoren) sowie Weiterentwicklungen dieser, wie zum Beispiel Lithium-Luft-Akkumulatoren, Lithium-Schwefel-Akkumulatoren und Zinn-Schwefel-Lithium-Ionen-Akkumulatoren.

Insbesondere Lithium-Ionen-Akkumulatoren sind aufgrund ihrer schnellen Reaktionszeit, das heißt, sowohl hinsichtlich der Ansprechzeit als auch der Rate, mit der die Leistung gesteigert oder reduziert werden kann, für erfindungsgemäße Verfahren besonders geeignet. Zudem ist auch der Wirkungsgrad insbesondere bei Lithium-Ionen-Akkumulatoren gut. Ferner zeigen bevorzugte Akkumulatoren ein hohes Verhältnis von Leistung zu Kapazität, wobei dieser Kennwert als C-Rate bekannt ist.

Weiterhin können zur Durchführung der vorliegenden Erfindung Energiespeicher eingesetzt werden, die nicht auf elektrochemischen Elementen basieren.

Vorzugsweise kann vorgesehen sein, dass als Energiespeicher, der nicht auf einem elektrochemischen Element basiert, ein Schwungrad, ein Wärmespeicher, ein Erdgaserzeuger mit Gaskraftwerk, ein Pumpspeicherkraftwerk, ein Druckluftspeicherkraftwerk und/oder ein supraleitender magnetischer Energiespeicher, verwendet wird, oder Kombinationen („Pools“) von Speichern oder von Speichern mit konventionellen Regelleistungsquellen oder von Speichern mit Verbrauchern und/oder Energieerzeugern.

- 15 -

Ein als Energiespeicher betriebener Wärmespeicher muss zusammen mit einer Vorrichtung zur Herstellung von Strom aus der gespeicherten Wärmeenergie betrieben werden.

5 Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform können Energiespeicher eingesetzt werden, die mindestens zwei verschiedene Energiespeicher umfassen. Hierbei können sich die Energiespeicher beispielsweise durch den Wirkungsgrad unterscheiden.

Der Wirkungsgrad eines Energiespeichers, insbesondere Akkumulators definiert das Verhältnis zwischen Lademenge und Entlademenge. Bei 100 % Wirkungsgrad würde die gesamte geladene Energie zur Verfügung stehen. Da bei der Ladung eines  
10 Akkumulators ein Teil des eingeladenen Stroms in Nebenreaktionen fließen kann bzw. durch Selbstentladung verloren geht, steht für die Entladung nicht mehr die gesamte eingeladene Ladung zur Verfügung. Generell sinkt der Wirkungsgrad sowohl durch Schnellladung als auch durch schnelle Entladung, da die Verluste am Innenwiderstand zunehmen. Ähnliche Ausführungen gelten auch für die anderen zuvor dargelegten  
15 Energiespeicherarten.

Zu den Verlusten zählen unter anderem thermischen Verluste, zum Beispiel durch den inneren Widerstand eines elektrochemischen Elements oder aus mechanischen Reibungen eines Motors, unvollständige chemische Prozesse oder Selbstentladung eines elektrochemischen Elements. Nebenkomponenten die für das gesamt  
20 Speichersystem relevant sind und Strom benötigen, um das Speichern von elektrischer Energie zu ermöglichen, sind in der Wirkungsgradbestimmung zu berücksichtigen. Insbesondere zählen hierzu Pumpen, Verdichter oder Kühlaggregate, sowie die Energie, die für die Steuerung und/oder für das Energiemanagementsystem notwendig ist.

25 Um den Wirkungsgrad einer Batterie bzw. eines Akkumulators mit dem eines anderen Energiespeichers (z.B. in Form von Wasserstoff) vergleichen zu können, beziehen sich die Wirkungsgradangaben im Allgemeinen auf den Energiewirkungsgrad, falls nichts anderes angegeben ist.

Der Energiewirkungsgrad bestimmt sich gemäß:

- 16 -

$$\eta_{Wh} = \frac{E_{Ela}}{E_{Lad}}$$

wobei  $E_{Ela}$  die entnehmbare Energie und  $E_{Lad}$  die zugeführte Energie darstellt.

Da der Wirkungsgrad vieler Akkumulatoren von der Stromstärke der Lade- und Entladevorgänge sowie der Lade- und der Entladetemperatur abhängig ist, wird zur  
5 Bestimmung des Wirkungsgrades der Akkumulator mit einer auf die Nennkapazität des Akkumulator bezogene Stromstärke von 0,2 C bei einer Temperatur von 25 °C geladen und unmittelbar nach dem Ladevorgang mit einer auf die Nennkapazität des Akkumulator bezogene Stromstärke von 0,2 C bei 25 °C entladen. Bei einer auf die Nennkapazität des Akkumulators bezogenen Stromstärke von 0,2 C wird der  
10 Akkumulator innerhalb von 5 Stunden geladen bzw. entladen.

Die Nennkapazität  $Q_N$  (in Ah) wiederum ergibt sich aus der Masse  $m$  [kg] und der spezifischen Kapazität  $q$  [Ah/kg] des aktiven Elektrodenmaterials zum Zeitpunkt der Herstellung der Batterie, wobei gilt:  $Q_N = q \cdot m$ .

Gegebenenfalls kann die Nennkapazität gemäß den in DIN 40 729 gegebenen  
15 Parametern für verschiedene Batterietypen bestimmt werden. Vielfach wird bei kommerziellen Akkumulatoren die Nennkapazität angegeben.

Auch kann vorgesehen sein, dass in dem Energiespeicher eine Energie von zumindest 4 kWh gespeichert werden kann, vorzugsweise von zumindest 10 kWh, insbesondere zumindest 20 kWh, besonders bevorzugt zumindest 50 kWh, ganz besonders bevorzugt  
20 zumindest 250 kWh.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung kann der Energiespeicher eine Kapazität von mindestens 5 Ah, bevorzugt mindestens 10 Ah, besonders bevorzugt mindestens 50 Ah besitzen.

Bei Verwendung von Speichern, die auf elektrochemischen Elementen beruhen,  
25 insbesondere Akkumulatoren, kann dieser Speicher vorteilhaft mit einer Spannung von mindestens 1 V, vorzugsweise mindestens 10 V und besonders bevorzugt mindestens 100 V betrieben werden.

- 17 -

Die Kapazität kann an die Nennleistung und den zuvor definierten festgelegten Zeitraum angepasst werden. Größere Kapazitäten sind für höhere Nennleistungen und längere Zeiträume notwendig. Bei Verwendung von mindestens zwei verschiedenen Energiespeichern, die sich beispielsweise im Wirkungsgrad unterscheiden, kann das  
5 Verhältnis der Speicherkapazitäten der mindestens zwei Energiespeicher an deren Leistungsfähigkeit, unter Berücksichtigung der preislichen Unterschiede angepasst werden. Bei sehr großen Unterschieden in Preis und Leistung, wird im Allgemeinen ein relativ großer Unterschied in den Kapazitäten sinnvoll sein.

Das Verfahren der vorliegenden Erfindung wird mit einem Differenzleistungserbringer  
10 durchgeführt. Differenzleistungserbringer sind in diesem Zusammenhang Vorrichtungen, die sich von mindestens einem der ebenfalls eingesetzten Energiespeicher unterscheiden und die Regelleistung bereitstellen können.

Vorzugsweise kann der Differenzleistungserbringer die Leistungsaufnahme und/oder –  
abgabe innerhalb von 30 s um mindestens 75 %, bevorzugt um mindestens 80 % und  
15 besonders bevorzugt um mindestens 90 % der maximal zu erbringenden Regelleistung erhöhen oder absenken.

Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung kann als Differenzleistungserbringer  
auch ein Energiespeicher mit einem geringen Wirkungsgrad eingesetzt werden, so dass  
die vorliegende Erfindung mit zwei Energiespeichern durchgeführt wird, die sich im  
20 Wirkungsgrad unterscheiden, wobei der Energiespeicher mit dem niedrigeren  
Wirkungsgrad als Differenzleistungserbringer eingesetzt wird. Weiterhin kann die  
Erfindung so ausgeführt werden, dass als Energiespeicher ein Energiespeichersystem  
mit einem elektrochemischen Element und als Differenzleistungserbringer ein  
Energiespeichersystem, das nicht auf einem elektrochemischen Element basiert,  
25 eingesetzt wird.

Durch diese Ausgestaltung kann die Speicherkapazität eines Energiespeichers mit  
einem hohen Wirkungsgrad, bezogen auf die bereitstellbare Regelleistung,  
insbesondere die kontrahierte Höchstleistung gering gehalten werden, so dass  
überraschende Kostenvorteile erhalten werden.

- 18 -

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung kann ein Differenzleistungserbringer eingesetzt werden, der keinen Energiespeicher darstellt. Zu den Differenzleistungserbringern, die keinen Energiespeicher darstellen zählen insbesondere Energieerzeuger und/oder Energieverbraucher.

