

(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

16. Mai 2013 (16.05.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer

WO 2013/068249 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02J 3/28 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/071257

(22) Internationales Anmeldedatum:
26. Oktober 2012 (26.10.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2011 055 225.1
10. November 2011 (10.11.2011) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **EVONIK INDUSTRIES AG** [DE/DE]; Rellinghauser Straße 1-11, 45128 Essen (DE). **EVONIK DEGUSSA GMBH** [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). **SCHWEISSTHAL, Wolfgang** [DE/DE]; Eschringer Str. 25, 66399 Mandelbachtal (DE). **DEIS, Wolfgang** [DE/DE]; Schloß-Wolfsbrunnenweg 15, 69118 Heidelberg (DE). **BREZSKI, Holger** [DE/DE]; Hausener Str. 16, 35463 Fernwald (DE). **IGEL, Michael** [DE/DE]; Krämersweg 37, 66123 Saarbrücken (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).

(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, IS, JP, KE, KG, KM, 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, 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, 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

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR BEREITSTELLUNG VON REGELLEISTUNG

(57) Abstract: The invention relates to a method for providing control power for a power network, in which an energy generator connected to the power network supplies energy to the power network as necessary or an energy consumer connected to the power network draws energy from the power network as necessary, an energy generator and/or an energy consumer being operated in conjunction with an energy store that is connected to the power network in order to provide the control power. According to the invention, the energy store, starting from a first point in time, releases to the power network at least the difference between the power provided by the energy generator to a nominal power or absorbs from the power network the difference between the power absorbed by the energy consumer to a nominal power. The energy store provides at least this difference between the nominal power and the power provided by the energy generator or the power absorbed by the energy consumer until the power of the energy generator or the energy consumer attains the nominal power at a second point in time. The invention also relates to a device for carrying out such a method, in which the device comprises a control, an energy store and an energy generator and/or an energy consumer, wherein the device is connected to a power network, the control is connected to the energy store and to the energy consumer and/or the energy generator and controls the generated and/or absorbed control power.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bereitstellung von Regelleistung für ein Stromnetz, bei dem ein an das Stromnetz angeschlossener Energieerzeuger dem Stromnetz nach Bedarf Energie zuführt oder ein an das Stromnetz angeschlossener Energieverbraucher aus dem Stromnetz nach Bedarf Energie aufnimmt, bei dem ein Energieerzeuger und/oder ein Energieverbraucher gemeinsam mit einem an das Stromnetz angeschlossenen Energiespeicher zur Bereitstellung der Regelleistung betrieben wird, wobei der Energiespeicher ab einem ersten Zeitpunkt zumindest die Differenz der von dem Energieerzeuger bereitgestellten Leistung zu einer Nennleistung an das Stromnetz abgibt oder der von dem Energieverbraucher aufgenommenen Leistung zu einer Nennleistung aus dem Stromnetz aufnimmt und der Energiespeicher so lange zumindest diese Differenz zwischen der Nennleistung und der vom Energieerzeuger bereitgestellten Leistung oder der vom Energieverbraucher aufgenommenen Leistung bereitstellt, bis die Leistung des Energieerzeugers oder des Energieverbrauchers die Nennleistung zu einem zweiten Zeitpunkt erreicht. Die Erfindung betrifft auch eine Vorrichtung zum Durchführen eines solchen Verfahrens,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2013/068249 A2



wobei die Vorrichtung eine Steuerung, einen Energiespeicher sowie einen Energieerzeuger und/oder einen Energieverbraucher umfasst, wobei die Vorrichtung an ein Stromnetz angeschlossen ist, die Steuerung mit dem Energiespeicher sowie dem Energieverbraucher und/oder dem Energieerzeuger verbunden ist und die erzeugte und/oder aufgenommene Regelleistung steuert.

„Verfahren zur Bereitstellung von Regelleistung“

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bereitstellung von Regelleistung für ein Stromnetz, bei dem ein an das Stromnetz angeschlossener Energieerzeuger dem
5 Stromnetz nach Bedarf Energie zuführt oder ein an das Stromnetz angeschlossener Energieverbraucher aus dem Stromnetz nach Bedarf Energie aufnimmt. Die Erfindung betrifft auch 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
10 Energie zu versorgen. Energieerzeuger meist in Form von Kraftwerken stellen dazu die benötigte Energie bereit. In der Regel wird die Stromerzeugung auf den 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
15 beispielsweise dadurch entstehen, dass ein Kraftwerk oder ein Teil des Stromnetzes ausfällt oder zum Beispiel im Fall erneuerbarer Energien wie Wind, dass die Energieerzeugung höher 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
20 Energieversorgung abschneidet, kann zu einer plötzlichen Reduzierung des Stromverbrauchs führen.

Dies führt im Allgemeinen dazu, dass es in Stromnetzen durch ungeplante und/oder kurzfristige Abweichungen von Leistungserzeugung und/oder -verbrauch zu Schwankungen der Netzfrequenz kommt. Die gewünschte Wechselstromfrequenz
25 beträgt beispielsweise in Europa 50,000 Hz. Diese Frequenz wird häufig auch als Sollfrequenz bezeichnet. Eine Verringerung des Verbrauchs gegenüber dem Plan führt zu einer Erhöhung der Frequenz bei planmäßig erzeugter Leistung durch die Energieerzeuger, gleiches gilt für eine Erhöhung der Stromproduktion gegenüber dem Plan bei planmäßigem Verbrauch. Eine Verringerung der Leistung gegenüber
30 dem Plan der Energieerzeuger führt dagegen zu einer Verringerung der Netzfrequenz bei plangemäßigem Verbrauch, gleiches gilt für eine Erhöhung des Verbrauchs gegenüber dem Plan bei plangemäßer Erzeugung.

Aus Gründen der Netzstabilität ist es erforderlich, diese Abweichungen in einem definierten Rahmen zu halten. Dazu muss je nach Höhe und Richtung der Abweichung gezielt positive Regelleistung durch Zuschalten von zusätzlichen Erzeugern und/oder Abschalten von Verbrauchern oder negative Regelleistung durch Abschalten von Erzeugern und/oder Hinzuschalten von Verbrauchern bereitgestellt werden. Es besteht allgemein der Bedarf an einer wirtschaftlichen und effizienten Bereitstellung dieser Regelleistungen, wobei die Anforderungen an die bereitzuhaltenden Kapazitäten und die Dynamik der Regelleistungsquellen beziehungsweise -senken je nach Charakteristik des Stromnetzes variieren können.

10 In Europa gibt es beispielsweise ein Regelwerk (UCTE Handbook), das drei verschiedene Kategorien an Regelleistung beschreibt. Darin sind auch die jeweiligen Anforderungen an 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
15 der Verursachung der Störung europaweit von allen eingebundenen Quellen zu erbringen 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.
20 Hinsichtlich der Dynamik gilt, dass aus dem Ruhezustand die jeweils (betragsmäßig) maximale Leistung innerhalb von 30 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,
25 dass die Netzfrequenz wieder möglichst schnell, vorzugsweise spätestens nach 15 Minuten wieder im Sollbereich liegt. Hinsichtlich der Dynamik werden an die SRL und die MRL geringere Anforderungen gestellt (5 beziehungsweise 15 Minuten bis zur vollen Leistungserbringung nach Aktivierung), gleichzeitig sind diese Leistungen
30 auch über längere Zeiträume bereitzustellen als Primärregelleistung.

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

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

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

Der Einsatz von Hydro-Pumpspeicherwerken zur Erbringung von Regelleistung ist Stand der Technik. In Europa werden die verschiedenen Regelleistungsarten von Pumpspeichern erbracht. Hydropumpspeicher werden jedoch auch immer wieder genannt als gegenwärtig wirtschaftlichste Technologie zur Ein- und Ausspeicherung von 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 Schwunghmassen- und Batteriespeicher für die Bereitstellung von Regelleistung einzusetzen.

Aus der US 2006/122738 A1 ist ein Energiemanagementsystem bekannt, dass 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 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.

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 Bereich um die gewünschte Netzfrequenz verlässt, wird entweder Energie aus dem Energiespeicher bereitgestellt oder in den
5 Energiespeicher aufgenommen, um die Netzfrequenz zu regulieren. Auch 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
10 oder mehrere, hinsichtlich der Frequenzabweichung gleichgerichtete Störungen hintereinander zu kompensieren.

In der Regel wird die Stabilisierung der Stromnetze durch Technologien bewerkstelligt, die hinsichtlich der Gesamtkapazität und der Dynamik der Leistungserbringung unterschiedlichen Klassen zugeordnet sind. So besteht
15 beispielsweise im europäischen Verbundnetz der UCTE (Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity) die Aufteilung in Primärregelleistung (PRL), Sekundärregelleistung (SRL) und Minutenreserve (MR).

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,
20 August 2007, wird die Abhängigkeit der Kapazität eines Akkumulators von technischen und betrieblichen Randbedingungen bestimmt, damit dieser nach den europäischen 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
25 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) befindet. Trotzdem kann es kurzfristig bzw. vorübergehend dazu kommen, dass der Speicher überladen wird. Die Autoren schlagen für solche Fälle den (begrenzten Einsatz) von Verlust erzeugenden
30 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 weniger unerwünschten Energieentwertung, wobei die entstehende Abwärme in der Regel nicht genutzt

werden kann. Die Autoren zeigen auf, dass eine geringere Inanspruchnahme der Verlusterzeugung nur durch eine höhere Speicherkapazität, verbunden mit höheren Investitionskosten, möglich ist.

Der Preis für die Bereitstellung von Regelleistung richtet sich maßgeblich danach, wie schnell die Regelleistung nach einer Anfrage, das heißt, nach einer Frequenzabweichung außerhalb der Toleranz, bereitgestellt werden kann. Bei PRL und SRL wird schon die Bereithaltung der Energie vergütet. Bei SRL und MR wird auch die Arbeitsleistung vergütet.

Im Bereich der Sekundärregelleistungsbereitstellung werden im Folgenden für das Beispiel des europäischen Verbundnetzes der UCTE die verschiedenen Anforderungen an die Dynamik der Leistungserbringung (In- und Außerbetriebnahme) der Quellen (beziehungsweise der Pools aus Quellen) erläutert.

1. Die präqualifizierbare Sekundärregelleistung (kurz SR-Leistung, SRL oder auch Nennleistung) ergibt sich aus der innerhalb von 5 Minuten aktivierten und gemessenen Leistungsänderung (jeder Regelrichtung)

2. Ein kurzzeitiges Überschwingen von maximal 10 % über den Sekundärregelleistungssollwert ist zulässig. In jedem Fall ist ein kurzzeitiges Überschwingen bis zu 5 MW zulässig.

3. Im Fall von Sekundärregelleistungs-Pools muss nach spätestens 30 Sekunden eine Reaktion des Pools für den Übertragungsnetzbetreiber messbar sein.

Die Vergütungen für die Sekundärregelleistungs-Bereitstellung setzen sich zusammen aus einem Leistungsentgelt für die Vorhaltung der Sekundärregelleistung und einem Arbeitsentgelt für die tatsächlich erbrachte Energie im Rahmen der Sekundärregelleistungs-Bereitstellung.

