



(10) **DE 10 2016 105 662 A1** 2017.10.05

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 105 662.6**
(22) Anmeldetag: **29.03.2016**
(43) Offenlegungstag: **05.10.2017**

(51) Int Cl.: **H02J 3/38** (2006.01)
H02J 3/00 (2006.01)
F03D 7/00 (2006.01)

(71) Anmelder:
Wobben Properties GmbH, 26607 Aurich, DE

(74) Vertreter:
**Eisenführ Speiser Patentanwälte Rechtsanwälte
PartGmbH, 28217 Bremen, DE**

(72) Erfinder:
**Beekmann, Alfred, 26639 Wiesmoor, DE; Bartsch,
Matthias, 28215 Bremen, DE; Kruse, Marcel,
27616 Beverstedt, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

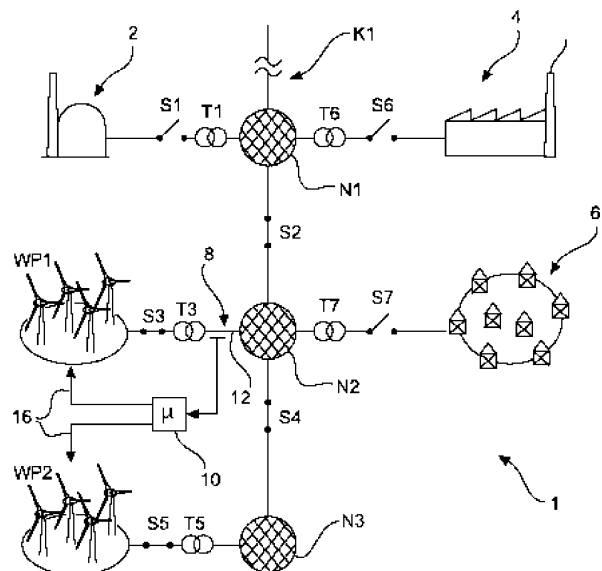
DE	100 44 096	A1
DE	103 20 087	A1
US	2015 / 0 042 092	A1
EP	1 909 371	A2
EP	1 965 483	A1
EP	2 632 012	A1
WO	2005/ 031 941	A1
CN	104 953 616	A

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Einspeisen elektrischer Leistung in ein elektrisches Versorgungsnetz mit einem Windpark sowie Windpark**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Einspeisen elektrischer Leistung in ein elektrisches Versorgungsnetz (1) mittels wenigstens eines jeweils über einen Netzanschlusspunkt (12) an das Versorgungsnetz angeschlossenen Windparks (WP1), wobei das Versorgungsnetz (1) mit einer Netzfrequenz zu betreiben ist und jeder Windpark (WP1) mehrere Windenergieanlagen (100) aufweist, umfassend die Schritte Feststellen, ob das elektrische Versorgungsnetz (1) in Betrieb ist, Starten des wenigstens einen Windparks (WP1) in einem Schwarzstartmodus zum Erzeugen elektrischer Leistung zum Einspeisen in das Versorgungsnetz (1), wenn das Versorgungsnetz (1) nicht in Betrieb ist, Betreiben des wenigstens einen Windparks (WP1) in einem Schwarzstartbetrieb, in dem elektrische Leistung in das Versorgungsnetz (1) eingespeist wird und dadurch das Versorgungsnetz (1) betrieben wird, wobei in dem Schwarzstartmodus und/oder in dem Schwarzstartbetrieb die Netzfrequenz durch das Einspeisen der elektrischen Leistung vorgegeben wird.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Einspeisen elektrischer Leistung in ein elektrisches Versorgungsnetz mittels wenigstens eines Windparks. Außerdem betrifft die vorliegende Erfindung einen Windpark und die vorliegende Erfindung betrifft auch eine Steuervorrichtung zum Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens und eine Steuervorrichtung zum Steuern eines erfindungsgemäßen Windparks.