- 5 Es kann erfindungsgemäß vorgesehen sein, dass als Energieerzeuger ein Kraftwerk verwendet wird, vorzugsweise ein Kohlekraftwerk, ein Gaskraftwerk oder ein Wasserkraftwerk und/oder als Energieverbraucher eine Industrieanlage, beispielsweise ein Werk zum Herstellen einer Substanz verwendet wird, insbesondere ein Elektrolyse-Werk oder ein Metall-Werk, vorzugsweise ein Aluminium-Werk oder ein Stahlwerk.
- 10 Hierbei sind insbesondere solche zusätzlichen Differenzleistungserbringer bevorzugt, die auch im Zusammenhang mit Erneuerbaren Energien eingesetzt werden können, wie beispielsweise Elektrolyse-Werke oder Metall-Werke, deren Produktion zur Bereitstellung von positiver Regelleistung verringert werden kann.

Durch diese Ausgestaltung kann überraschend die Nennleistung des Energiespeichers  
15 gesteigert werden, ohne dass die Kapazität desselben vergrößert werden muss. Hierbei kann dem Energiespeicher Leistung durch den zusätzlichen Differenzleistungserbringer auch bei einer hohen Netzbelastung in sehr kurzer Zeit bei Bedarf bereitgestellt werden, ohne dass ein langwieriger Energiehandel notwendig ist. Überraschend kann daher bei einer relativ geringen Kapazität des Speichers eine relativ hohe Leistung abgegeben  
20 werden, die im Allgemeinen nur für einen kurzen Zeitraum abgegeben werden kann. Durch den unmittelbaren Zugriff auf den zusätzlichen Differenzleistungserbringer kann dieser nach einer kurzen Zeit die eigentlich vom Energiespeicher zur Verfügung zu stellende Regelleistung erbringen bzw. substituieren. So kann insbesondere eine Regeneration des Energiespeichers durch die Energie oder Leistung des zusätzlichen  
25 Differenzleistungserbringers erfolgen. Hierbei trägt der Energiespeicher zur Qualität der Regelleistungserbringung bei, da hierdurch eine schnelle Reaktionszeit erzielt wird. Im Gegensatz hierzu trägt der zusätzliche Differenzleistungserbringer vor allem zur Quantität bei, da dieser bei relativ geringen Kosten über eine bauartbedingte, deutlich längere Zeit Regelleistung liefern kann.

30 Weiterhin kann durch die Verwendung mindestens eines Energieerzeugers und/oder Energieverbrauchers überraschend der Wirkungsgrad dieser Differenzleistungs-

erbringer gesteigert werden, so dass diese Ausführungsform bevorzugt ist. In diesem Zusammenhang ist insbesondere festzuhalten, dass bevorzugte Differenzleistungserbringer ihren maximalen Wirkungsgrad nicht bei einer kurzfristigen Maximalleistung haben, sondern leicht darunter. Bei einer Erbringung von Regelleistung nimmt zwar der Wirkungsgrad entsprechend den Anforderungen ab, aber durch den seltenen Einsatz der Differenzleistungserbringer kann über einen langen Zeitraum, beispielsweise ein Kalenderjahr, gesehen der Wirkungsgrad gesteigert werden, bezogen auf den Fall, dass sämtliche Regelleistung durch den Differenzleistungserbringer erbracht werden müsste.

5 Hierbei können ein oder mehrere Differenzleistungserbringer zur Durchführung des vorliegenden Verfahrens eingesetzt werden, wobei ein oder mehrere Energieerzeuger, ein oder mehrere Energieverbraucher und Kombinationen von Energieerzeugern mit Energieverbrauchern eingesetzt werden können.

Gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung können als  
15 Differenzleistungserbringer ausschließlich ein oder mehrere Energieerzeuger eingesetzt werden, die sowohl positive als auch negative Regelleistung erbringen. Diese Ausführungsform ermöglicht eine einfache Steuerung und beruht auf erprobten Techniken.

Gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung können als  
20 Differenzleistungserbringer ausschließlich ein oder mehrere Energieverbraucher eingesetzt werden, die sowohl positive als auch negative Regelleistung erbringen. Diese Ausführungsform zeichnet sich ebenfalls durch eine einfache Steuerung aus und kann des Weiteren sehr gut in Kombination mit Erneuerbaren Energien eingesetzt werden. Ferner kann hierdurch der Kohlendioxidausstoß gesenkt werden.

25 Gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung können als Differenzleistungserbringer mindestens ein Energieerzeuger und mindestens ein Energieverbraucher gemeinsam betrieben werden, wobei die Leistung, die der Energieverbraucher dem Stromnetz entnimmt, gedrosselt wird, um eine positive Regelleistung bereitzustellen und die Leistung, die der Energieerzeuger ins Stromnetz  
30 einspeist, gedrosselt wird, um eine negative Regelleistung bereitzustellen. Diese Ausführungsform bedarf einer etwas komplexeren Steuerung als die ersten beiden

- 20 -

Ausführungsformen, jedoch ist diese Ausführungsform auch mit Energieerzeugern und/oder Energieverbrauchern, bei denen der maximale Wirkungsgrad nahe bei einer kurzfristigen Maximalleistung liegt, besonders zweckmäßig. Hierdurch kann die jeweilige Vorrichtung unabhängig von der Leistung, bei der der optimale Wirkungsgrad gegeben ist, betrieben werden. Falls der optimale Wirkungsgrad bei einem Energieerzeuger beispielsweise bei 100 % der Leistung liegt, so kann durch diese Ausgestaltung eine positive Regelleistung beispielsweise durch eine Drosselung des Energieverbrauchers bereitgestellt werden, wohingegen der Energieerzeuger bei einem optimalen Wirkungsgrad betrieben wird.

10 Ferner kann vorgesehen sein, dass der Energieerzeuger und/oder der Energieverbraucher einzeln oder im Pool eine Leistung von zumindest 10 kW hat oder haben, vorzugsweise zumindest 100 kW, besonders bevorzugt zumindest 1 MW und ganz besonders bevorzugt von zumindest 10 MW.

Das Verhältnis von Nennleistung des Energiespeichers zur maximalen Leistung des zusätzlichen Differenzleistungserbringers kann vorzugsweise im Bereich von 1:10000 bis 100:1, besonders bevorzugt im Bereich von 1:1000 bis 40:1 liegen. Hierbei bezieht sich die Nennleistung des Energiespeichers auf die Gesamtleistung, die sämtliche Elemente des Energiespeichers aufweisen, wobei auch Energiespeicher, die kein elektrochemisches Element darstellen, zu berücksichtigen sind.

20 Hierbei können die zuvor dargelegten Einrichtungen einer Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, insbesondere der Energiespeicher und der Differenzleistungserbringer in räumlicher Nähe angeordnet sein oder über eine größere Entfernung zu einander aufgestellt sein. Wesentlich ist, dass beide Einrichtungen über eine zentrale Steuerungseinheit gemeinsam gesteuert werden, wobei dies insbesondere durch ein gemeinsames Managementsystem realisiert werden kann. Hierbei können die einzelnen Elemente der Vorrichtung jeweils ein Subsystem aufweisen, das partielle Steuerungsaufgaben übernimmt.

Gemäß der vorliegenden Erfindung arbeitet das Wechselstromnetz bei einer Vorgabefrequenz, wie dies zuvor dargelegt wurde. Um diese Vorgabefrequenz ist ein Frequenzband definiert, wobei die Regelleistung, die bei einer Frequenzabweichung innerhalb des Frequenzbandes zu erbringen ist, zu mehr als 50 %, bevorzugt zu mehr

als 80 % und besonders bevorzugt zu mehr als 90 %, bezogen auf die insgesamt zu erbringende Regelleistung, vom Energiespeicher erbracht wird. Der Differenzleistungserbringer erbringt den verbleibenden Teil der Regelleistung, vorzugsweise höchstens 40 %, bevorzugt höchstens 20 % und besonders bevorzugt  
5 höchstens 10 %, bezogen auf die insgesamt zu erbringende Regelleistung, die bei einer Frequenzabweichung innerhalb des Frequenzbandes zu erbringen ist. Es sei jedoch angemerkt, dass der Differenzleistungserbringer zur Einstellung des Ladezustandes des Energiespeichers Verwendung finden kann.

Ferner kann vorgesehen sein, dass die Regelleistung, die bei einer  
10 Frequenzabweichung außerhalb des Frequenzbandes zu erbringen ist, zu mehr als 50 %, bevorzugt zu mehr als 80 % und besonders bevorzugt zu mehr als 90 %, bezogen auf die für die Frequenzabweichung außerhalb des Frequenzbandes zu erbringende Regelleistung, vom Differenzleistungserbringer erbracht wird. Diese Ausgestaltung ist besonders für Differenzleistungserbringer zweckmäßig, bei denen  
15 eine starke Abnahme des Wirkungsgrades bei einer Vorhaltung von Regelleistung gegeben ist. Dies ist beispielsweise zutreffend, falls als Differenzleistungserbringer nur ein Energieverbraucher oder ein Energieerzeuger eingesetzt wird, so dass diese Anlage bei einer Leistung unterhalb des Wirkungsgradoptimums betrieben werden muss.