Solche Vorgaben insbesondere zu Gruppen von Energieerzeugern sind aus dem Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (FNN) „TransmissionCode 2007“ vom November 2009 ersichtlich. Hierzu ist insbesondere der Anhang D2 für die Anforderungen von SRL-Pools relevant, in dem auch beschrieben ist, nach welchen Verfahren eine Leittechnik bei einem Anbieter von SRL betrieben werden kann. Aus diesem Dokument ist es bekannt, mehrere technische Einheiten, wie hydraulische und thermische Kraftwerke als Pool zur Bereitstellung von Regelleistung gemeinsam zu betreiben.

Akkumulatoren können sehr schnell Energie aufnehmen 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 Leistung auch über einen längeren Zeitraum oder wiederholt liefern zu können.

5 Akkumulatoren mit sehr großer Kapazität sind aber auch sehr teuer.

Bei der Verwendung von Kraftwerken oder Verbrauchern, wie Elektrolyse-Werken zur Bereitstellung von Regelleistung ergibt sich das Problem, dass diese nicht schnell genug hochgefahren werden können, um im Ernstfall in der erforderlichen Geschwindigkeit für MR oder für SRL bereitzustellen. Diese werden daher meist
10 nicht in Volllast betrieben und nur im Bedarfsfall auf einer höheren Leistung betrieben, was zu Lasten des Wirkungsgrads des Kraftwerks beziehungsweise des Verbrauchers geht. Zudem kann in diesen Fällen nur ein kleiner Anteil der maximal erzeugbaren oder verbrauchbaren Leistung als Nennleistung präqualifiziert werden. Alternativ dazu können Energieerzeuger oder Energieverbraucher überdimensioniert
15 werden, um in den vorgegebenen Zeiträumen zumindest eine bestimmte Leistung zu erreichen, die dann auch als Präqualifikationsleistung für das Kraftwerk oder den Verbraucher als Regelleistungsquelle sichergestellt werden kann.

Nachteilig ist hieran also, dass es derzeit keine Möglichkeit gibt, Energieerzeuger oder Energieverbraucher zur Bereitstellung von Regelleistung möglichst genauso
20 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.

Die Aufgabe der Erfindung besteht also darin, die Nachteile des Stands der Technik
25 zu überwinden. Insbesondere soll eine Möglichkeit gefunden werden, Regelleistung bei effizienter Energieausbeute der Regelleistungslieferanten bereitzustellen. Gleichzeitig soll nicht unnötig Energie an den Netzbetreiber verschenkt werden oder aus dem Stromnetz bezogen werden und ein hoher Wirkungsgrad beim Erzeugen oder Verbrauchen der Energie sichergestellt werden. Ferner soll eine möglichst
30 schnelle Bereitstellung von Regelleistung möglich sein.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist darin zu sehen, dass insbesondere bei einer Verwendung von galvanischen Elementen, wie Akkumulatoren, die Kapazität

beziehungsweise der maximale Energiegehalt des Energiespeichers möglichst gering sein soll, um die erforderliche Regelleistung bereitzustellen.

Die Aufgaben der Erfindung werden dadurch gelöst, dass ein Energieerzeuger und/oder ein Energieverbraucher gemeinsam mit einem an das Stromnetz
5 angeschlossenen Energiespeicher zur Bereitstellung der Regelleistung betrieben wird, wobei der Energiespeicher ab einem ersten Zeitpunkt zumindest die Differenz der von dem Energieerzeuger bereitgestellten Leistung zu einer Nennleistung an das Stromnetz abgibt oder der von dem Energieverbraucher aufgenommenen Leistung zu einer Nennleistung aus dem Stromnetz aufnimmt und der Energiespeicher so
10 lange zumindest diese Differenz zwischen der Nennleistung und der vom Energieerzeuger bereitgestellten Leistung oder der vom Energieverbraucher aufgenommenen Leistung bereitstellt, bis die Leistung des Energieerzeugers oder des Energieverbrauchers die Nennleistung zu einem zweiten Zeitpunkt erreicht.

Unter der Nennleistung ist vorliegend die Leistung zu verstehen, mit der die
15 Regelleistungsquelle präqualifiziert ist, die mit einem erfindungsgemäßen Verfahren betrieben wird. Vorteilhafterweise kann diese Nennleistung erfindungsgemäß zumindest im Bereich der maximalen Leistung des Energieerzeugers oder des Energieverbrauchers liegen. Dazu muss die Kapazität des Energiespeichers nur ausreichend groß gewählt werden.

20 Die Regelleistung wird an das Stromnetz abgegeben (positive Regelleistung) oder aus dem Stromnetz aufgenommen (negative Regelleistung). Der Vorteil erfindungsgemäßer Verfahren ist unter anderem darin zu sehen, dass es mit dem Energiespeicher gelingt, eine höhere präqualifizierbare Nennleistung als Regelleistungsquelle vorzuhalten.

25 Dies kann erfindungsgemäß und besonders bevorzugt auch beliebig oft hintereinander geschehen, indem der Energiespeicher nach dem zweiten Zeitpunkt immer wieder neu aufgeladen oder entladen wird, um bei einem zweiten Zyklus wieder den geeigneten Ladezustand aufzuweisen. Der geeignete Ladezustand ist geladen, wenn der Energiespeicher nur mit einem Energieerzeuger kombiniert wird,
30 entladen, wenn der Energiespeicher nur mit einem Energieverbraucher kombiniert wird und in etwa halb geladen, wenn der Energiespeicher mit einem Energieerzeuger und einem Energieverbraucher kombiniert wird. 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). Die Begriffe Ladezustand und Ladungszustand sind erfindungsgemäß als Äquivalent anzusehen.

Es ist besonders bevorzugt, wenn dabei erfindungsgemäß vorgesehen ist, dass der
5 Energiespeicher ab einem dritten Zeitpunkt Energie des Energieerzeugers aufnimmt, während die Leistung des Energieerzeugers reduziert wird und/oder der Energiespeicher ab dem dritten Zeitpunkt Energie für den Energieverbraucher bereitstellt, während die Leistung des Energieverbrauchers reduziert wird.

Dies hat den Vorteil, dass der Energiespeicher mit der Energie aufgeladen oder
10 entladen wird, die nicht als Regelleistung verkauft werden kann. Dadurch wird der Energiespeicher zudem in den geeigneten Ladezustand für den nächsten Regelzyklus versetzt.

Ferner kann vorgesehen sein, dass als Energiespeicher ein Schwungrad, ein Wärmespeicher, ein Wasserstoffherzeuger und -speicher mit Brennstoffzelle, ein
15 Erdgaserzeuger mit Gaskraftwerk, ein Pumpspeicherkraftwerk, ein Druckluftspeicherkraftwerk, ein supraleitender magnetischer Energiespeicher, ein Redox-Flow-Element und/oder ein galvanisches Element verwendet wird, vorzugsweise ein Akkumulator und/oder ein Batteriespeicherkraftwerk, besonders bevorzugt ein Lithium-Ionen-Akkumulator. Der Wärmespeicher muss zusammen mit
20 einer Vorrichtung zur Herstellung von Strom aus der gespeicherten Wärmeenergie betrieben werden.

Insbesondere Akkumulatoren sind aufgrund ihrer schnellen Reaktionszeit, das heißt, der Geschwindigkeit, mit der die Leistung gesteigert oder reduziert werden kann, für erfindungsgemäße Verfahren besonders geeignet.

25 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, Zinn-Schwefel-Lithium-Ionen-Akkumulatoren, Natrium-Ionen Akkumulatoren und
30 Kalium-Ionen-Akkumulatoren.

Hierbei sind Akkumulatoren bevorzugt, die einen hohen Wirkungsgrad sowie eine hohe betriebliche und kalendarische Lebensdauer aufweisen. Als besonders bevorzugte Ausführungsform der Erfindung, werden Lithium-Polymer-Akkumulatoren,

Lithium-Titanat-Akkumulatoren, Lithium-Mangan-Akkumulatoren, Lithium-Eisen-Phosphat-Akkumulatoren, Lithium-Eisen-Mangan-Phosphat-Akkumulatoren, Lithium-Eisen-Yttrium-Phosphat-Akkumulatoren, Lithium-Luft-Akkumulatoren, Lithium-Schwefel-Akkumulatoren und/oder Zinn-Schwefel-Lithium-Ionen-Akkumulatoren als

5 Lithium-Ionen-Akkumulatoren verwendet.

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

10 Die Kapazität elektrochemischer Energiespeicher kann dabei bei zumindest 40 Ah, bevorzugt bei etwa 100 Ah liegen. Bei Verwendung von Speichern, die auf elektrochemischen Elementen beruhen, 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.

15 Das Verhältnis von Nennleistung des Energiespeichers zur maximalen Leistung des Regelenenergielieferanten kann vorzugsweise im Bereich von 1:10000 bis 10:1, besonders bevorzugt im Bereich von 1:1000 bis 1:1 liegen.

Es kann erfindungsgemäß vorgesehen sein, dass der Energiespeicher aus einem Pool mehrerer Energiespeicher besteht. Die verschiedenen Energiespeicher können
20 dabei auch an verschiedenen Orten des Stromnetzes angeordnet sein. Beispielsweise kann der Energiespeicher eine Vielzahl von Akkumulatoren zum Beispiel in Elektroautos umfassen, die als Pool geschaltet werden, wenn diese an einer Ladestation und damit ans Stromnetz angeschlossen sind.

Ferner kann vorgesehen sein, dass die Leistung des Energiespeichers über einen
25 Zeitraum von zumindest 0,5 s vor dem ersten Zeitpunkt bis zum ersten Zeitpunkt 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
30 bei den angeschlossenen Verbrauchern und Erzeugern durch einen zu steilen Leistungsgradienten kommt.

Es kann erfindungsgemäß auch vorgesehen sein, dass als Energieerzeuger ein Kraftwerk verwendet wird, vorzugsweise ein Kohlkraftwerk, Gaskraftwerk oder ein Wasserkraftwerk und/oder als Energieverbraucher eine Werk zum Herstellen einer Substanz verwendet wird, insbesondere ein Elektrolyse-Werk oder ein Metall-Werk,
5 vorzugsweise ein Aluminium-Werk oder ein Stahlwerk.

Solche Energieerzeuger und Energieverbraucher sind zur Bereitstellung von längerfristigen Regelleistungen gut geeignet. Ihre Trägheit lässt sich erfindungsgemäß gut mit Energiespeichern ausgleichen.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass der
10 Energiespeicher eine Überschwingungs-Energie zumindest teilweise aufnimmt und/oder abgibt, vorzugsweise zumindest 25%, besonders bevorzugt zumindest 50% dieser Überschwingungs-Energie aufnimmt und/oder abgibt, wobei die Überschwingungs-Energie beim Überschwingen der Leistung des Energieerzeugers über die Nennleistung hinaus erzeugt wird und/oder die beim Überschwingen der
15 Leistung des Energieverbrauchers über die Nennleistung hinaus verbraucht wird, insbesondere bei Änderungen der bereitzustellenden Leistung.