[0002] Es ist bekannt, elektrische Leistung durch Windenergieanlagen in ein elektrisches Versorgungsnetz einzuspeisen, besonders durch mehrere in einem Park zusammengefasste Windenergieanlagen, die über einen gemeinsamen Netzanschlusspunkt in das elektrische Versorgungsnetz einspeisen. Auch das Einspeisen mit mehreren Windparks in dasselbe elektrische Versorgungsnetz an unterschiedlichen Netzanschlusspunkten ist bekannt.

[0003] Solche Verfahren setzen grundsätzlich voraus, dass das Netz in Betrieb ist. Es sind zwar auch Verfahren bekannt, bei denen Störungen im Netz auch durch Windenergieanlagen berücksichtigt werden, das elektrische Versorgungsnetz ist hierbei gleichwohl in Betrieb, auch wenn eine kurzfristige Störung vorliegt. Selbst wenn ein vollständiger Spannungseinbruch für kurze Zeit vorliegen sollte, kehrt das elektrische Versorgungsnetz doch regelmäßig wieder und die Windenergieanlagen bzw. Windparks können ihre Einspeisung fortsetzen.

[0004] So beschreibt beispielsweise die internationale Anmeldung WO 2005/031941 A1 ein Verfahren, bei dem eine Windenergieanlage bei Auftreten einer Störung in dem elektrischen Netz mit dem Netz verbunden bleibt und bei Beendigung der Störung eine deutlich höhere Leistung in das Netz einspeist, um hierbei das Netz zu stützen. Aber auch hier wird lediglich ein existierendes Netz, das in Betrieb ist und auch wieder selbständig in einen Betrieb ohne Störung zurückgekehrt ist, unterstützt.

[0005] Diesen Konzepten liegt der Grundgedanke zugrunde, dass ein elektrisches Versorgungsnetz wenigstens auch von einem Großkraftwerk versorgt und geführt wird. Dabei ist regelmäßig ein sehr großer Synchrongenerator direkt mit dem Netz gekoppelt, der diese Führungsaufgabe übernimmt und dabei auch eine Netzfrequenz vorgibt. Daran können sich dann die dezentralen Einspeiser wie auch Windenergieanlagen bzw. Windparks orientieren.

[0006] Inselnetze, die also klein und in sich abgeschlossen sind, insbesondere wenn sie tatsächlich auf einer (kleinen) Insel angeordnet sind, verfügen dann regelmäßig über einen sogenannten Netzbildner. Das kann beispielsweise ein Synchron-

generator sein, der von einem Verbrennungsmotor, besonders einem Dieselmotor, angetrieben wird. Ein solches System ist in der Offenlegungsschrift DE 100 44 096 A1 beschrieben. Somit wird letztlich auch dort das Netz durch einen direkt gekoppelten Synchrongenerator geführt.

[0007] Problematisch kann nun sein, wenn das elektrische Versorgungsnetz komplett ausgefallen ist, besonders nach einem Blackout, und wieder in Betrieb genommen werden muss. Ähnliches gilt auch für eine Erstinbetriebnahme eines elektrischen Versorgungsnetzes, wobei dieser Fall heutzutage kaum noch auftreten kann, mit Ausnahme von kleinen Inselnetzen, um die es in dieser Anmeldung aber nicht geht. Bei einer solchen Wiederinbetriebnahme wird grundsätzlich das Großkraftwerk durch seinen Synchrongenerator den Betrieb wieder aufnehmen. Dazu wird das eine oder mehrere Großkraftwerke wieder hochgefahren und dann sukzessive Verbraucher an entsprechenden Netzschaltpunkten zugeschaltet.

[0008] Ein solches System kann aber nicht funktionieren, wenn an dem wieder in Betrieb zu nehmenden elektrischen Versorgungsnetz solche Großkraftwerke mit Synchrongeneratoren nicht angeschlossen sind. Ein solches Problem kann auch für ein größeres abgetrenntes Teilnetz auftreten, wenn beispielsweise ein lokaler Blackout aufgetreten ist.