Je nach Ausgestaltung der Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen  
20 Verfahrens kann bei einer Frequenzabweichung außerhalb des Frequenzbandes, die zu erbringende Regelleistung zu mehr als 50 %, bevorzugt zu mehr als 80 % und besonders bevorzugt zu mehr als 90 %, bezogen auf die insgesamt zu erbringende Regelleistung, vom Differenzleistungserbringer erbracht werden. Hierdurch kann der Energiespeicher geschont und gegebenenfalls regeneriert werden. Der Energiespeicher  
25 erbringt den verbleibenden Teil der Regelleistung, vorzugsweise höchstens 40 %, bevorzugt höchstens 20 % und besonders bevorzugt höchstens 10 %, die bei einer Frequenzabweichung außerhalb des Frequenzbandes zu erbringen ist, bezogen auf die für die Frequenzabweichung außerhalb des Frequenzbandes zu erbringende Regelleistung oder auf die insgesamt zu erbringende Regelleistung.

- 22 -

Hierbei kann sich das um die Vorgabefrequenz definierte Frequenzband von dem Frequenzbereich unterscheiden, welches dazu dient, die Erbringung von Regelleistung gemäß den Standardvorgaben zu beschreiben. So wird im Weiteren der Begriff Totband dazu verwendet, die Erbringung einer Regelleistung gemäß den Standardvorgaben darzulegen, wohingegen der Begriff Frequenzband einen Bereich von Frequenzen beschreibt, der dazu dient festzulegen, ob eine Abweichung zwischen Netzfrequenz und Vorgabefrequenz vorliegt, die zum Einsatz des Differenzleistungserbringers führt, wie dies zuvor und nachfolgend beschrieben ist.

Hierbei kann das Frequenzband, welches um die Vorgabefrequenz definiert ist, dem Totband entsprechen, es kann alternativ kleiner als das Totband sein und gemäß einer bevorzugten Alternative kann das Totband kleiner sein als das Frequenzband.

Vorzugsweise kann zur Bestimmung der Netzfrequenz, insbesondere der mittleren Netzfrequenz eine Einheit mit einer hohen Messgenauigkeit eingesetzt werden. Eine besonders bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung kann vorsehen, dass die Frequenzabweichung mit einer Ungenauigkeit von maximal  $\pm 8$  mHz, besonders bevorzugt von maximal  $\pm 4$  mHz, ganz besonders bevorzugt von maximal  $\pm 2$  mHz, speziell bevorzugt von maximal  $\pm 1$  mHz gemessen wird.

Die Bandbreite des Frequenzbandes und/oder die Lage des Frequenzbandes, welches um die Vorgabefrequenz definiert ist, kann je nach den Anforderungen gewählt werden. Hierbei kann das Frequenzband eine feste Breite und eine feste Lage aufweisen. Beispielsweise kann das Frequenzband symmetrisch um die Vorgabefrequenz definiert werden. Die hierfür erforderliche Steuerung kann relativ einfach ausgestaltet werden. Überraschende Vorteile können dadurch erzielt werden, dass die Bandbreite des Frequenzbandes und/oder die Lage des Frequenzbandes, welches um die Vorgabefrequenz definiert ist, in Abhängigkeit des Ladezustandes des Energiespeichers gewählt wird.

Ferner kann vorgesehen sein, dass das Frequenzband, welches um die Vorgabefrequenz definiert ist, eine Bandbreite im Bereich von 20 bis 400 mHz, vorzugsweise 80 bis 300 mHz und besonders bevorzugt 100 bis 150 mHz aufweist. Bei einer Abhängigkeit der Breite des Frequenzbandes von dem Ladezustand des

Energiespeichers stellen diese Werte die Maximalwerte dar, die bei einem optimalen Ladezustand eingestellt werden. Bei einer Abweichung des Ladezustandes von dem optimalen oder anzustrebenden Ladezustand kann das Frequenzband enger gewählt werden.

- 5 Weiterhin kann die Lage des Frequenzbandes, welches um die Vorgabefrequenz definiert ist, an die Gegebenheiten angepasst werden. Ein um die Vorgabefrequenz symmetrisch definiertes Frequenzband kann besonders einfach implementiert werden. Gemäß einer ersten bevorzugten Ausgestaltung kann die Lage des Frequenzbandes jedoch so gegenüber der Vorgabefrequenz verschoben werden, dass die im
- 10 einleitenden Teil dieser Schrift beschriebenen Ein- und Ausspeiseverluste im Mittel kompensiert werden. Demgemäß wird im Mittel durch den Energiespeicher mehr negative als positive Regelleistung erbracht, wobei diese Verschiebung vom Wirkungsgrad und/oder einer möglichen Selbstentladung des Energiespeichers abhängig ist. Die optimalen Werte hierfür können durch eine Optimierung leicht erhalten
- 15 werden. Überraschende Vorteile lassen sich weiterhin dadurch erzielen, dass die Lage des Frequenzbandes vom Ladezustand des Energiespeichers abhängig gemacht wird. Bei einem hohen Ladezustand des Energiespeichers kann das Frequenzband so verschoben werden, dass vermehrt positive Regelleistung erbracht wird, wohingegen bei einem niedrigen Ladezustand des Energiespeichers vermehrt negative
- 20 Regelleistung erbracht wird.

Der anzustrebende Ladezustand des Energiespeichers kann vorzugsweise im Bereich von 20 bis 80 % der Kapazität liegen, besonders bevorzugt im Bereich von 40 bis 60 %. Die Einhaltung und/oder die Rückkehr in diese Ladezustandsbereiche kann beispielsweise durch Nutzung der dieser Erfindung zu Grunde liegende Betriebsweise

25 und/oder über den zuvor näher erläuterten Energiehandel über das Stromnetz erreicht werden. Der Ladezustand entspricht insbesondere im Fall von Akkumulatoren als Energiespeicher dem Ladungszustand (engl.: „State-of-Charge“, SoC) oder dem Energiegehalt (engl.: „State-of-Energie“, SoE).

Hierbei kann der Ladezustand über den Energieaustausch, der bei Entlade- und

30 Aufladevorgängen durch entsprechende Methoden abgeschätzt oder unmittelbar

- 24 -

gemessen werden kann, bestimmt werden. Die hierzu notwendigen Messgeräte sind kommerziell erhältlich, wobei der Ladezustand kontinuierlich oder in Intervallen gemessen werden kann.

Der anzustrebende Ladezustand des Energiespeichers kann von Vorhersagedaten abhängen. So können insbesondere Verbrauchsdaten zur Bestimmung des optimalen Ladezustandes herangezogen werden, die von der Tageszeit, dem Wochentag und/oder der Jahreszeit abhängig sind.

Es kann auch vorgesehen sein, dass die ans Stromnetz abgegebene Leistung des Energiespeichers oder die aus dem Stromnetz aufgenommene Leistung des Energiespeichers zu mehreren Zeitpunkten, insbesondere kontinuierlich gemessen wird und der Ladezustand des Energiespeichers zu mehreren Zeitpunkten, vorzugsweise kontinuierlich berechnet wird.

Die Erbringung der Regelleistung innerhalb des um die Vorgabefrequenz definierten Frequenzbandes erfolgt vorwiegend durch den Energiespeicher, wohingegen bei einer Netzfrequenz außerhalb des Frequenzbandes vorzugsweise mindestens ein Teil der Regelleistung durch den Differenzleistungserbringer erbracht wird. Die Zuschaltung des Differenzleistungserbringers kann hierbei entsprechend der Trägheit des Differenzleistungserbringers erfolgen, so dass bei sehr kurzfristigen Abweichungen die Regelleistung ausschließlich durch den Energiespeicher erbracht wird. Hierbei kann zur Schonung und/oder Regenerierung des Energiespeichers außerhalb des Frequenzbandes die Regelleistung auch vollständig vom Differenzleistungserbringer geliefert werden. Hierbei können die Übergänge entsprechend der Trägheit des Differenzleistungserbringers gewählt werden, so dass auch relativ träge Systeme in einer Vorrichtung zur Durchführung der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden können. Bei einer Rückkehr der Netzfrequenz in den Bereich des zuvor dargelegten Frequenzbandes kann eine durch die Trägheit des Differenzleistungserbringers verursachte Überschussleistung zur Regenerierung des Energiespeichers eingesetzt werden.

Überraschende Vorteile lassen sich dadurch erzielen, dass nicht bei jeder sehr kurzfristigen Frequenzabweichung außerhalb des Frequenzbandes, welches um die Vorgabefrequenz definiert ist, der Differenzleistungserbringer zugeschaltet wird,

- 25 -

sondern erst bei einer dauerhaften Frequenzabweichung über einen festgelegten Zeitraum. Gemäß dieser Ausführungsform wird überprüft, ob die Netzfrequenz dauerhaft außerhalb des um die Vorgabefrequenz definierten Frequenzbandes liegt. Bei einer dauerhaften Abweichung der Netzfrequenz über einen festgelegten Zeitraum wird  
5 zumindest ein Teil der zu erbringenden Regelleistung durch den Differenzleistungserbringer erbracht.

Der festgelegte Zeitraum richtet sich nach den Gegebenheiten der Vorrichtung zur Durchführung des vorliegenden Verfahrens. Zu diesen Gegebenheiten zählen beispielsweise die Trägheit des Differenzleistungserbringers, die Leistungsfähigkeit und  
10 die Kapazität des Energiespeichers. Vorteilhaft kann der festgelegte Zeitraum beispielsweise im Bereich von 1 Sekunde bis 8 Stunden, bevorzugt 30 Sekunden bis 1 Stunden, vorzugsweise 1 Minute bis 30 Minuten und besonders bevorzugt 2 Minuten bis 15 Minuten liegen. Hierbei kann der festgelegte Zeitraum auch variabel gestaltet werden, wobei dieser Zeitraum beispielsweise vom Ladezustand des Energiespeichers  
15 gewählt werden kann. Die vorgenannten Werte gelten im Fall von variablen Zeiträumen als Maximalwert. Je nach Art der zu erbringenden Regelleistung und dem Ladezustand können diese Zeiträume verkürzt werden, so dass bei einem geringen Ladezustand und einer positiven Regelleistungsanfrage der Differenzleistungserbringer schneller zugeschaltet wird.