Dadurch wird sichergestellt, dass die Wünsche des Kunden, das heißt des Netzbetreibers nach einer vorhersehbaren und definierten Regelleistung erfüllt werden können und dass im Stromnetz keine Regelungsschwingungen erzeugt
20 werden. Zudem kann die so aufgenommene oder abgegebene Energie genutzt werden, um den Ladezustand des Energiespeichers zu verbessern, das heißt, in die gewünschte Richtung zu ändern.

Des Weiteren kann vorgesehen sein, dass die Nennleistung des Energieerzeugers zusammen mit dem Energiespeicher und/oder die Nennleistung des
25 Energieverbrauchers zusammen mit dem Energiespeicher durch das Verfahren innerhalb von 15 Minuten, vorzugsweise innerhalb von 5 Minuten, besonders bevorzugt innerhalb von 30 Sekunden, zu zumindest 95% erreicht wird.

Mit diesen Parametern sind derartig betriebene Regelleistungsquellen effizient und mit besserem Wirkungsgrad als Sekundärregelleistungsquellen oder sogar als
30 Primärregelleistungsquellen einsetzbar. Zudem kann so auch eine höhere Nennleistung präqualifiziert werden.

Es kann erfindungsgemäß auch vorgesehen sein, dass die Netzfrequenz des Stromnetzes gemessen wird und bei einer Abweichung von einem Sollwert oder

einer Abweichung von einer Toleranz um einen Sollwert Regelleistung ans Stromnetz abgegeben oder aus dem Stromnetz aufgenommen wird und/oder bei einer Rückkehr der Netzfrequenz zum Sollwert oder in die Toleranz die Regelleistung reduziert wird.

- 5 Hierdurch kann eine automatisierte Steuerung der Netzfrequenz erfolgen.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass der Energiespeicher beim Reduzieren der Leistung des Energieerzeugers zu zumindest 50% geladen wird, insbesondere im Wesentlichen vollständig geladen wird und/oder der Energiespeicher beim Reduzieren der Leistung des Energieverbrauchers unter
10 weniger als 50% entladen wird, im Wesentlichen vollständig entladen wird.

Diese Ausgestaltungen der Erfindung sind besonders geeignet, wenn der Energiespeicher nur mit einem Energieerzeuger oder nur mit einem Energieverbraucher betrieben wird, da die Ladung des Energiespeichers zu Beginn des erfindungsgemäßen Verfahrens, das heißt für den nächsten Zyklus gut
15 vorbereitet ist.

Alternativ hierzu kann vorgesehen sein, dass der Energiespeicher zusammen mit einem Energieerzeuger und einem Energieverbraucher betrieben wird und der Energiespeicher beim Reduzieren der Leistung des Energieerzeugers in etwa zur Hälfte, vorzugsweise zwischen 25% und 75%, besonders bevorzugt zwischen 40%
20 und 60%, ganz besonders bevorzugt zwischen 45% und 55% aufgeladen wird oder der Energiespeicher beim Reduzieren der Leistung des Energieverbrauchers ungefähr zur Hälfte, vorzugsweise zwischen 25% und 75%, besonders bevorzugt zwischen 40% und 60%, ganz besonders bevorzugt zwischen 45% und 55% entladen wird.

- 25 Der geeignete Ladezustand des Energiespeichers beträgt zu Beginn eines erfindungsgemäßen Verfahrens in etwa 50%, wenn sowohl ein Energieerzeuger, als auch ein Energieverbraucher mit dem Energiespeicher betrieben wird. Dies wird durch diese Maßnahmen für die folgenden Zyklen erreicht.

Es kann auch vorgesehen sein, dass die ans Stromnetz abgegebene Leistung des
30 Energieverbrauchers oder die aus dem Stromnetz aufgenommene Leistung des Energieerzeugers nach dem ersten Zeitpunkt zu mehreren Zeitpunkten, insbesondere kontinuierlich gemessen wird und die Differenz zur Nennleistung zu mehreren Zeitpunkten, vorzugsweise kontinuierlich berechnet wird, wobei

abgegebene oder aufgenommene Leistung des Energiespeichers in Abhängigkeit von dieser Differenz eingestellt wird, vorzugsweise die Leistung genauso groß wie diese Differenz oder etwas größer eingestellt wird.

5 Dies stellt eine gleichmäßig ins Stromnetz eingespeiste Regelleistung sicher. Zudem wird dadurch möglichst wenig Energie verschwendet.

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

10 Eine weitere Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann vorsehen, dass die Kapazität des Energiespeichers zumindest so groß gewählt wird, dass im Energiespeicher die Energie gespeichert werden kann, die zum Überbrücken der bereitzustellenden Nennleistung ab dem ersten Zeitpunkt bis zum Erreichen der Nennleistung durch den Energieerzeuger und/oder den Energieverbraucher zum zweiten Zeitpunkt benötigt wird.

15 Das Abstimmen der Kapazität des Energiespeichers auf das Leistungsvermögen (den maximalen Leistungsanstieg) des Energieerzeugers beziehungsweise des Energieverbrauchers hat den Vorteil, dass der Energiespeicher möglichst klein und dadurch kostengünstig dimensioniert und aufgebaut werden kann.

20 Die Aufgabe der Erfindung wird bezüglich einer Vorrichtung dadurch gelöst, dass die Vorrichtung eine Steuerung, einen Energiespeicher sowie einen Energieerzeuger und/oder einen Energieverbraucher umfasst, wobei die Vorrichtung an ein Stromnetz angeschlossen ist, die Steuerung mit dem Energiespeicher sowie dem Energieverbraucher und/oder dem Energieerzeuger verbunden ist und die erzeugte und/oder aufgenommene Regelleistung steuert.

25 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
30 ein Leitsystem.

Dabei kann vorgesehen sein, dass die Vorrichtung einen Frequenzmesser zum Messen der Netzfrequenz des Stromnetzes und einen Speicher umfasst, wobei in

dem Speicher zumindest ein Grenzwert 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 sowie des Energieverbrauchers und/oder des Energieerzeugers zu steuern.

Schließlich kann auch vorgesehen sein, dass die Kapazität des Energiespeichers zumindest so groß ist, dass im Energiespeicher die Energie speicherbar ist, die zum Überbrücken der bereitzustellenden Nennleistung ab dem ersten Zeitpunkt bis zum Erreichen der Nennleistung durch den Energieerzeuger und/oder den Energieverbraucher zum zweiten Zeitpunkt notwendig ist, vorzugsweise die Kapazität des Energiespeichers so groß ist, dass im Energiespeicher 99% bis 150% der hierfür notwendigen Energie speicherbar ist, besonders bevorzugt 100% bis 120%, ganz besonders bevorzugt 100% bis 110%.

Die Nennleistung der Vorrichtung zum Bereitstellen von Regelleistung ist diejenige Leistung, die innerhalb einer bestimmten Zeit erreichbar ist. Es wird hierbei auch von der präqualifizierbaren Leistung gesprochen, da diese die Kriterien des Kunden, das heißt des Netzbetreibers erfüllt.

Der Erfindung liegt die überraschende Erkenntnis zugrunde, dass es durch die Kombination eines Energiespeichers mit zumindest einer herkömmlichen Regelleistungsquelle möglich ist, diese in Bezug auf ihre Eigenschaften als Regelleistungsquelle zu verbessern. Unter anderen kann eine Minutenreserve in eine Sekundärregelleistungsquelle oder sogar in eine Primärregelleistungsquelle umgewandelt werden. Dabei kann der Energiespeicher zur Steigerung des Leistungsanstiegs verwendet werden aber auch zum Aufnehmen von unerwünschten Überschwingern über die vereinbarte Nennleistung hinaus.

Eine zur Lösung der Aufgabe wichtige Erkenntnis besteht daher darin, dass die oben genannten Beschränkungen für das Beispiel des europäischen Verbundnetzes der UCTE durch eine geeignete Poolung von Batteriespeichern (Akkumulatoren) mit konventionellen SR-Quellen eingehalten werden.

Spezielle und besonders bevorzugte Ausführungsformen der Lösungsansätze bestehen darin, dass es sich bei dem Energiespeicher um einen Akkumulator oder Batteriespeicher handelt, der zeitgleich zur Erbringung von Primärregelleistung

eingesetzt wird. In der Regel hat ein solcher Speicher sowohl hinsichtlich der Leistungen als auch der Energien im Normalbetrieb noch Reserven.

In einer weiteren speziellen Ausführungsform kann die bei negativer SR-Leistung in den Speicher aufgenommene Energie am Spotmarkt veräußert werden, wenn die
5 Konditionen dort vorteilhaft sind.

In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung werden mehrere Energiespeicher gepoolt und in erfindungsgemäßer Verfahrensweise betrieben. Die Größe der Energiespeicher innerhalb des Pools kann dabei variieren. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform wird bei den verschiedenen Energiespeichern eines
10 Pools bei der Ausnutzung von Toleranzen, insbesondere der Wahl der Bandbreite 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.

Unter der Toleranz bezüglich des Betrags der bereitgestellten Regelleistung und der
15 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
20 Netzbetreiber gewährt sein, könnte aber auch einer gesetzlichen Vorgabe entsprechen.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform variieren die bei den verschiedenen Verfahrensweisen genutzten Toleranzen, insbesondere der Wahl der Bandbreite im Totband abhängig von der Tageszeit, dem Wochentag oder der Jahreszeit. Zum
25 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 Regelenergiebereitstellung sicherer im Sinne von schärfer erfolgt.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann im Rahmen der Vorgaben zur Erbringung von Regelleistung vorgesehen sein, dass durch den Energiespeicher insbesondere mehr Energie aus dem Netz aufgenommen als eingespeist wird. Dies kann dadurch erfolgen, dass gemäß den 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 eingespeist, insbesondere mindestens 0,2 %, bevorzugt mindestens 0,5 %, besonders bevorzugt mindestens 1,0 %, speziell bevorzugt 5%, wobei diese Werte auf einen 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.

Hierbei kann die zuvor dargelegte Regelleistungserbringung 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.

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.

Weiterhin kann der Ladezustand des Energiespeichers 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.

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

Figur 1: ein schematisches P-t-Diagramm einer konventionellen Sekundärregelleistungsquelle und eines konventionellen Pools als Sekundärregelleistungsquelle;

Figur 2: ein schematisches P-t-Diagramm einer mit einem erfindungsgemäßen Verfahren betriebenen Regelleistungsquelle;

Figur 3: ein zweites schematisches P-t-Diagramm einer mit einem erfindungsgemäßen Verfahren betriebenen Regelleistungsquelle und einer konventionellen Regelleistungsquelle;

Figur 4: ein Ablaufdiagramm für ein erfindungsgemäßes Verfahren; und

Figur 5: eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Bereitstellung von Regelleistung.