[0009] Eine Möglichkeit könnte darin liegen, für solche Fälle Netzbildner vorzusehen, wie das bei Inselnetzen gemacht wird. Das hätte aber den Nachteil, dass solche Netzbildner nur für solche Wiederinbetriebnahmen vorgehalten werden müssten und damit üblicherweise nicht benötigt werden, denn ein solches Wiederinbetriebnehmen oder eine Erstinbetriebnahme tritt recht selten auf.

[0010] Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, zumindest eins der oben genannten Probleme zu adressieren. Insbesondere soll eine Lösung geschaffen werden, ein elektrisches Versorgungsnetz oder einen Teil davon ohne Verwendung eines Großkraftwerks mit direkt gekoppeltem Synchrongenerator in Betrieb zu nehmen oder wieder in Betrieb zu nehmen. Zumindest soll gegenüber bisher bekannten Lösungen eine alternative Lösung vorgeschlagen werden.

[0011] Erfindungsgemäß wird somit ein Verfahren gemäß Anspruch 1 vorgeschlagen. Dieses Verfahren geht aus von einem Windpark, der über einen Netzanschlusspunkt in das Versorgungsnetz angeschlossen ist und über diesen Netzanschlusspunkt in das Versorgungsnetz elektrische Leistung einspeisen soll. Dieses elektrische Versorgungsnetz, oder einfach Versorgungsnetz, ist mit einer Netzfrequenz zu betreiben, wie beispielsweise 50 Hz oder 60 Hz. Es kann auch vorgesehen sein, mit mehreren Windparks einzuspeisen, wobei jeder Windpark mehrere

Windenergieanlagen aufweist und ein Windpark jeweils über einen eigenen Netzanschlusspunkt an das Versorgungsnetz angeschlossen ist und darüber einspeist.

[0012] Das Verfahren schlägt nun vor, dass zuerst festgestellt wird, ob das elektrische Versorgungsnetz in Betrieb ist. Diese Feststellung kann insbesondere von dem wenigstens einen Windpark vorgenommen werden und dazu kann eine zentrale Steuerung des Windparks vorhanden sein und verwendet werden. Es kommt auch in Betracht, besonders wenn mehrere Windparks involviert sind, eine übergeordnete Steuereinrichtung zu verwenden.

[0013] Wird festgestellt, dass das Versorgungsnetz nicht in Betrieb ist, wird der wenigstens eine Windpark in einem Schwarzstartmodus gestartet, um elektrische Leistung zu erzeugen und in das Versorgungsnetz einzuspeisen.

[0014] Der wenigstens eine Windpark, der in dem Schwarzstartmodus gestartet wurde, wird nun in einem Schwarzstartbetrieb betrieben. In diesem Schwarzstartbetrieb wird elektrische Leistung in das Versorgungsnetz eingespeist und dadurch das Versorgungsnetz betrieben, insbesondere auch wieder in Betrieb genommen. In diesem Schwarzstartmodus bzw. Schwarzstartbetrieb wird die Netzfrequenz durch das Einspeisen der elektrischen Leistung vorgegeben. Die Netzfrequenz wird somit durch den wenigstens einen einspeisenden Windpark vorgegeben.

[0015] Das vorgeschlagene Verfahren schafft somit eine Möglichkeit, ein elektrisches Versorgungsnetz, das nicht in Betrieb ist, das also insbesondere schwarzgefallen ist, wieder in Betrieb zu nehmen, ohne dafür ein Großkraftwerk zu benötigen, insbesondere ohne ein Großkraftwerk dazu zu benötigen, das einen direkt mit dem Netz gekoppelten Synchrongenerator aufweist, der die Netzfrequenz vorgibt. Der Windpark, ggf. mehrere, erkennt somit, dass das Netz nicht in Betrieb ist und fährt dieses selbständig hoch.