20 Eine dauerhafte Frequenzabweichung außerhalb des Frequenzbandes ist gegeben, falls über den zuvor dargelegten festgelegten Zeitraum die Netzfrequenz zumindest zu 60 %, vorzugsweise mindestens 80 %, bevorzugt mindestens 90 %, speziell bevorzugt mindestens 95 % und besonders bevorzugt mindestens 99 % einseitig oberhalb oder unterhalb des Frequenzbandes liegt. Gemäß einer besonders bevorzugten  
25 Ausgestaltung bedeutet eine dauerhafte Frequenzabweichung außerhalb des Frequenzbandes, dass die Frequenz über den gesamten Zeitraum außerhalb des Frequenzbandes liegt.

Falls eine dauerhafte Frequenzabweichung außerhalb des Frequenzbandes über einen festgelegten Zeitraum vorliegt, kann nach diesem festgelegten Zeitraum Regelleistung  
30 durch den Differenzleistungserbringer erbracht werden. Hierbei kann die Regelleistung

- 26 -

vollständig durch den Differenzleistungserbringer erbracht werden. Vorzugsweise kann der Energiespeicher in Kombination mit dem Differenzleistungserbringer Regelleistung erbringen. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform können hierbei kurzfristige Schwankungen durch den Energiespeicher abgemildert werden, während der Differenzleistungserbringer eine relativ konstante Regelleistung bereitstellt.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform kann über eine gleitende Mittelwertbildung der Netzfrequenz bestimmt werden, ob Regelleistung durch den Differenzleistungserbringer erbracht werden soll.

Geleitende Mittelwertbildung bedeutet, dass nicht sämtliche Datenpunkte zur Berechnung des Mittelwerts herangezogen werden, sondern lediglich ein Teil derselben. Vorzugsweise werden zur Berechnung des gleitenden Mittelwerts die Daten berücksichtigt, die über einen Zeitraum bestimmt wurden, der höchstens dem dreifachen, vorzugsweise höchstens dem doppelten des zuvor definierten festgelegten Zeitraums entspricht. Es kann sich insbesondere auch nur um einen Teil des zuvor definierten festgelegten Zeitraums handeln. Beispielsweise kann der Zeitraum, über den die Werte zur Bestimmung des gleitenden Mittelwerts, gesammelt werden, im Bereich von 30 Sekunden bis 2 Stunden, vorzugsweise 1 Minute bis 1 Stunde und besonders bevorzugt 2 Minuten bis 15 Minuten liegen.

Hierbei können die Mittelwerte auf verschiedenste Weisen gebildet werden, wie beispielsweise eine einfache Verschiebung, ohne Gewichtung der Daten (simple moving average (SMA)). Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform kann ein gewichteter gleitender Mittelwert (weighted moving average (WMA)), bei dem die jüngeren Daten vorzugsweise ein höheres Gewicht aufweisen als die älteren, zur Bestimmung der variablen Frequenz eingesetzt werden. Hierbei kann eine einfache Gewichtung vorgenommen werden oder eine exponentielle Glättung durchgeführt werden. Die Anzahl der Datenpunkte hängt hierbei von der Häufigkeit der Frequenzmessung ab, wobei zur Reduktion des Speicherplatzes auch die Mittelwerte der Daten eingesetzt werden können. Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung werden innerhalb eines Zeitraums von 1 Minute mindestens 10 Datenpunkte gebildet, die zur Bestimmung des Mittelwertes eingesetzt werden können.

- 27 -

Ferner kann vorgesehen sein, dass der Differenzleistungserbringer bei einer kurzfristigen Frequenzabweichung außerhalb eines Frequenzbandes, welches um die Vorgabefrequenz definiert ist, keine Energie zur Erbringung von Regelleistung aufnimmt oder abgibt. Hierbei stellt der Begriff „kurzfristige Frequenzabweichung außerhalb eines Frequenzbandes, welches um die Vorgabefrequenz definiert“, ein Antonym für eine dauerhafte Frequenzabweichung außerhalb eines Frequenzbandes über einen festgelegten Zeitraum dar, wie dieser zuvor definiert wurde. Demgemäß wird die Erfindung bevorzugt so ausgeführt, dass Regelleistung für Frequenzabweichungen, die mit einer hohen Schwingungszahl vorliegen, vorzugsweise ausschließlich mit dem Energiespeicher erbracht wird, während der Differenzleistungserbringer zur Erbringung von Regelleistung für Frequenzabweichungen herangezogen wird, die eine geringe Schwingungszahl haben.

Hierbei können vorzugsweise Fourieranalysen herangezogen werden, wobei die Frequenzbänder, bei denen der Energiespeicher eingesetzt wird, vorzugsweise so gewählt werden, dass der Differenzregelleistungserbringer vorzugsweise in höchstens 10 % der Zeit, besonders bevorzugt in höchstens 5 % der Zeit und speziell bevorzugt in höchstens 3 % der Zeit, bezogen auf das Kalenderjahr, eingesetzt wird.

Gemäß einer besonderen Ausgestaltung kann eine Regeneration des Energiespeichers auch dann noch erfolgen, wenn die gemessene Frequenz längerfristig einseitig außerhalb eines Totbandes liegt. Diese Ausgestaltung ist insbesondere in Zusammenhang mit der Art und Weise der Ausnutzung von Toleranzen, die beispielsweise hinsichtlich der Höhe der Regelleistungserbringung, der Zeit, innerhalb der die Regelleistung zu erbringen ist, und den Frequenztoleranzen geeignet, den Ladezustand zu optimieren.

Beispielsweise kann vermehrt negative Regelleistung bereitgestellt werden, falls der Ladezustand des Energiespeichers aufgrund einer Netzfrequenz, die im Mittel über einen längeren Zeitraum unterhalb der Vorgabefrequenz liegt, sehr tief ist. Hierbei können Toleranzen, beispielsweise die dem Differenzleistungserbringer vom Netzbetreiber zugestandenen Toleranzen, im Hinblick auf die Netzfrequenz, die Höhe der Regelleistung abhängig von der Frequenzabweichung, die Unempfindlichkeit

- 28 -

hinsichtlich der Frequenzänderung, und den Zeitraum, innerhalb der die Regelleistung zu erbringen ist, ausgenutzt werden, um den Ladezustand des Energiespeichers an die Erfordernisse anzupassen. So kann anstatt der vorgesehenen negativen Regelleistung beispielsweise mindestens 105 %, vorzugsweise mindestens 110 % und besonders bevorzugt mindestens 115 % dieser Regelleistung erbracht werden. Falls bei einem tiefen Ladezustand nun positive Regelleistung bereitgestellt werden muss, so wird in diesem Fall möglichst genau die vertraglich zu erbringende Leistung bereitgestellt. Weiterhin kann die Energieaufnahme bei einem tiefen Ladezustand unmittelbar erfolgen, während die Energieeinspeisung zu einem gemäß den Regularien spätest möglichen Zeitpunkt bzw. mit einem gemäß den Regularien möglichst langsamen Anstieg erfolgt. Weiterhin kann die durch den Netzbetreiber zugestandene Frequenztoleranz verwendet werden, indem eine Messung mit einer höheren Genauigkeit durchgeführt wird, wobei die hierdurch gewonnene Differenz zur zugestandenen Messungengenauigkeit gezielt eingesetzt wird, um gemäß den Regularien, d.h. im gegebenen Toleranzrahmen, bei niedrigem Ladezustand möglichst wenig Leistung in das Netz einzuspeisen bzw. möglichst viel Leistung aus dem Netz aufzunehmen. Bei einem hohen Ladezustand kann spiegelverkehrt verfahren werden. So ist beispielsweise eine hohe Energieabgabe bei Bereitstellung einer positiven Regelleistung und eine geringe Energieaufnahme bei Bereitstellung einer negativen Regelleistung möglich bzw. zu realisieren.

Unter der Toleranz bezüglich des Betrags der bereitgestellten Regelleistung und der Toleranz bei der Bestimmung der Frequenzabweichung usw. ist erfindungsgemäß zu verstehen, dass vom Netzbetreiber, aufgrund technischer Rahmenbedingungen, wie der Messgenauigkeit beim Bestimmen der erbrachten Regelleistung oder der Netzfrequenz, gewisse Abweichungen zwischen einer idealen Sollleistung und der tatsächlich erbrachten Regelleistung akzeptiert werden. Die Toleranz kann vom Netzbetreiber gewährt sein, könnte aber auch einer gesetzlichen Vorgabe entsprechen.

Gemäß einer besonderen Ausgestaltung kann die Zuführung von Energie in den Energiespeicher von der Tageszeit abhängig sein. Hierdurch kann eine hohe Stabilität des Netzes auch bei einer hohen Last bei bestimmten Tageszeiten sichergestellt werden. So kann bei Spitzenlasten eine Regeneration des Energiespeichers, die

aufgrund der Abweichung der Netzfrequenz von der Vorgabefrequenz über einen längeren Zeitraum sinnvoll wäre, ausgeschlossen werden.