Figur 1 zeigt ein Diagramm der Leistung (P) über die Zeit (t) einer herkömmlichen einzelnen Sekundärregelleistungsquelle (durchgezogene Linie) und einem Pool als Sekundärregelleistungsquelle (gestrichelte Linie), die ein Wasserkraftwerk und ein thermisches Kraftwerk (beispielsweise ein Atomkraftwerk) umfasst. Das hydraulische Wasserkraftwerk liefert gleich zu Beginn einen Beitrag zur Regelleistung. Die durch das Wasserkraftwerk zusätzlich aufgebrachte Energie kann zusätzlich verkauft werden und sorgt dafür, dass eine Reaktion des Pools als Sekundärregelleistungsquelle für den Kunden, das heißt den Netzbetreiber, schnell erkennbar ist.

Die oben, im Rahmen des Beispiels des europäischen Verbundnetzes der UCTE gestellten Anforderungen führen bei zahlreichen Marktteilnehmern zu Einschränkungen des vermarktbaren Potenzials. Dies liegt beispielsweise daran, dass die vermarktbare Leistung durch einen niedrigen Leistungsgradienten begrenzt ist, oder eine höhere Leistung innerhalb von 5 Minuten grundsätzlich erbracht werden kann, diese jedoch regelungstechnisch bedingt zu unzulässig hohen Überschwingungen über die Nennleistung (P_{Soll}) führen.

Auch bei gegebener und vermarkteter Regelleistung bleibt oft ein beträchtliches Potenzial ungenutzt. Dies betrifft insbesondere die erbrachte Energie beziehungsweise die Arbeitserlöse. Nach einem Aufruf der Sekundärregel-(SR)-Leistung (SRL) bestimmt die Dynamik der SR-Technologien, beziehungsweise der technischen Einheiten in einem Pool zur Bereitstellung von SRL, wie viel Arbeitserlöse erzielt werden können. In dem Diagramm nach Figur 1 bleibt beispielsweise der potenzielle Arbeitserlös, der der Fläche oberhalb der gestrichelten Kurve entspricht, auf Grund technischer Limitierungen ungenutzt.

Zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von SR-Technologien besteht daher ein Bedarf an technischen Alternativen, um die Begrenzungen von konventionellen SR-Technologien aufzuheben oder zumindest deutlich zu reduzieren.

In der Inbetriebnahme-Phase beim Alltagsbetrieb kann erfindungsgemäß ein
5 Energiespeicher genutzt werden, um die Differenz zwischen Leistungsanforderung (Sollwert) und aktueller Leistungserbringung zu schließen und damit zusätzliche Arbeitserlöse zu erzielen. Im bereits gezeigten Diagramm nach Figur 1 würde das bedeuten, dass die mit der Fläche über der Kurve mit der durchgezogenen Linie und unterhalb der Geraden der Nennleistung (P_{Soll}) verbundene Energie zusätzlich
10 vermarktet werden könnte und dadurch zusätzliche Erlöse erzielt würden. In einer speziellen Ausführungsform könnte die Entscheidung, ob diese Energie zusätzlich erbracht wird, von den aktuellen Arbeitspreisen oder vom aktuellen Ladezustand des Energiespeichers abhängig gemacht werden.

Im Einzelnen kann dabei erfindungsgemäß folgendermaßen verfahren werden.
15 Wenn die Dynamik der Leistungserbringung konventioneller SR-Technologie beschränkt ist, so wird ein Energiespeicher zur Unterstützung eingesetzt. Dies ist in einem schematischen Leistungs-Zeit-Diagramm nach Figur 2 skizziert. Konventionell könnten hier wegen des beschränkten Leistungsgradienten nur 10 MW präqualifiziert werden, obwohl nach mehr als 5 Minuten auch höhere Leistungen erbracht werden
20 könnten. Im Pool mit einem geeigneten Batteriespeicher (Akkumulator) kann die präqualifizierbare Leistung auf 18 MW erhöht werden. Dabei schließt der Batteriespeicher bis zum Ablauf von 9 Minuten die entsprechende Lücke. Die hohe Leistung bei gleichzeitig vergleichsweise kurzer Leistungserbringungszeit kommt bestimmten Speichertechnologien, wie beispielsweise der Lithium-Ionen-
25 Batterietechnologie aber auch Schwungrädern oder Gasdruckspeicherkraftwerken sehr entgegen.

Die durchgezogene Linie A zeigt den maximalen Leistungsanstieg eines konventionellen Kraftwerks, wie beispielsweise eines Kohlekraftwerks oder eines Gaskraftwerks. Nach 9 Minuten erreicht das Kraftwerk seine maximale Leistung von
30 18 MW. Dies ist zur Bereitstellung von SRL jedoch zu langsam. So wird für die Bereitstellung von SRL gefordert, dass die präqualifizierbare Leistung einer SR-Leistungsquelle bereits nach 5 Minuten erreicht werden soll. Demzufolge kann das konventionelle Kraftwerk nur eine präqualifizierbare Leistung von 10 MW

bereitstellen, beziehungsweise ist nur für eine SR-Leistung von 10 MW präqualifizierbar.

Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren wird nun das konventionelle Kraftwerk mit einem Akkumulator kombiniert. Sobald eine Anforderung für die Bereitstellung von
5 SR-Leistung eingeht, wird nicht nur das konventionelle Kraftwerk hochgefahren, sondern der Akkumulator zugeschaltet. Die Leistung des Akkumulators wird bis zum Zeitpunkt $t_1 = 5$ Minuten gesteigert. Zu diesem Zeitpunkt t_1 liefert der Akkumulator eine Leistung von 8 MW, also genau die Differenz der Leistung, die das konventionelle Kraftwerk aufgrund seines maximalen zeitlichen Gradienten nach
10 5 Minuten erbringt, zu der maximalen Leistung des konventionellen Kraftwerks.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung, nämlich die Kombination aus einem konventionellen Kraftwerk und einem Akkumulator sowie einer Steuerung zur Umsetzung eines solchen erfindungsgemäßen Verfahrens, ist so in der Lage bereits nach 5 Minuten eine Leistung von 18 MW aufzubringen, also die maximale Leistung
15 des konventionellen Kraftwerks. Dadurch ist die Vorrichtung zum Bereitstellen von SR-Leistung auf 18 MW präqualifizierbar.

Die Leistung des Akkumulators kann ab dem Zeitpunkt t_1 stetig reduziert werden, und zwar in dem Maße, in dem sich die Leistung des konventionellen Kraftwerks steigert. Hierzu kann eine Steuerung vorgesehen sein, die die fehlende Leistung des
20 konventionellen Kraftwerks zu seiner maximalen Leistung misst und diese Leistung aus dem Akkumulator bereitstellt. Die Leistung des Akkumulators wird also bis zum Zeitpunkt t_2 auf null reduziert, da ab diesem Zeitpunkt t_2 die gesamte Regelleistung durch das konventionelle Kraftwerk aufgebracht werden kann.

Während der Bereitstellung der SR-Leistung muss von dem Akkumulator also eine
25 Energie E aufgebracht werden, die der diagonal schraffierten Fläche in Figur 2 entspricht. Die Energie E ist gleich dem Integral der Leistung des Akkumulators über die Zeit, von dem das Integral der Leistung des konventionellen Kraftwerks über die Zeit subtrahiert wird. Die Kapazität des Akkumulators sollte also mindestens in etwa so groß gewählt werden, dass die Energie E aufgenommen beziehungsweise
30 abgegeben werden kann. Wird nur eine präqualifizierbare Leistung der erfindungsgemäßen Regelleistungsquelle angeboten, die kleiner als die maximale Leistung des Energieerzeugers / Kraftwerks und/oder des Energieverbrauchers ist, so kann die Kapazität des Akkumulators entsprechend kleiner gewählt werden.

Wenn ab einem Zeitpunkt t_3 keine Regelleistung mehr benötigt wird, kann das konventionelle Kraftwerk üblicherweise nicht einfach ausgeschaltet werden, sondern die Leistung wird über einen Zeitraum bis auf null reduziert. Die von dem konventionellen Kraftwerk bereitgestellte Energie E_2 in diesem Zeitraum ab dem Zeitpunkt t_3 , in Figur 2 durch die waagrecht gestrichelte Fläche gekennzeichnet, muss nicht mehr ins Netz eingespeist werden, sondern kann stattdessen erfindungsgemäß zum Aufladen oder Wiederaufladen des Akkumulators verwendet werden.

Durch das erläuterte erfindungsgemäße Verfahren und die diskutierte erfindungsgemäße Vorrichtung gelingt es also, einen optimalen Regelleistungsverlauf bereitzustellen, der in Figur 2 durch die gestrichelte Kurve dargestellt ist. Die Schwächen konventioneller Verfahren, in Figur 2 dargestellt durch die durchgezogene Linie, konnten erfindungsgemäß überwunden werden.

Das in diesem Ausführungsbeispiel anhand von Figur 2 diskutierte Prinzip ist ohne weiteres auf einen Energieverbraucher und einen Akkumulator oder auf einen Energieverbraucher und einen anderen Energiespeicher übertragbar. Statt eine Leistung von maximal 18 MW zu liefern, kann beispielsweise auch vorgesehen sein, dass eine maximale Leistung von 18 MW durch ein Werk verbraucht wird (Energieverbraucher). Das Werk kann zum Beispiel Methan oder Ethan oder auch Wasserstoff erzeugen. Bis die maximale Leistung 18 MW des Energieverbrauchers zum Zeitpunkt t_2 nach 9 Minuten erreicht wird, kann der Energiespeicher, beispielsweise ein Schwungrad, dem elektrisch Energie abgezapft wird, die fehlende Leistung aufnehmen, das heißt, dass in dem Energiespeicher zwischen dem ersten Zeitpunkt t_1 und dem zweiten Zeitpunkt t_2 die Energie E gespeichert wird. Durch diese Maßnahme ist die erfindungsgemäße Vorrichtung umfassend den Energieverbraucher und den Energiespeicher nicht nur auf 10 MW, sondern auf 18 MW präqualifizierbar.

Dabei ist es besonders vorteilhaft, wenn der Energiespeicher sehr schnell Energie liefern kann und besonders reaktionsschnell ist. Daher sind Akkumulatoren und in gewissem Umfang auch Schwungräder besonders gut als Energiespeicher geeignet, während Pumpspeicherkraftwerke oder insbesondere Gaserzeuger mit Speicher und Gaskraftwerk als Energiespeicher nicht so gut zum Umsetzen erfindungsgemäßer Verfahren geeignet sind.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann auch einen Energieverbraucher, einen Energiespeicher und einen Energieerzeuger umfassen und dabei ein erfindungsgemäßes Verfahren umsetzen, bei dem sowohl positive, wie auch negative Regelleistung bereitgestellt werden kann und alle drei Komponenten eingesetzt werden.