[0016] Unter einem elektrischen Versorgungsnetz wird hier kein Inselnetz verstanden, sondern ein elektrisches Versorgungsnetz, das nicht isoliert ist und insbesondere nicht den einen oder mehrere Windparks und ggf. weitere dezentrale Erzeugungseinheiten als einzige Erzeuger aufweist. Das elektrische Versorgungsnetz, das hier zugrunde gelegt wird, ist im Normalbetrieb mit wenigstens einem Großkraftwerk gekoppelt, das in dieses elektrische Versorgungsnetz einspeist. Das kann auch beinhalten, dass das elektrische Versorgungsnetz, von dem festgestellt wurde, dass es nicht in Betrieb ist, in dem Moment nicht mit einem Großkraftwerk gekoppelt ist, weil sich ein solcher vom elektrischen Versorgungsnetz getrennt hat und/oder mit einem anderen Teil-

netz verbunden ist und sich dieses Teilnetz von dem elektrischen Versorgungsnetz getrennt hat, von dem festgestellt wurde, dass es nicht in Betrieb ist. In diesem Fall kann nach dem Starten des elektrischen Versorgungsnetzes und dem Inbetriebnehmen oder Wiederinbetriebnehmen dieses elektrischen Versorgungsnetzes später eine Verbindung mit dem besagten Teilnetz und/oder dem besagten Großkraftwerk vorgenommen werden, um letztlich wieder den Normalbetrieb des elektrischen Versorgungsnetzes herzustellen.

[0017] Das hier betrachtete elektrische Versorgungsnetz kann beispielsweise einen Teil des Europäischen Verbundnetzes bilden.

[0018] Das Verfahren schafft somit eine Möglichkeit, ohne ein solches Großkraftwerk selbsttätig in Betrieb genommen zu werden und das hat zum einen den Vorteil, dass ein solches Inbetriebnehmen ohne ein entsprechendes Großkraftwerk durchgeführt werden kann. Es kann also in Betrieb genommen werden, wenn eine Verbindung zu einem Großkraftwerk in dem Moment getrennt ist. Es hat aber auch den Vorteil, dass eine Inbetriebnahme, insbesondere Wiederinbetriebnahme, ggf. schneller vorgenommen werden kann als dies mit einem oder mehreren Großkraftwerken der Fall wäre. Das liegt besonders darin begründet, dass Windenergieanlagen über die Verwendung von Wechselrichtern sehr schnell und flexibel regeln können.

[0019] Ist ein elektrisches Versorgungsnetz ausgefallen, so ist dies regelmäßig als schwerwiegende Störung einzustufen. Eine solche Störung hat häufig zur Folge, dass viele oder alle in dieses elektrische Versorgungsnetz einspeisenden Großkraftwerke abgeschaltet wurden. Entsprechend müssten zum Wiederinbetriebnehmen des elektrischen Versorgungsnetzes diese Großkraftwerke, zumindest ein Teil davon, zunächst wieder in Betrieb genommen werden oder es müssen Kraftwerke, die speziell zum Schwarzstart vorgesehen sind, gestartet werden. Das Wiederinbetriebnehmen mittels eines Windparks, das hier vorgeschlagen wird, kann somit ggf. eine verbesserte Lösung schaffen, insbesondere eine schnellere Wiederinbetriebnahme erreichen.

[0020] Gemäß einer Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass der Windpark über den jeweiligen Netzanschlusspunkt mit dem Versorgungsnetz verbunden wird, wobei das Versorgungsnetz vor dem Verbinden nicht in Betrieb ist, insbesondere keine Netzfrequenz aufweist und das Versorgungsnetz nach dem Verbinden die Netzfrequenz durch das Einspeisen durch den wenigstens einen Windpark aufweist. Das Versorgungsnetz ist somit zunächst nicht in Betrieb. Es weist insbesondere keine Netzfrequenz auf, was insoweit auch als Indikator dafür verwendet werden kann, dass das Versorgungsnetz nicht in Be-

trieb ist. Erst das Verbinden mit dem Windpark und Einspeisen elektrischer Leistung durch den Windpark mit der entsprechenden Frequenz, die der Windpark somit vorgibt, führt dazu, dass das Versorgungsnetz dann eine Netzfrequenz aufweist.