Ferner kann vorgesehen sein, dass mehrere Energiespeicher gemäß dem vorliegenden Verfahren eingesetzt werden. In einer besonderen Ausführungsform können hierbei alle  
5 oder nur ein Teil dieser Energiespeicher eine an den Ladungszustand der Energiespeicher angepasste Regelleistung erbringen, wie diese zuvor dargelegt wurde.

Die Größe der Energiespeicher innerhalb des Pools kann dabei variieren. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform wird bei den verschiedenen Energiespeichern eines Pools bei der Ausnutzung von Toleranzen, insbesondere der Wahl der Bandbreite  
10 im Totband, der Wechsel von einer Parametereinstellung auf eine andere nicht synchron, sondern gezielt zeitlich versetzt vorgenommen, um etwaige Störungen im Netz möglichst gering oder zumindest tolerabel zu halten.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform variieren die bei den verschiedenen Verfahrensweisen genutzten Toleranzen, insbesondere der Wahl der Bandbreite im  
15 Totband abhängig von der Tageszeit, dem Wochentag oder der Jahreszeit. Zum Beispiel können in einem Zeitraum von 5 min vor bis 5 min nach dem Stundenwechsel Toleranzen enger definiert werden. Dies ist darin begründet, dass hier oft sehr rapide Frequenzänderungen stattfinden. Es kann im Interesse der Übertragungsnetzbetreiber liegen, dass hier geringere Toleranzen vorliegen und damit die  
20 Regelennergiebereitstellung sicherer im Sinne von schärfer erfolgt.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann im Rahmen der Vorgaben zur Erbringung von Regelleistung vorgesehen sein, dass durch den in dem vorliegenden Verfahren eingesetzten Energiespeicher durchschnittlich mehr Energie aus dem Netz aufgenommen als eingespeist wird. Dies kann dadurch erfolgen, dass gemäß den  
25 Regularien einschließlich der zuvor dargelegten Verfahrensweise bevorzugt sehr viel negative Regelleistung bereitgestellt wird, wohingegen gemäß den Regularien einschließlich der zuvor dargelegten Vorgehensweise bevorzugt nur die mindestens zugesicherte Leistung an positiver Regelleistung erbracht wird. Vorzugsweise wird durchschnittlich mindestens 0,1 % mehr an Energie aus dem Netz entnommen als  
30 eingespeist, insbesondere mindestens 0,2 %, bevorzugt mindestens 0,5 %, besonders bevorzugt mindestens 1,0 %, speziell bevorzugt 5 %, wobei diese Werte auf einen

- 30 -

Durchschnitt bezogen sind, der über einen Zeitraum von mindestens 15 Minuten, vorzugsweise mindestens 4 Stunden, besonders bevorzugt mindestens 24 Stunden und speziell bevorzugt mindestens 7 Tage gemessen wird, und sich auf die eingespeiste Energie beziehen.

- 5 Hierbei kann die zuvor dargelegte Regelleistungserbringung gezielt eingesetzt werden, um ein Maximum an Energie aus dem Netz zu entnehmen, wobei die maximal mögliche negative Regelleistung bereitgestellt wird, wohingegen nur ein Minimum an positiver Regelleistung erbracht wird.

10 In den Ausführungsformen zur bevorzugten und speziell zur maximalen Energieaufnahme können die hierdurch aus dem Netz entnommenen Energien über den zuvor beschriebenen Energiehandel verkauft werden, wobei dies vorzugsweise zu Zeitpunkten erfolgt, zu denen ein höchstmöglicher Preis zu erzielen ist. Hierzu können Prognosen über die Preisentwicklung herangezogen werden, die auf historischen Daten beruhen.

- 15 Weiterhin kann der Ladezustand zum Zeitpunkt eines geplanten Verkaufs an Energie vorzugsweise mindestens 70 %, besonders bevorzugt mindestens 80 % und besonders bevorzugt mindestens 90 % der Speicherkapazität betragen, wobei der Ladezustand nach dem Verkauf bevorzugt höchstens 80 %, insbesondere höchstens 70 % und besonders bevorzugt höchstens 60 % der Speicherkapazität beträgt.

- 20 Die Einspeisung von Regelleistung in das Wechselstromnetz kann je nach Verlauf der Frequenzabweichung konstant, über Pulse oder über Rampen erfolgen, die durch einen Anstieg an Leistungseinspeisung über einen definierten Zeitraum gekennzeichnet sind.

Eine über Pulse (Impulse) bereitgestellte Regelleistung ermöglicht eine Verbesserung des Wirkungsgrades der Vorrichtung und des Verfahrens zur Bereitstellung von  
25 Regelleistung, da hierdurch die, insbesondere bei Verwendung von Akkumulatoren, notwendige Leistungselektronik bei einem höheren Wirkungsgrad betrieben werden kann. Unter einem Puls ist ein zeitlich begrenzter stoßartiger Strom-, Spannungs- oder Leistungsverlauf zu verstehen, wobei diese Pulse auch als wiederholende Folge von  
30 Impulsen eingesetzt werden können. Der Tastgrad gemäß DIN IEC 60469-1 kann hierbei von der Art der Leistungselektronik und der zu erbringenden Regelleistung

- 31 -

gewählt werden, wobei dieser im Bereich von größer null bis 1, vorzugsweise im Bereich von 0,1 bis 0,9, besonders bevorzugt im Bereich von 0,2 bis 0,8 liegt.

Im Fall von erforderlich werdenden Leistungsänderungen kann vorzugsweise vorgesehen sein, dass die Leistung des Energiespeichers abhängig von der Höhe der  
5 erforderlichen Leistungsänderung über einen Zeitraum von zumindest 0,5 s gesteigert wird, vorzugsweise über einen Zeitraum von zumindest 2 s, besonders bevorzugt über einen Zeitraum von zumindest 30 s.

Durch diese langsameren Rampen wird sichergestellt, dass es zu keinen Anregungen von unerwünschten Störungen oder Schwingungen im Stromnetz oder bei den  
10 angeschlossenen Verbrauchern und Erzeugern durch einen zu steilen Leistungsgradienten kommt.

Das Verfahren der vorliegenden Erfindung kann bevorzugt mit einer Vorrichtung durchgeführt werden, die zumindest einen Energiespeicher, zumindest einen  
15 Differenzleistungserbringer und eine Steuerung zum Steuern oder Regeln der Leistung der Energiespeicher und Differenzleistungserbringer umfasst, wobei die Differenzleistungserbringer derart an ein Stromnetz angeschlossen sind, dass durch die Vorrichtung Energie ins Stromnetz einspeisbar und aus dem Stromnetz entnehmbar ist.

Vorzugsweise ist der Differenzleistungserbringer ein regelbares Blockkraftwerk mit mindestens zwei Dampfturbinen, die bei einem unterschiedlichen Druck arbeiten, wobei  
20 ein Stellventil zwischen Kessel und Hochdruckturbine und ein Ventil zwischen Vorwärmer und Mittel- und Niederdruckturbine angeordnet sind.

Um die elektrische Leistung des Kraftwerks kurzzeitig zu verringern, ist es möglich den Dampfmassenstrom über ein Stellventil zwischen Kessel und Hochdruckturbine (HD-  
Turbine) zu verringern. Die kurzzeitige Erhöhung der elektrischen Leistung erfolgt durch  
25 die Erhöhung des Dampfmassenstromes, der über die Mittel- und Niederdruckturbine (MD/ND-Turbine) entspannt wird. Dazu wird ein Ventil zwischen MD/ND-Turbine und Vorwärmer ganz oder teilweise geschlossen. Besonders vorteilhaft ist, dass die geschilderten Methoden zur Erhöhung und zur Minderung der elektrischen Leistung über die besagten Stellventile zu vernachlässigbaren gemittelten Verlusten führen. Der  
30 Grund dafür ist, dass der Wirkungsgrad des Kraftwerkes nur im Moment der

- 32 -

Differenzleistungserbringung gemindert wird und dies wie beschrieben nur kurz und vergleichsweise selten der Fall ist. Somit werden die derzeitigen permanenten Verluste beim „Vorhalten“ der Regelleistung vermieden.

5 Ein regelbares Blockkraftwerk mit einer Blockregelung kann einen integrierten Kondensatstau und ein Turbinenstellventil umfassen.

Ferner kann vorgesehen sein, dass der Differenzleistungserbringer eine Kraft-Wärme-Kopplungsanlage (KWK-Anlage) ist, die mindestens einen Wärmespeicher aufweist. Diese Kraft-Wärme-Kopplungsanlage kann bevorzugt die abgegebene Leistung innerhalb von 30 s den Regelleistungsanforderungen ändern.

10 Neben der elektrischen Energie wird in KWK-Anlagen auch die thermische Energie verwertet, so dass sich ein relativ hoher Gesamtnutzungsgrad von 80 bis 90 % ergibt. Die Anlagen können entweder strom- oder wärmegeführt ausgelegt und betrieben werden. Bei stromgeführten Anlagen ist zudem der Einsatz von Wärmespeichern zweckmäßig, da hierdurch die Stromerzeugung unabhängig vom Bedarf der  
15 Wärmeabnehmer geregelt werden kann.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform kann die Steuerung mit einer Einheit zur Bestimmung der Zeitdauer und einer Einheit zur Bestimmung einer dauerhaften Frequenzabweichung verbunden sein.