Wenn ein Überschwingen bei der Leistungserhöhung oder -reduzierung limitierend ist, kann der Energiespeicher dazu eingesetzt werden, das Überschwingen durch gezielte, das heißt entgegengesetzte Leistungserbringung zu begrenzen. Dies ist schematisch im Diagramm nach Figur 3 skizziert. Wenn beispielsweise nur ein Überschwingen der Nennleistung P_2 einer Regelleistungsquelle um maximal 10% der präqualifizierten Leistung P_2 durch den Netzbetreiber erlaubt ist, kann der Energiespeicher dazu genutzt werden, jegliche darüber hinausgehende Energie aufzunehmen oder, für den Fall das ein Überschwingen bei einem Bereitstellen negativer Regelleistung eintritt, bereitzustellen.

Figur 3 zeigt, wie ein konventioneller Energieerzeuger oder Energieverbraucher zur Bereitstellung von Regelleistung betrieben werden muss (untere Kurve), wenn er bei maximaler Leistungssteigerung um einen zu hohen Betrag (über 10%) über die präqualifizierte Nennleistung P_2 überschwingen würde (obere Kurve). Bei maximaler Leistungssteigerung könnte zwar grundsätzlich eine höhere präqualifizierbare Leistung P_2 erzielt werden, durch das zu hohe Überschwingen kann eine solche Leistungssteigerung jedoch nicht angeboten werden. Die untere Kurve stellt dar, mit welcher Leistungssteigerung der konventionelle Energieerzeuger oder Energieverbraucher noch betrieben werden kann, um das Überschwingen über die präqualifizierte Nennleistung P_1 auf 10% zu begrenzen. Dadurch ist innerhalb der vorgeschriebenen Regelzeit von 5 Minuten aber nur eine geringere präqualifizierbare Nennleistung P_1 möglich. Erst mit Hilfe des Energiespeichers, der eine Überschwingungs-Energie E_3 , die bei einer zu hohen Leistung erzeugt oder verbraucht wird, aufnimmt oder abgibt, ist es möglich, den Energieerzeuger oder Energieverbraucher mit maximaler Leistungssteigerung zu betreiben, ohne dass die bereitgestellte Leistung um mehr als 10% über die maximale Regelleistung P_2 überschwingt. Die Überschwingungs-Energie E_3 ist in dem Diagramm nach Figur 3 als diagonal schraffierte Fläche dargestellt. Dadurch kann eine höhere präqualifizierte Leistung P_2 mit demselben Energieverbraucher oder Energieerzeuger angeboten werden, als ohne die Kombination mit dem Energiespeicher und ohne das

erfindungsgemäße Verfahren, bei dem nur eine geringere präqualifizierte Leistung P_1 angeboten werden könnte.

Es kann auch, anders als in Figur 3 gezeigt, bevorzugt sein, dass jegliche überschüssige Regelenergie vom Energiespeicher aufgenommen oder abgegeben wird, da die Energiebeiträge bis 10% über der präqualifizierten Leistung nicht vergütet werden, beziehungsweise bezahlt werden müssen.

Ebenso kann aber auch vorgesehen sein, dass die überschüssige abgegebene Leistung des Energieerzeugers im Bereich von 0% bis 10% der präqualifizierten Leistung nur dann durch den Energiespeicher aufgenommen wird oder die überschüssige aufgenommene Leistung des Energieverbrauchers im Bereich von 0% bis 10% der präqualifizierten Leistung nur dann durch den Energiespeicher abgegeben wird, wenn der Ladezustand des Energiespeichers dies sinnvoll erscheinen lässt. Wenn also beispielsweise der Energiespeicher schon zu mehr als 50% oder zu zwei Drittel geladen ist, kann es sinnvoll sein, die überschüssige Energie eines Energieerzeugers erst aufzunehmen, wenn dieser eine Leistung von mehr als 10% über der präqualifizierten Leistung P_2 erbringt. Dies geschieht, um den Ladezustand des Energiespeichers in einem gewünschten und für die folgenden Regelungszyklen geeigneten Zustand zu halten.

Der Energiespeicher, bei dem es sich vorzugsweise um einen Akkumulator handelt, ermöglicht auf diese Weise, dass die konventionelle SR-Technologie mit einer höheren Leistung präqualifiziert wird, als wenn sie alleine betrieben würde.

Des Weiteren kann die beim Überspringen bereitgestellte oder verbrauchte Überschwingungs-Energie E_3 nicht an den Netzbetreiber verkauft werden, da diese Leistung nicht nachhaltig bereitgestellt werden kann. Stattdessen wird sie in den Energiespeicher aufgenommen oder vom Energiespeicher bereitgestellt, so dass die Überschwingungs-Energie E_3 beim Betreiber der Regelleistungsanlage verbleiben kann, beziehungsweise nicht aus dem Stromnetz zugekauft werden muss.

Zudem ist, gerade wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren, wie zu Figur 2 diskutiert, der Energiespeicher gerade entleert oder aufgefüllt worden ist, eine gegenläufige Ladung oder Entladung des Energiespeichers bei einem anschließenden Überspringen willkommen, um den Ladezustand des Energiespeichers in einem gewünschten Bereich zu halten.

In der Inbetriebnahme-Phase beim Alltagsbetrieb kann der Energiespeicher genutzt werden, um die Differenz zwischen Leistungsanforderung (Sollwert) und aktueller Leistungserbringung zu schließen und damit zusätzliche Arbeitserlöse zu erzielen. Im bereits gezeigten Diagramm würde das bedeuten, dass die mit der Fläche oberhalb
5 der durchgezogenen Kurve verbundene Energie nach Figur 1 zusätzlich vermarktet werden könnte und dadurch zusätzliche Erlöse erzielt würden. In einer speziellen Ausführungsform könnte die Entscheidung, ob diese Energie zusätzlich erbracht wird, von den aktuellen Arbeitspreisen oder vom aktuellen Ladungszustand des Batteriespeichers abhängig gemacht werden. Der Ladezustand kann dabei anhand
10 des SOC oder des Energiegehalts des Energiespeichers bestimmt werden.

Figur 4 zeigt ein Ablaufdiagramm für ein erfindungsgemäßes Verfahren. Bei dem Verfahren werden ein Energiespeicher, ein Energieerzeuger und ein Energieverbraucher eingesetzt. In Schritt 1 wird die Netzfrequenz des Stromnetzes gemessen. Im Entscheidungsschritt 2 wird anschließend geprüft, ob die
15 Netzfrequenz innerhalb eines gewünschten Bereichs seitens des Netzbetreibers (innerhalb einer Toleranz) liegt oder darüber oder darunter. Alternativ hierzu kann auch auf eine Anforderung des Netzbetreibers reagiert werden. Dieser würde dann angeben, ob er positive oder negative Regelleistung benötigt.

Wenn die Netzfrequenz innerhalb des gewünschten Bereichs liegt, wird mit Schritt 1
20 fortgefahren. Liegt die Netzfrequenz oberhalb des gewünschten Bereichs, muss dem Stromnetz Energie entzogen werden. Dazu wird in Schritt 3 der Energieverbraucher gestartet und die Leistung des Energieverbrauchers gesteigert. Je nachdem, was mit dem Netzbetreiber vereinbart ist, kann im nächsten Schritt 4 durch den Energiespeicher die Differenzleistung zur präqualifizierten Leistung zum vereinbarten
25 Zeitpunkt t_1 aufgenommen werden, indem der Energiespeicher geladen wird. Dann liefert der Pool aus Energieverbraucher und Energiespeicher die präqualifizierte Nennregelleistung, das heißt, die präqualifizierte Leistung wird aus dem Stromnetz entnommen. Wenn der Pool beispielsweise als Primärregelleistungsquelle präqualifiziert ist, so muss die Nennleistung bereits ab $t_1 = 30$ Sekunden verbraucht
30 werden. Ist der Pool dagegen beispielsweise als Sekundärregelleistungsquelle präqualifiziert, so muss die Nennleistung erst ab $t_1 = 5$ Minuten verbraucht werden. Insbesondere bei der Verwendung von Akkumulatoren kann die Regelleistung sehr schnell aufgenommen werden, das heißt, dass die Leistung sehr schnell gesteigert werden kann.

Während des Schritts 4 wird die Leistung des Energieverbrauchers ab dem Zeitpunkt t_1 weiter ansteigen. In dem Maß, in dem die Leistung des Energieverbrauchers ansteigt, kann die Leistungsaufnahme des Energiespeichers reduziert werden. In Schritt 5 erreicht der Energieverbraucher zum Zeitpunkt t_2 schließlich sein volles Leistungsvermögen, die auch als Nennleistung präqualifiziert ist. Der Energiespeicher kann dann abgeschaltet werden, da die gesamte Leistung vom Energieverbraucher aufgenommen werden kann.

Im Entscheidungsschritt 6 wird schließlich geprüft, ob die Netzfrequenz noch immer über dem gewünschten Bereich liegt. Wenn dem so ist, läuft der Energieverbraucher die ganze Zeit weiter und nimmt Energie auf. Wenn dem nicht so ist, wird die Leistung des Energieverbrauchers in Schritt 7 ab dem Zeitpunkt t_3 reduziert. Gleichzeitig wird in Schritt 7 die Leistung für den Energieverbraucher durch den in den Schritten 3 und 4 geladenen Energiespeicher geliefert und dabei die Ladung des Energiespeichers wieder reduziert.

Anschließend wird wieder die Netzfrequenz in Schritt 1 gemessen. Das Messen der Netzfrequenz kann erfindungsgemäß auch parallel zu den Schritten 3, 4, 5 und 7 durchgeführt werden, wobei die Leistung des Energieverbrauchers immer dann erhöht wird, wenn die Netzfrequenz oberhalb des gewünschten Bereichs liegt.

Die Schritte 1 bis 7 liefern zusammen bereits ein erfindungsgemäßes Verfahren für einen Energiespeicher und einen Energieverbraucher, wobei im Schritt 2 nur entschieden wird, ob die Netzfrequenz unterhalb des gewünschten Bereichs liegt oder nicht.

Wenn die Netzfrequenz in Entscheidungsschritt 2 unterhalb des gewünschten Bereichs liegt, wird mit Schritt 13 fortgefahren. In diesem Schritt 13 wird die Leistung eines Energieerzeugers, wie beispielsweise eines Kohlekraftwerks erhöht. Spätestens ab dem Zeitpunkt t_1 , zu dem die Nennleistung bereitgestellt werden muss, liefert der Energiespeicher die fehlende Leistung des Energieerzeugers in Schritt 14. Die Leistung des Energieerzeugers wird ansteigen und die Leistung des Energiespeichers dementsprechend reduziert, bis schließlich in Schritt 15 zum Zeitpunkt t_2 der Energieerzeuger die Nennleistung erreicht und der Energiespeicher abgeschaltet werden kann.

Anschließend wird bestimmt, ob die Netzfrequenz noch immer unterhalb des gewünschten Bereichs liegt. In Entscheidungsschritt 16 wird dies geprüft. Sofern die

Netzfrequenz noch immer unterhalb des gewünschten Bereichs liegt läuft der Energieerzeuger einfach weiter. Wenn nicht, wird mit Schritt 17 fortgefahren, in dem die Leistung des Energieerzeugers reduziert wird, das heißt der Energieerzeuger heruntergefahren wird, wobei der Energiespeicher ab diesem Zeitpunkt t_3 die vom
5 Energieerzeuger erzeugte Energie aufnimmt und speichert.