Dabei kann vorgesehen sein, dass die Vorrichtung einen Frequenzmesser zum Messen  
20 der Netzfrequenz des Stromnetzes und einen Daten-Speicher umfasst, wobei in dem Speicher zumindest ein Grenzwert (beispielsweise Vorgabefrequenz  $\pm 10$  mHz, Vorgabefrequenz  $\pm 200$  mHz usw.) der Netzfrequenz gespeichert ist, wobei die Steuerung dazu ausgelegt ist, die Netzfrequenz mit dem zumindest einen Grenzwert zu vergleichen und in Abhängigkeit von dem Vergleich die Leistung des Energiespeichers  
25 sowie gegebenenfalls des Differenzleistungserbringers, bevorzugt des Energieverbrauchers und/oder des Energieerzeugers zu steuern. Bei Verwendung von mindestens zwei verschiedenen Energiespeichern, die sich beispielsweise im Wirkungsgrad unterscheiden, kann diese Steuerung auch die Leistung der mindestens zwei Energiespeicher steuern. In diesem Fall kann vorgesehen sein, dass diese  
30 Steuerung ein Subsystem, insbesondere ein Managementsystem anspricht, welches

die jeweilige Leistung der mindestens zwei Energiespeicher auf die von der übergeordneten Steuerung angeforderte Gesamtleistung, gegebenenfalls unter Berücksichtigung der zuvor dargelegten bevorzugten Ausgestaltungen des vorliegenden Verfahrens, regelt.

- 5 Unter einer Steuerung wird erfindungsgemäß vorliegend eine einfache Steuerung verstanden. Hierbei sei angemerkt, dass jede Regelung eine Steuerung umfasst, da bei einer Regelung eine Steuerung in Abhängigkeit von einer Differenz eines Istwerts zu einem Sollwert erfolgt. Bevorzugt ist die Steuerung also als Regelung ausgebildet, insbesondere bezüglich des Ladezustands. Besonders bevorzugt ist die Steuerung ein  
10 Leitsystem.

Die Einheit zur Bestimmung einer dauerhaften Frequenzabweichung kann gemäß den obigen Ausführungen ausgestaltet sein. Demgemäß kann diese Einheit zur Bestimmung einer dauerhaften Frequenzabweichung beispielsweise eine Vorrichtung zur Bestimmung eines Mittelwerts umfassen. Weiterhin kann diese Einheit zur  
15 Bestimmung einer dauerhaften Frequenzabweichung einen Speicher umfassen, in dem die Größe einer Frequenzabweichung festgehalten wird. Hierbei kann die absolute Abweichung festgehalten werden. In einer weiteren Ausgestaltung kann festgehalten werden, ob diese Frequenzabweichung eine zuvor definierte Größe, beispielsweise ein um die Vorgabefrequenz definiertes Frequenzband, überschreitet oder nicht. Die Einheit  
20 zur Bestimmung der Zeitdauer dient insbesondere in Kombination mit einer Einheit zur Bestimmung einer dauerhaften Frequenzabweichung dazu festzulegen, ob der Differenzleistungserbringer eingesetzt wird oder nicht. Hierbei kann diese Einheit zur Bestimmung der Zeitdauer einen Datenspeicher aufweisen, in welchem die Zeitdauer der Frequenzabweichung festhalten wird, die durch die Einheit zur Bestimmung einer  
25 dauerhaften Frequenzabweichung bestimmt werden kann. Demgemäß kann ein Datenaustausch zwischen der Einheit zur Bestimmung der Zeitdauer und der Einheit zur Bestimmung einer dauerhaften Frequenzabweichung erfolgen. Hierbei können beide Einheiten in einer Vorrichtung zusammengefasst werden.

Alternativ werden die Daten an einer entfernten Stelle erhoben und wie oben dargelegt  
30 ausgewertet und das entsprechende Signal geeignet an den oder die Speicher zur Regelleistungsbereitstellung übertragen. In einer besonders bevorzugten

Ausführungsform kann dies über die bekannten Methoden der Ferndatenübertragung und –kommunikation erfolgen.

Zur weiteren Beschreibung einer bevorzugten Vorrichtung wird auf die zuvor dargelegte Beschreibung des erfindungsgemäßen Verfahrens verwiesen, um Wiederholungen zu vermeiden, wobei diese Ausführungen entsprechend auch für die Vorrichtung gelten.

Im Folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand von zwei schematisch dargestellten Figuren erläutert, ohne jedoch dabei die Erfindung zu beschränken. Dabei zeigt:

Figur 1: eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Bereitstellung von Regelleistung;

Figur 2: eine schematische Darstellung eines bevorzugt als Differenzleistungserbringer einsetzbares Blockkraftwerks und

Figur 3: ein Ablaufdiagramm für ein erfindungsgemäßes Verfahren.

Figur 1 zeigt einen schematischen Aufbau einer bevorzugten Ausführungsform einer Vorrichtung 10 für ein erfindungsgemäßes Verfahren umfassend eine Steuerung 11, einen Energiespeicher 12 und einen Differenzleistungserbringer 13. Der Energiespeicher 12 kann im Allgemeinen ein Managementsystem aufweisen, welches das Be- oder Entladen steuert. Dieses Managementsystem ist im Allgemeinen mit der Steuerung 11 verbunden. Hierbei kann dieses Managementsystem räumlich von der Steuerung 11 getrennt oder mit dieser in einem Gehäuse untergebracht sein.

Als Energiespeicher sind Lithium-Ionen-Akkumulatoren besonders geeignet, wobei diese mit geringen schädlichen Einflüssen auf den Akkumulator schnell und häufig auf- und entladbar sind, so dass Lithium-Ionen-Akkumulatoren erfindungsgemäß für alle Ausführungsbeispiele besonders geeignet und bevorzugt sind. Dazu müssen Lithium-Ionen-Akkumulatoren mit beträchtlicher Kapazität bereitgestellt werden. Diese sind beispielsweise leicht in einem oder mehreren 40-Fuß-ISO-Containern unterzubringen. Weiterhin können Bleiakkumulatoren, Redox-Flow Batterien und Energiespeichersysteme auf Basis von Wasserstoff als Energiespeicher eingesetzt werden.

- 35 -

Weiterhin weist die Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens mindestens einen Differenzleistungserbringer 13 auf, wobei sich dieser von dem Energiespeicher 12 unterscheidet. Bevorzugt können als Differenzleistungserbringer 13 insbesondere Energieerzeuger und/oder Energieverbraucher eingesetzt werden, wobei  
5 ein besonders bevorzugt einsetzbarer Energieerzeuger beispielsweise ein Blockkraftwerk ist.

In der in Figur 1 dargestellten Ausführungsform ist der Energiespeicher 12 und der Differenzleistungserbringer 13 an ein Stromnetz 16 angeschlossen. Weiterhin ist in der vorliegenden Darstellung der Differenzleistungserbringer 13 mit dem Energiespeicher  
10 12 verbunden, so dass die durch den Differenzleistungserbringer 13 bereitstellbare Leistung unmittelbar in das Stromnetz 16 eingespeist oder zur Regenerierung des Energiespeichers 12 eingesetzt werden kann.

Hierbei ist die Steuerung 11 mit dem Energiespeicher 12 und dem Differenzleistungserbringer 13 verbunden. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform  
15 ist die Steuerung 11 mit einer Einheit zur Bestimmung der Zeitdauer 14 und einer Einheit zur Bestimmung einer dauerhaften Frequenzabweichung 15 verbunden. Diese Einheiten können selbstverständlich räumlich in einem Gehäuse mit der Steuerung untergebracht sein. Die Verbindung zwischen der Einheit zur Bestimmung der Zeitdauer  
20 14 und der Einheit zur Bestimmung einer dauerhaften Frequenzabweichung 15 mit der Steuerung 11 erlaubt eine Kommunikation der ermittelten Daten, die in der Steuerungseinheit verarbeitet werden.

Ferner kann die Steuerung 11 mit dem Stromnetz 16 verbunden sein, wobei diese in Figur 1 nicht dargestellte Verbindung eine Übermittlung von Anfragen nach benötigter Regelleistung, sowohl positiver als auch negativer, erlauben kann.

Figur 2 zeigt eine schematische Darstellung eines bevorzugt als  
25 Differenzleistungserbringer einsetzbares Blockkraftwerks. Das Blockkraftwerk 20 weist eine Blocksteuerung 22 auf, über die die wesentlichen Komponenten des Blockkraftwerks 20 gesteuert werden können. Die hierzu erforderlichen Steuerleitungen sind in der Figur 2 gestrichelt dargestellt. Das vorliegend dargestellte Blockkraftwerk 20  
30 umfasst einen Kessel 24, welcher durch eine Frischluftzufuhr 26 und eine Kohlemühle 28 mit Brennstoff und Sauerstoff versorgt wird, wobei auch ein gasbetriebener Kessel

- 36 -

alternativ eingesetzt werden kann. Der im Kessel 24 erzeugte Dampf wird zur Stromerzeugung in eine Hochdruckturbine 30 geleitet, wobei in dieser Leitung ein Stellventil 32 angeordnet ist, über welches der Dampfmassenstrom gesteuert werden kann. Anschließend wird der Dampf in eine Niederdruckturbine 34 geleitet, wobei auch  
5 zwei Turbinen (Mittel- und Niederdruckturbine) nacheinander geschaltet werden können. Die mechanische Leistung wird über einen Generator 36 in Strom umgewandelt. Eine kurzzeitige Erhöhung der elektrischen Leistung erfolgt durch die Erhöhung des Dampfmassenstromes, der über die Niederdruckturbine 34 entspannt wird. Dazu wird ein Ventil 38 zwischen Niederdruckturbine 34 und Vorwärmer 40 ganz  
10 oder teilweise geschlossen. Das durch den Vorwärmer 40 vorgewärmte Speisewasser, das aus einer Kondensation des Dampfes in oder nach der Niederdruckturbine 34 erhalten wird, wird in einen Speisewasserbehälter 42 geleitet, welcher mit dem Kessel 24 verbunden ist, so dass ein Kreislauf gegeben ist. Speisewasser kann durch einen Kaltkondensatspeicher 44 zugeführt werden.

15 Figur 3 zeigt ein Ablaufdiagramm für ein bevorzugtes erfindungsgemäßes Verfahren. Bei dem Verfahren wird ein Energiespeicher eingesetzt. In Schritt 1 wird die Netzfrequenz des Stromnetzes gemessen. Im Entscheidungsschritt 2 wird anschließend geprüft, ob die Netzfrequenz innerhalb oder außerhalb des Frequenzbandes liegt, welches zuvor festgelegt wurde. Dieses Frequenzband kann identisch zu einem  
20 Totband sein, welches durch die Netzregularien oder vom Netzbetreiber vorgegeben ist. Weiterhin kann dieses Frequenzband größer oder kleiner als das von den Netzbetreibern oder durch die Netzregularien bestimmte Totband sein.

Falls die gemessene Netzfrequenz innerhalb des Frequenzbandes liegt, erfolgt gemäß der vorliegenden Ausführungsform des Verfahrens eine Regelleistungserbringung durch  
25 eine ausschließliche Verwendung des Energiespeichers, wie dies in Schritt 4 dargestellt ist.

Falls die Netzfrequenz außerhalb des Frequenzbands liegt, wird in Entscheidungsschritt 3 geprüft, ob eine dauerhafte Frequenzabweichung über einen festgelegten Zeitraum vorliegt. Hierbei kann ebenfalls überprüft werden, ob die Verwendung des  
30 Differenzleistungserbringers indiziert ist. Dies kann beispielsweise bei einem geringen Ladezustand des Energiespeichers gegeben sein. Bei einer kurzfristigen Abweichung

- 37 -

der Netzfrequenz und einem ausreichenden Ladezustand des Energiespeichers wird, wie zuvor dargelegt entsprechend Schritt 4 ausschließlich der Energiespeicher eingesetzt.

5 Falls eine dauerhafte Frequenzabweichung vorliegt und keine Ausnahmeregelung zutrifft, wird der Differenzleistungserbringer zur Erbringung von Regelleistung herangezogen, wie dies in Schritt 5 dargelegt ist.

Anschließend wird wiederum die Netzfrequenz gemessen, so dass ein Kreislauf gegeben ist.

10 Die in der voranstehenden Beschreibung sowie den Ansprüchen, Figuren und Ausführungsbeispielen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in jeder beliebigen Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausführungsformen wesentlich sein.

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Erbringung von Regelleistung zur Stabilisierung eines Wechselstromnetzes, umfassend einen Energiespeicher, der elektrische Energie aufnehmen und abgeben kann, dadurch gekennzeichnet, dass  
5 zur Erbringung der Regelleistung der Energiespeicher gemeinsam mit einem Differenzleistungserbringer eingesetzt wird, wobei das Wechselstromnetz bei einer Vorgabefrequenz arbeitet und ein Frequenzband um die Vorgabefrequenz definiert ist und die Regelleistung, die bei einer Frequenzabweichung innerhalb des Frequenzbandes zu erbringen ist, zu mehr als 50 %, bezogen auf die  
10 insgesamt zu erbringende Regelleistung, vom Energiespeicher erbracht wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass  
die Regelleistung, die bei einer Frequenzabweichung außerhalb des  
Frequenzbandes zu erbringen ist, zu mehr als 50 %, bezogen auf die für die  
Frequenzabweichung außerhalb des Frequenzbandes zu erbringende  
15 Regelleistung, vom Differenzleistungserbringer erbracht wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass  
die Regelleistung, die bei einer Frequenzabweichung innerhalb des  
Frequenzbandes zu erbringen ist, zu mehr als 80 %, bezogen auf die insgesamt  
zu erbringende Regelleistung, vom Energiespeicher erbracht wird.
- 20 4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass  
die Regelleistung, die bei einer Frequenzabweichung außerhalb des  
Frequenzbandes zu erbringen ist, zu mehr als 80 %, bezogen auf die für die  
Frequenzabweichung außerhalb des Frequenzbandes zu erbringende  
25 Regelleistung, vom Differenzleistungserbringer erbracht wird.
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

- 39 -

bei einer dauerhaften Frequenzabweichung außerhalb des Frequenzbandes über einen festgelegten Zeitraum die Regelleistung zu mehr als 50 %, bezogen auf die für die Frequenzabweichung außerhalb des Frequenzbandes zu erbringende Regelleistung, vom Differenzleistungserbringer erbracht wird.

- 5 6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- der Differenzleistungserbringer bei einer dauerhaften Frequenzabweichung innerhalb des Frequenzbandes, welches um die Vorgabefrequenz definiert ist, höchstens 20 % Regelleistung erbringt, bezogen auf die insgesamt zu erbringende
- 10 Regelleistung.
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Breite des Frequenzbandes und/oder die Lage des Frequenzbandes, welches um die Vorgabefrequenz definiert ist, in Abhängigkeit des Ladezustandes des
- 15 Energiespeichers gewählt wird.
8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- das Frequenzband, welches um die Vorgabefrequenz definiert ist, eine Bandbreite im Bereich von 20 bis 400 mHz, vorzugsweise 80 bis 300 mHz und besonders
- 20 bevorzugt 100 bis 150 mHz aufweist.
9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- der Energiespeicher ein Akkumulator ist.
- 25 10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass
- der Akkumulator ein Lithium-Ionen-Akkumulator ist.

- 40 -

11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- als Differenzleistungserbringer mindestens ein Energieerzeuger und mindestens ein Energieverbraucher gemeinsam betrieben werden, wobei die Leistung, die der Energieverbraucher dem Stromnetz entnimmt, gedrosselt wird, um eine positive Regelleistung bereitzustellen und die Leistung, die der Energieerzeuger ins Stromnetz einspeist, gedrosselt wird, um eine negative Regelleistung bereitzustellen.
12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass
- als Differenzleistungserbringer ausschließlich ein oder mehrere Energieerzeuger eingesetzt werden, die sowohl positive als auch negative Regelleistung erbringen.
13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass
- als Differenzleistungserbringer ausschließlich ein oder mehrere Energieverbraucher eingesetzt werden, die sowohl positive als auch negative Regelleistung erbringen.
14. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- als Differenzleistungserbringer ein Blockkraftwerk und/oder eine Kraft-Wärme-Kopplungsanlage eingesetzt wird.
15. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- als Differenzleistungserbringer eine Industrieanlage eingesetzt wird.
16. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

- 41 -

der Differenzleistungserbringer die Leistungsaufnahme und/oder –abgabe innerhalb von 30 s um mindestens 75 % der maximal zu erbringenden Regelleistung erhöhen oder absenken kann.

- 5 17. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

der Akkumulator mindestens eine Energie von zumindest 4 kWh, bevorzugt zumindest 20 kWh, besonders bevorzugt zumindest 50 kWh, ganz besonders bevorzugt zumindest 250 kWh speichern kann.