Die Schritte 1, 2 und 13 bis 17 liefern also zusammen, analog zu den Schritten 1 bis 7 ein erfindungsgemäßes Verfahren für einen Energiespeicher und einen Energieerzeuger, wobei im Schritt 2 nur entschieden wird, ob die Netzfrequenz oberhalb des gewünschten Bereichs liegt oder nicht. Das Verfahren kann auch so
10 betrachtet werden, dass in Entscheidungs-Schritt 2 entschieden wird, ob der Energiespeicher für die folgende Regelung mit dem Energieerzeuger oder dem Energieverbraucher einen Pool bildet.

Auch in dem rechten Strang des Ablaufdiagramms (Schritte 1, 2 und 13 bis 17) kann fortwährend geprüft werden, ob die Netzfrequenz unterhalb des gewünschten
15 Bereichs liegt oder nicht und dann entsprechend reagiert werden. Auch hier kann statt eigener Messung der Netzfrequenz auch auf eine Anforderung des Netzbetreibers gewartet werden. Im europäischen Stromnetz wird eine Netzfrequenz von 50 Hz eingestellt, die Toleranz beträgt dabei derzeit ± 10 mHz.

Figur 5 zeigt in schematischer Ansicht eine erfindungsgemäße Vorrichtung 20 umfassend einen Energieerzeuger 21 oder Energieverbraucher 21, der mit einem Energiespeicher 22 verbunden ist. Eine Steuerung 23 ist mit dem Energieerzeuger 21 oder -verbraucher 21 und mit dem Energiespeicher 22 verbunden, so dass die Steuerung 23 die Leistung des Energieerzeugers 21 beziehungsweise -verbrauchers 21 und die Leistungsaufnahme und -abgabe des Energiespeichers 22 einstellen
25 kann.

Der Energieerzeuger 21 oder -verbraucher 21 und der Energiespeicher 22 sind an ein Stromnetz 24 angeschlossen und können Leistung aus dem Stromnetz 24 aufnehmen und/oder abgeben. Wenn ein Bedarf an Regelleistung – positiver oder negativer Regelleistung – besteht, erhält die Steuerung 23 ein Signal. Anschließend
30 wird die Leistung des Energieerzeugers 21 oder -verbrauchers 21 gesteigert. Ab dem Zeitpunkt t_1 , beispielsweise nach 30 Sekunden, beziehungsweise kurz vorher wird auch die Leistung des Energiespeichers 22 zugeschaltet, das heißt, Energie in den Energiespeicher 22 aufgenommen oder vom Energiespeicher 22 abgegeben.

Die Steuerung 23 bestimmt dazu die vom Energieerzeuger 21 oder -verbraucher 21 aktuell bereitgestellte Regelleistung und sorgt dafür, dass die Differenz durch den Energiespeicher 22 bereitgestellt wird. Wenn die Leistung des Energieerzeugers 21 oder -verbrauchers 21 ab dem Zeitpunkt t_2 dazu ausreicht, die gesamte Nennleistung der Vorrichtung 20 bereitzustellen, kann der Energiespeicher 22 durch die Steuerung 23 vom Stromnetz 24 getrennt, beziehungsweise abgeschaltet werden.

Aufgrund der Trägheit der Systeme des Energieerzeugers 21 und Energieverbrauchers 21 kommt es zu einem Überschwingen der Regelleistung nach Erreichen der Nennleistung. Der Energiespeicher 22 nimmt dann die überschüssige Energie auf, beziehungsweise stellt die überschüssige Energie zur Verfügung. Hierzu wird ebenfalls die Steuerung verwendet. Da der Energiespeicher 22 gerade erst in anderer Richtung entladen beziehungsweise geladen wurde, führt dies zu einem gewollten Ladezustand des Energiespeichers 22 für nachfolgende Regelungszyklen.

Zu einem Zeitpunkt t_3 erhält die Steuerung 23 das Signal, dass die Regelleistung nicht mehr benötigt wird. Die Leistung des Energieerzeugers 21 oder -verbrauchers 21 wird reduziert. Damit keine unnötige Energie ins Stromnetz 24 eingespeist oder daraus entnommen wird, schaltet die Steuerung 23 wieder den Energiespeicher 22 zu, der die Energie des Energieerzeugers 21 aufnehmen oder des Energieverbrauchers 21 bereitstellen kann. Auch diese Maßnahme führt zu einem mittleren Ladezustand des Energiespeichers 22, so dass er für den nächsten Regelzyklus einen geeigneten Ladezustand aufweist.

Die Steuerung 23 kann den Energiespeicher 22 dabei intelligent laden oder entladen, so dass ein bestimmter gewünschter Ladezustand angestrebt wird. Beispielsweise können Toleranzen beim Überschwingen oder den Zeitpunkten t_1 , t_2 und/oder t_3 dazu genutzt werden, den Ladezustand in die gewünschte Richtung zu entwickeln. So kann zum Beispiel die Leistung des Energiespeichers 22 schon zu einem früheren Zeitpunkt als t_1 bereitgestellt werden, um den Energiespeicher 22 zu laden oder zu entladen, wenn dies notwendig erscheint. Ebenso kann ein Überschwingen von bis zu 10% toleriert werden oder durch den Energiespeicher 22 abgefangen werden, um den Ladezustand des Energiespeichers 22 zu regeln.

Insbesondere in solchen Fällen wird ein besonders schnell reagierender und leicht auf- und entladbarer Energiespeicher 22 benötigt. Am besten sind hierfür Akkumulatoren geeignet. Insbesondere Li-Ionen Akkumulatoren sind ohne

schädliche Einflüsse auf den Akkumulator schnell und häufig auf- und entladbar, so dass diese erfindungsgemäß für alle Ausführungsbeispiele besonders geeignet und bevorzugt sind. Dazu müssen Li-Ionen Akkumulatoren mit beträchtlicher Kapazität bereitgestellt werden. Diese sind beispielsweise leicht in einem oder mehreren 40-

5 Fuß-ISO-Containern unterzubringen.

Eine erfindungsgemäße Vorrichtung 20 ist also als Primär- oder Sekundärregelleistungsquelle besonders gut geeignet.

Für Einzelheiten zur Regelung von Regelleistung und zum Informationsaustausch mit den Netzbetreibern sei auf das Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (FNN)
10 „TransmissionCode 2007“ vom November 2009 verwiesen. Dort ist insbesondere der Anhang D2 zur Poolung von Regelleistungs-Einheiten interessant, um Ergänzungen für die Umsetzung erfindungsgemäßer Verfahren zu erhalten.

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

Bezugszeichenliste

	A	Leistungserbringung mit einem konventionellen Kraftwerk
	B	Leistungserbringung mit einem erfindungsgemäßen Verfahren
	E, E ₂	Energie
5	E ₃	Überschwingungs-Energie
	P	Leistung
	t	Zeit
	t ₁	Erster Zeitpunkt
	t ₂	Zweiter Zeitpunkt
10	t ₃	Dritter Zeitpunkt
	1; 3; 4; 5; 7	Verfahrensschritt
	2; 6; 16	Entscheidungsschritt
	13; 14; 15; 17	Verfahrensschritt
	20	Vorrichtung zum Bereitstellen von Regelleistung
15	21	Energieerzeuger / Energieverbraucher
	22	Energiespeicher
	23	Steuerung
	24	Stromnetz

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bereitstellung von Regelleistung für ein Stromnetz (24), bei dem ein an das Stromnetz (24) angeschlossener Energieerzeuger (21) dem Stromnetz (24) nach Bedarf Energie zuführt oder ein an das Stromnetz (24) angeschlossener Energieverbraucher (21) aus dem Stromnetz (24) nach Bedarf Energie aufnimmt, dadurch gekennzeichnet, dass ein Energieerzeuger (21) und/oder ein Energieverbraucher (21) gemeinsam mit einem an das Stromnetz (24) angeschlossenen Energiespeicher (22) zur Bereitstellung der Regelleistung betrieben wird, wobei der Energiespeicher (22) ab einem ersten Zeitpunkt (t_1) zumindest die Differenz der von dem Energieerzeuger (21) bereitgestellten Leistung zu einer Nennleistung an das Stromnetz (24) abgibt oder der von dem Energieverbraucher (21) aufgenommenen Leistung zu einer Nennleistung aus dem Stromnetz (24) aufnimmt und der Energiespeicher (22) so lange zumindest diese Differenz zwischen der Nennleistung und der vom Energieerzeuger (21) bereitgestellten Leistung oder der vom Energieverbraucher (21) aufgenommenen Leistung bereitstellt, bis die Leistung des Energieerzeugers (21) oder des Energieverbrauchers (21) die Nennleistung zu einem zweiten Zeitpunkt (t_2) erreicht.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Energiespeicher (22) ab einem dritten Zeitpunkt (t_3) Energie (E_2) des Energieerzeugers (21) aufnimmt, während die Leistung des Energieerzeugers (21) reduziert wird und/oder der Energiespeicher (22) ab dem dritten Zeitpunkt (t_3) Energie (E_2) für den Energieverbraucher (21) bereitstellt, während die Leistung des Energieverbrauchers (21) reduziert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass als Energiespeicher (22) ein Schwungrad, ein Wärmespeicher, ein Wasserstofferzeuger und -speicher mit Brennstoffzelle, ein Erdgaserzeuger mit Gaskraftwerk, ein Pumpspeicherkraftwerk, ein Druckluftspeicherkraftwerk, ein supraleitender magnetischer Energiespeicher, ein Redox-Flow-Element und/oder ein galvanisches Element verwendet wird, vorzugsweise ein

Akkumulator und/oder ein Batteriespeicherkraftwerk, besonders bevorzugt ein Lithium-Ionen-Akkumulator.

4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass
5 in dem Energiespeicher (22) eine Energie von zumindest 4 kWh gespeichert werden kann, vorzugsweise von zumindest 10 kWh, besonders bevorzugt zumindest 50 kWh, ganz besonders bevorzugt zumindest 250 kWh.
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch
10 gekennzeichnet, dass
die Leistung des Energiespeichers (22) über einen Zeitraum von zumindest 0,5 s vor dem ersten Zeitpunkt (t_1) bis zum ersten Zeitpunkt (t_1) gesteigert wird, vorzugsweise über einen Zeitraum von zumindest 2 s, besonders bevorzugt über einen Zeitraum von zumindest 30 s.
- 15 6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
als Energieerzeuger (21) ein Kraftwerk verwendet wird, vorzugsweise ein Kohlekraftwerk, Gaskraftwerk oder ein Wasserkraftwerk und/oder als
20 Energieverbraucher (21) eine Werk zum Herstellen einer Substanz verwendet wird, insbesondere ein Elektrolyse-Werk oder ein Metall-Werk, vorzugsweise ein Aluminium-Werk oder ein Stahlwerk.
- 25 7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
der Energiespeicher (22) eine Überschwingungs-Energie (E_3) zumindest teilweise aufnimmt und/oder abgibt, vorzugsweise zumindest 25%, besonders bevorzugt zumindest 50% dieser Überschwingungs-Energie (E_3) aufnimmt und/oder abgibt, wobei die Überschwingungs-Energie (E_3) beim
30 Überschwingen der Leistung des Energieerzeugers (21) über die Nennleistung hinaus erzeugt wird und/oder die beim Überschwingen der Leistung des Energieverbrauchers (21) über die Nennleistung hinaus verbraucht wird, insbesondere bei Änderungen der bereitzustellenden Leistung.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
die Nennleistung des Energieerzeugers (21) zusammen mit dem
Energiespeicher (22) und/oder die Nennleistung des Energieverbrauchers (21)
zusammen mit dem Energiespeicher (22) durch das Verfahren innerhalb von
15 Minuten, vorzugsweise innerhalb von 5 Minuten, besonders bevorzugt
innerhalb von 30 Sekunden, zu zumindest 95% erreicht wird.
9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
die Netzfrequenz des Stromnetzes (24) gemessen wird und bei einer
Abweichung von einem Sollwert oder einer Abweichung von einer Toleranz
um einen Sollwert Regelleistung ans Stromnetz (24) abgegeben oder aus dem
Stromnetz (24) aufgenommen wird und/oder bei einer Rückkehr der
Netzfrequenz zum Sollwert oder in die Toleranz die Regelleistung reduziert
wird.
10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
der Energiespeicher (22) beim Reduzieren der Leistung des Energieerzeugers
(21) zu zumindest 50% geladen wird, insbesondere im Wesentlichen
vollständig geladen wird und/oder der Energiespeicher (22) beim Reduzieren
der Leistung des Energieverbrauchers (21) unter weniger als 50% entladen
wird, im Wesentlichen vollständig entladen wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass
der Energiespeicher (22) zusammen mit einem Energieerzeuger (21) und
einem Energieverbraucher (21) betrieben wird und der Energiespeicher (22)
beim Reduzieren der Leistung des Energieerzeugers (21) in etwa zur Hälfte,
vorzugsweise zwischen 25% und 75%, besonders bevorzugt zwischen 40%
und 60%, ganz besonders bevorzugt zwischen 45% und 55% aufgeladen wird
oder der Energiespeicher (22) beim Reduzieren der Leistung des
Energieverbrauchers (21) ungefähr zur Hälfte, vorzugsweise zwischen 25%

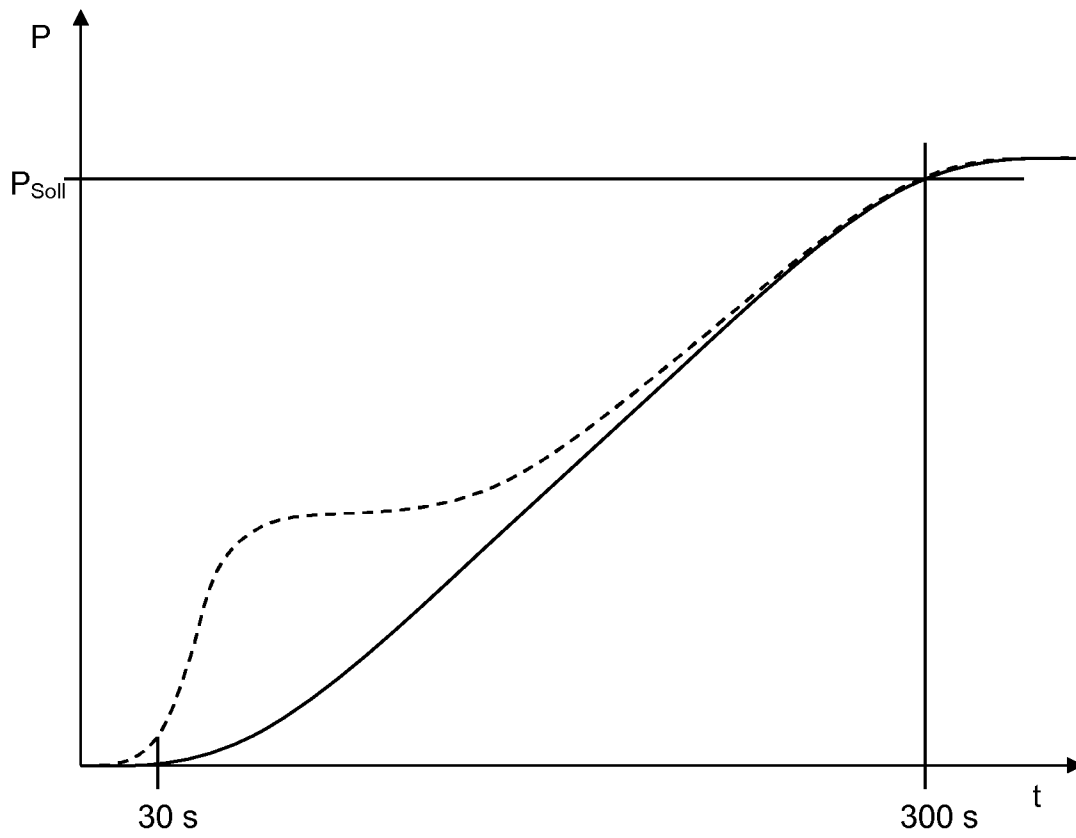
und 75%, besonders bevorzugt zwischen 40% und 60%, ganz besonders bevorzugt zwischen 45% und 55% entladen wird.

- 5 12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
die ans Stromnetz (24) abgegebene Leistung des Energieverbrauchers (21)
oder die aus dem Stromnetz (24) aufgenommene Leistung des
Energieerzeugers (21) nach dem ersten Zeitpunkt (t_1) zu mehreren
Zeitpunkten, insbesondere kontinuierlich gemessen wird und die Differenz zur
10 Nennleistung zu mehreren Zeitpunkten, vorzugsweise kontinuierlich berechnet
wird, wobei abgegebene oder aufgenommene Leistung des Energiespeichers
(22) in Abhängigkeit von dieser Differenz eingestellt wird, vorzugsweise die
Leistung genauso groß wie diese Differenz oder etwas größer eingestellt wird.
- 15 13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
der Energieerzeuger (21) und/oder der Energieverbraucher (21) eine
maximale Leistung von zumindest 1 MW hat oder haben, vorzugsweise
zumindest 10 MW, besonders bevorzugt zumindest 100 MW.
- 20 14. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
die Kapazität des Energiespeichers (22) zumindest so groß gewählt wird, dass
im Energiespeicher (22) die Energie gespeichert werden kann, die zum
Überbrücken der bereitzustellenden Nennleistung ab dem ersten Zeitpunkt (t_1)
25 bis zum Erreichen der Nennleistung durch den Energieerzeuger (21) und/oder
den Energieverbraucher (21) zum zweiten Zeitpunkt (t_2) benötigt wird.
- 30 15. Vorrichtung zum Durchführen eines Verfahrens nach einem der
vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
die Vorrichtung (20) eine Steuerung (23), einen Energiespeicher (22) sowie
einen Energieerzeuger (21) und/oder einen Energieverbraucher (21) umfasst,
wobei die Vorrichtung an ein Stromnetz (24) angeschlossen ist, die Steuerung
(23) mit dem Energiespeicher (22) sowie dem Energieverbraucher (21)

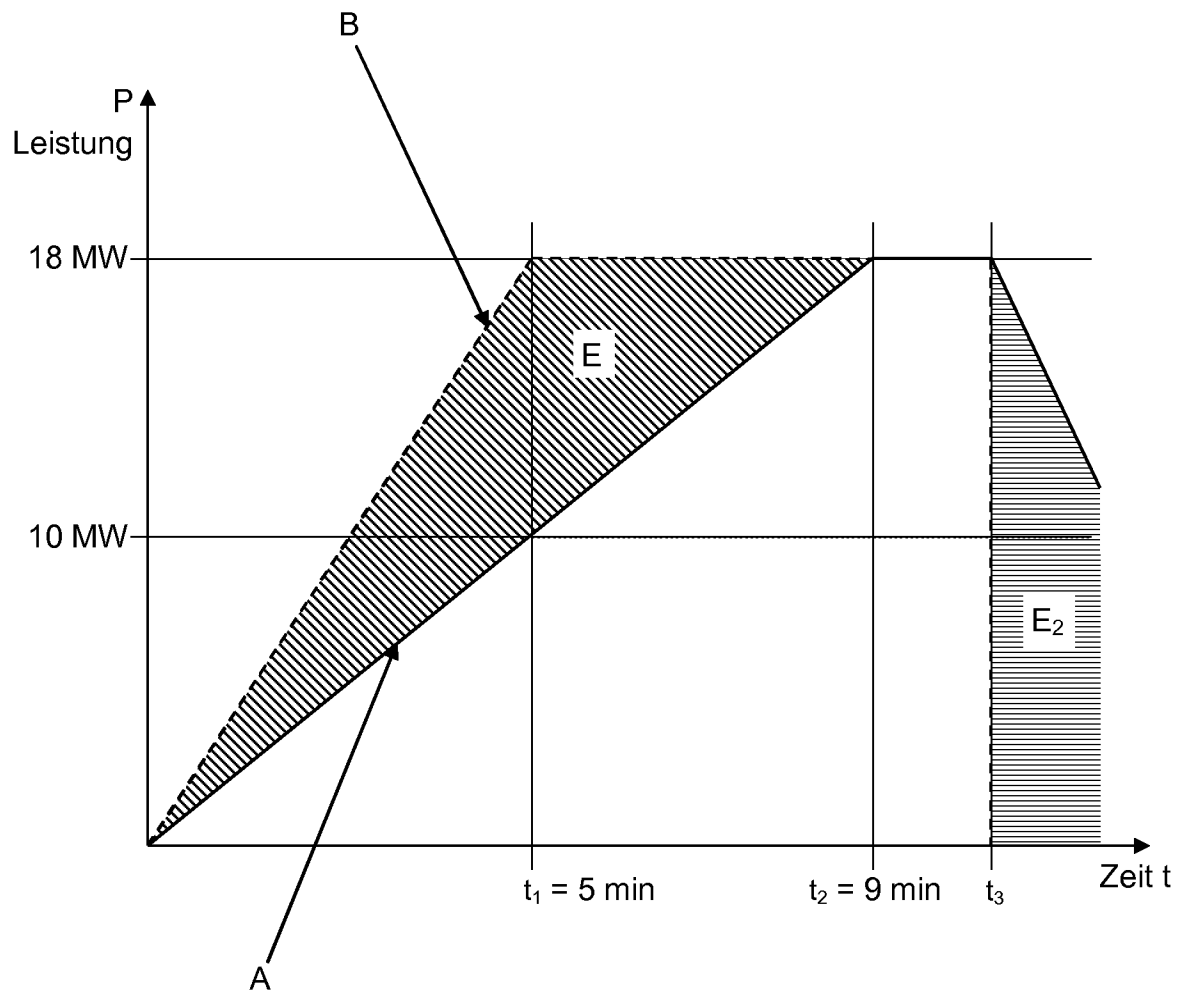
und/oder dem Energieerzeuger (21) verbunden ist und die erzeugte und/oder aufgenommene Regelleistung steuert.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass
5 die Vorrichtung (20) einen Frequenzmesser zum Messen der Netzfrequenz des Stromnetzes (24) und einen Speicher umfasst, wobei in dem Speicher zumindest ein Grenzwert der Netzfrequenz gespeichert ist, wobei die Steuerung (23) dazu ausgelegt ist, die Netzfrequenz mit dem zumindest einen Grenzwert zu vergleichen und in Abhängigkeit von dem Vergleich die Leistung
10 des Energiespeichers (22) sowie des Energieverbrauchers (21) und/oder des Energieerzeugers (21) zu steuern.
17. Vorrichtung nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass
15 die Kapazität des Energiespeichers (22) zumindest so groß ist, dass im Energiespeicher (22) zumindest die Energie speicherbar ist, die zum Überbrücken der bereitzustellenden Nennleistung ab dem ersten Zeitpunkt (t_1) bis zum Erreichen der Nennleistung durch den Energieerzeuger (21) und/oder den Energieverbraucher (21) zum zweiten Zeitpunkt (t_1) notwendig ist, vorzugsweise die Kapazität des Energiespeichers (22) so groß ist, dass im
20 Energiespeicher (22) 99% bis 150% der hierfür notwendigen Energie speicherbar ist, besonders bevorzugt 100% bis 120%, ganz besonders bevorzugt 100% bis 110%.