- 10 18. Vorrichtung zum Durchführen eines Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

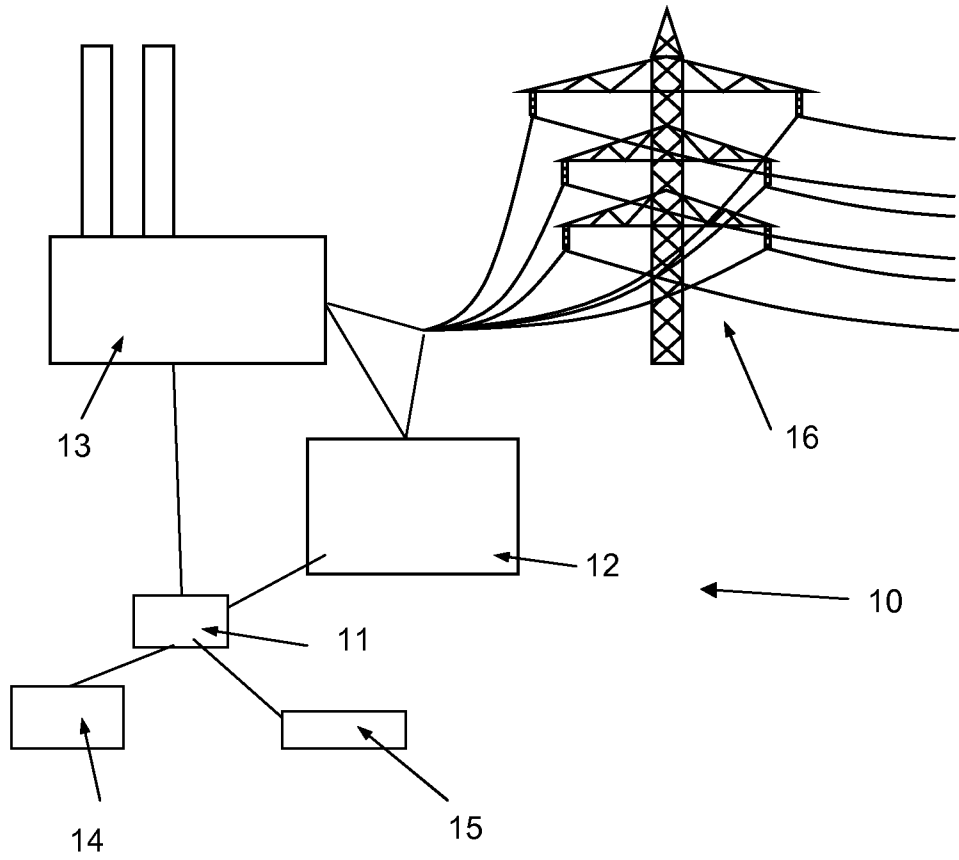
15 die Vorrichtung zumindest einen Energiespeicher, zumindest einen Differenzleistungserbringer und eine Steuerung zum Steuern oder Regeln der Leistung der Energiespeicher und Differenzleistungserbringer umfasst, wobei die Differenzleistungserbringer derart an ein Stromnetz angeschlossen sind, dass durch die Vorrichtung Energie ins Stromnetz einspeisbar und aus dem Stromnetz entnehmbar ist.

19. Vorrichtung gemäß Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass

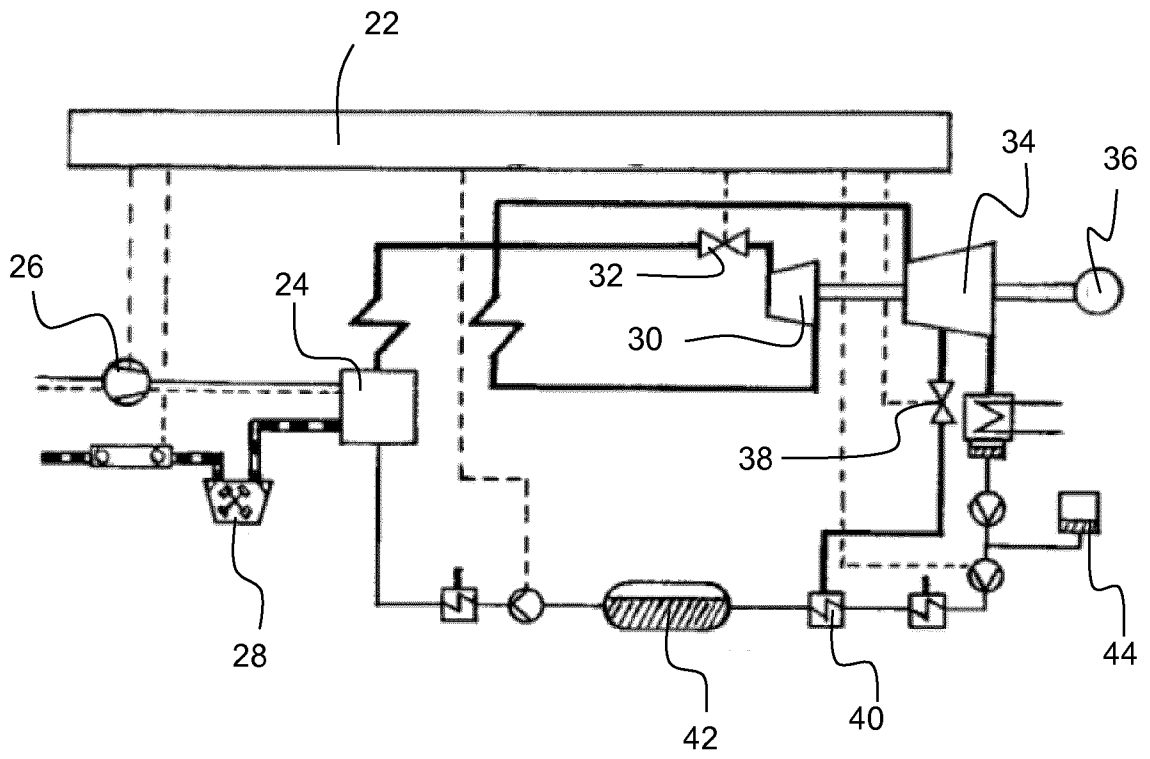
20 der Differenzleistungserbringer ein regelbares Blockkraftwerk mit mindestens zwei Dampfturbinen ist, die bei einem unterschiedlichen Druck arbeiten, wobei ein Stellventil zwischen Kessel und Hochdruckturbine und ein Ventil zwischen Vorwärmer und Niederdruckturbine angeordnet ist.

20. Vorrichtung gemäß Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, dass

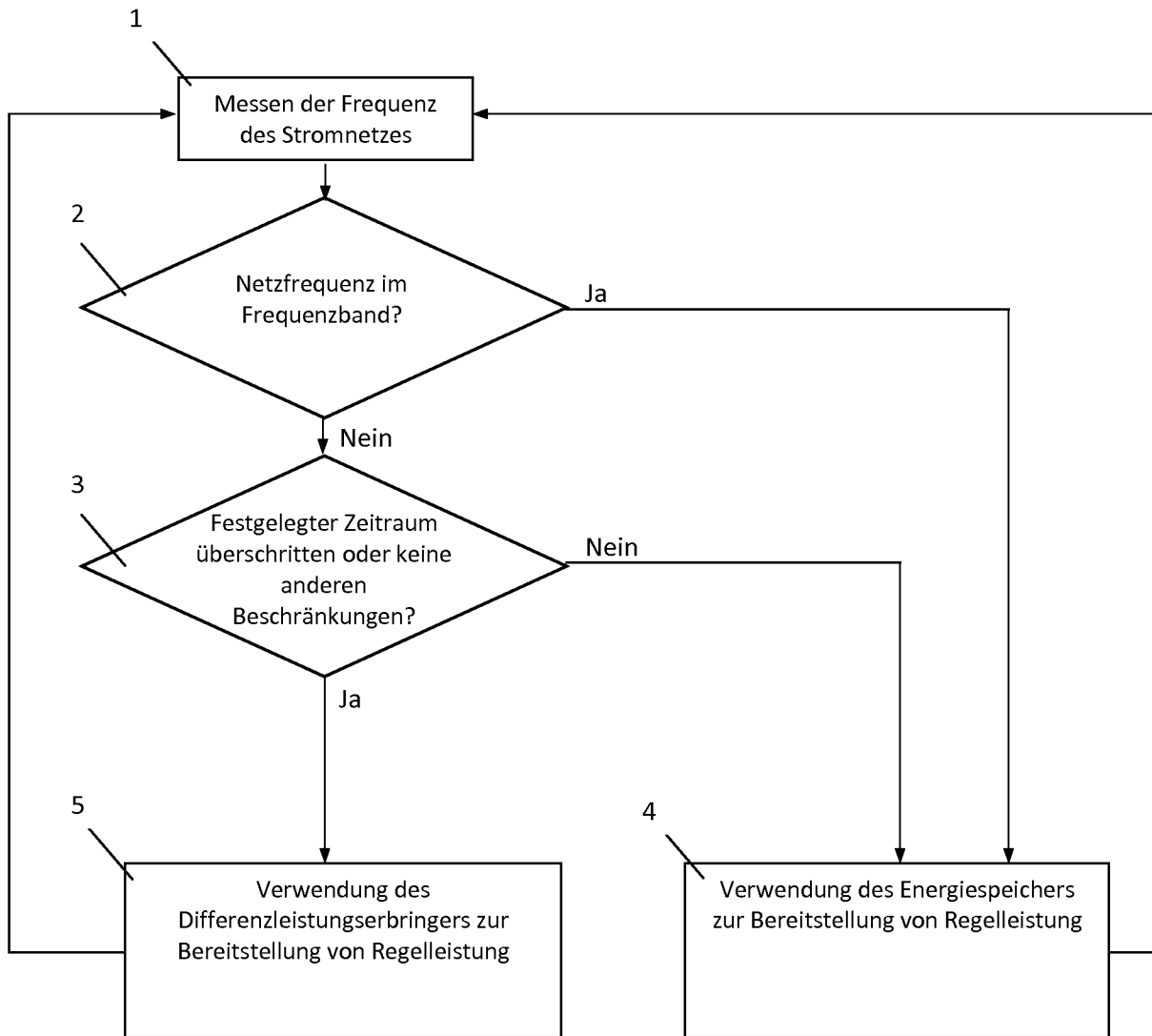
der Differenzleistungserbringer eine Kraft-Wärme-Kopplungsanlage ist, die mindestens einen Wärmespeicher aufweist.



Figur 1



Figur 2



Figur 3