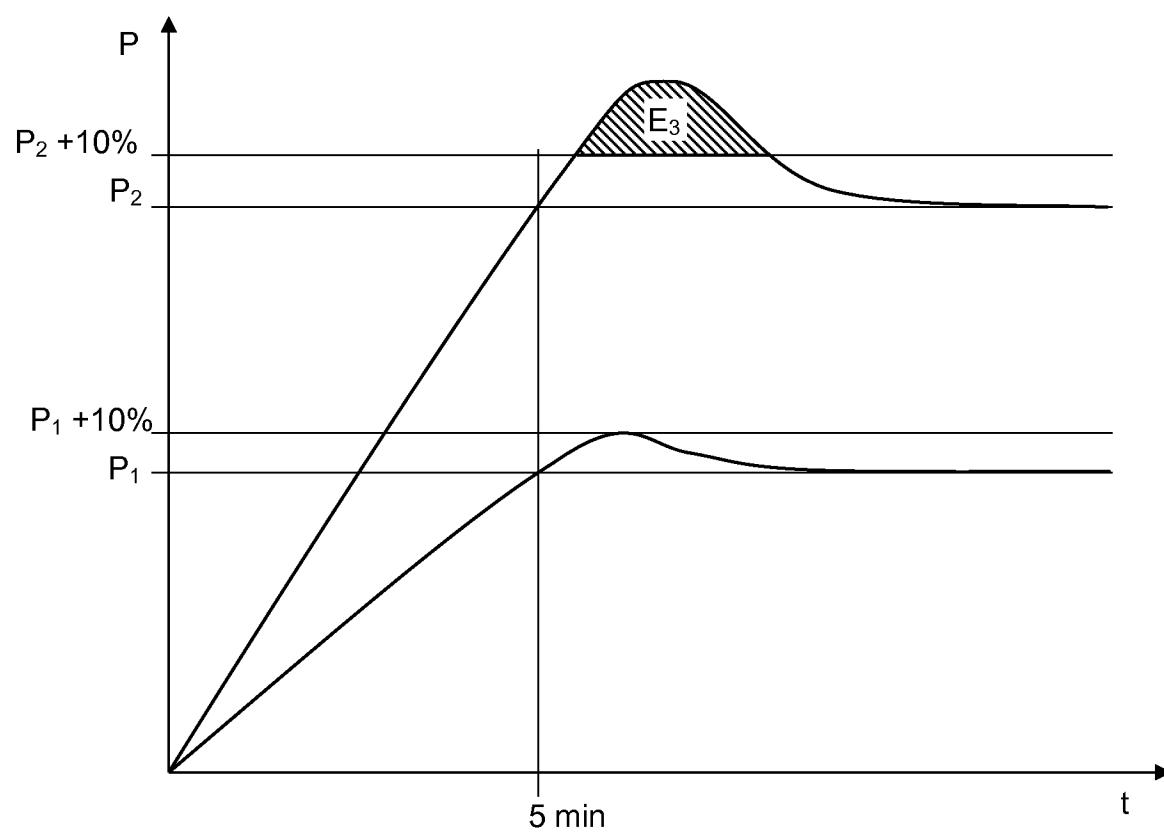
Zeichnungen



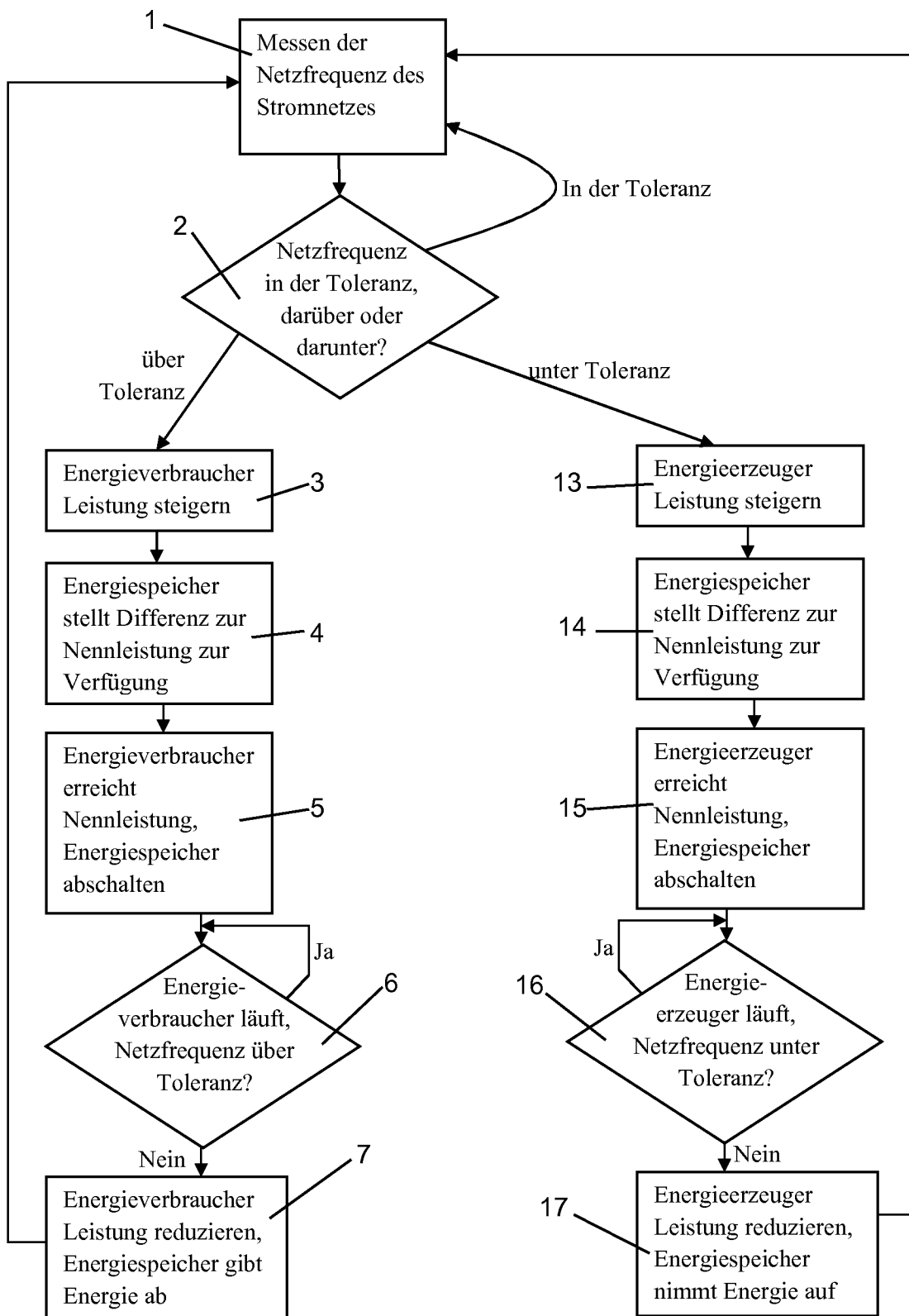
Figur 1



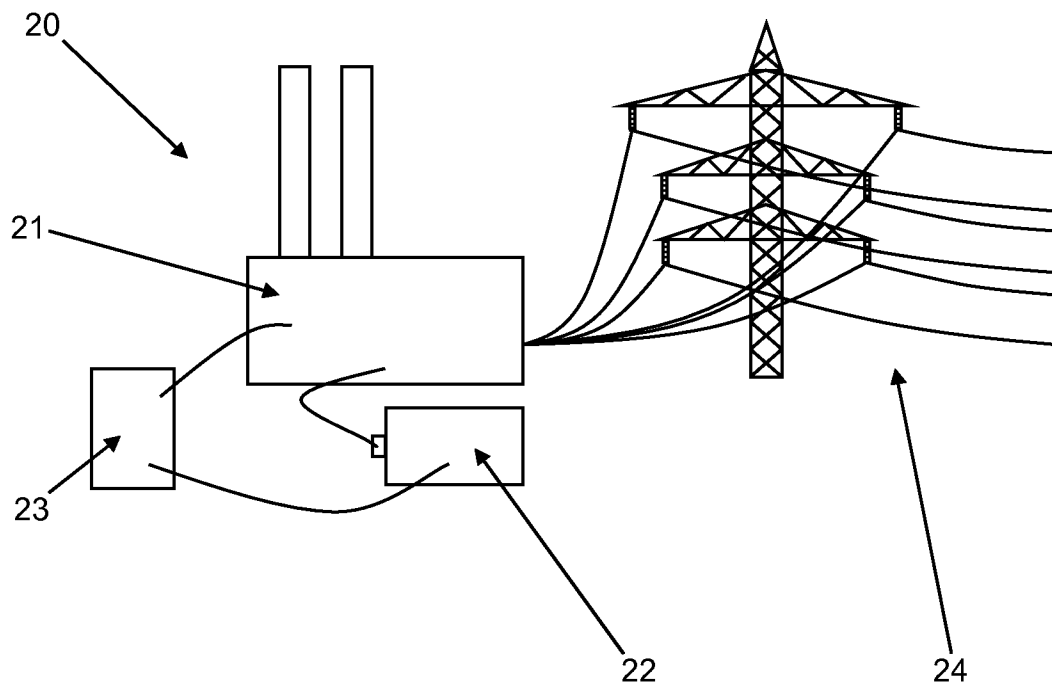
Figur 2



Figur 3



Figur 4



Figur 5