[0021] Vorzugsweise erzeugt im Schwarzstartbetrieb ein Frequenzgenerator ein Frequenzsignal und optional auch ein Phasensignal. Dies kann dem wenigstens einen Windpark als Leitsignal zur Verfügung gestellt werden und der wenigstens eine Windpark stellt dann die Frequenz und ggf. die Phase basierend auf diesem Leitsignal ein. Insbesondere ist ein solcher Frequenzgenerator Teil des wenigstens einen Windparks, der das elektrische Versorgungsnetz hier wieder in Betrieb nimmt. Bei Verwendung mehrerer Windparks zum Inbetriebnehmen des einen elektrischen Versorgungsnetzes kann dieser Frequenzgenerator allen diesen beteiligten Windparks das Frequenzsignal und optional das Phasensignal als Leitsignal zur Verfügung stellen. Besonders in diesem Fall wird vorgeschlagen, den Frequenzgenerator als übergeordnetes Steuermittel für die mehreren Windparks vorzusehen. Die örtliche Anordnung des Frequenzgenerators, bzw. dieses übergeordneten Steuermittels, kann in einem der Windparks sein.

[0022] Gemäß einer Ausgestaltung wird vorgeschlagen, dass eine der Windenergieanlagen für die Vorgabe der Frequenz und optional für die Vorgabe der Phase als Master-Anlage arbeitet und sich die übrigen Windenergieanlagen daran anpassen, sich insbesondere damit synchronisieren. Außerdem oder alternativ wird vorgeschlagen, dass bei Verwendung mehrerer Windparks ein Windpark für die Vorgabe der Frequenz und optional für die Vorgabe der Phase als Master-Park arbeitet und sich die übrigen Windparks daran anpassen, sich insbesondere damit synchronisieren. Hierdurch kann auf einfache Art und Weise eine Frequenz als Leitfrequenz und optional eine Phase als Leitphase vorgegeben werden. Die Master-Anlage bzw. der Master-Park können insoweit als Frequenzgenerator bzw. übergeordnetes Steuermittel arbeiten. Insoweit können die Vorteile und Merkmale des vorbeschriebenen Frequenzgenerators auf diese Master-Anlage bzw. diesen Master-Park sinngemäß übertragen werden.

[0023] Vorzugsweise wird zum Starten des wenigstens einen Windparks elektrische Energie aus einem Energiespeicher verwendet. Optional wird auch zum Einspeisen wenigstens eines Teils der einzuspeisenden elektrischen Leistung Energie aus dem Energiespeicher verwendet.

[0024] Entsprechend ist ein Energiespeicher vorzusehen, der beispielsweise zentral in dem Windpark angeordnet sein kann. Ist dieser Energiespeicher vergleichsweise klein oder weist eine vergleichsweise geringe Ladung auf, kann es sinnvoll sein, die Ener-

gie nur zum Starten des wenigstens einen Windparks zu verwenden, also als Energie für die Betriebs-einrichtungen wie beispielsweise Blattverstellantriebe und jeweils einen Erregungsstrom zum Erregen des Rotorfeldes eines fremderregten Synchrongenerators jeweils einer Windenergieanlage. Auch Steuerprozessoren, einschließlich eines Wechselrichters, können durch solche Energie aus einem Energiespeicher versorgt werden.

[0025] Ist ein entsprechend großer Energiespeicher vorgesehen, kann dessen Energie auch zum unmittelbaren Einspeisen verwendet werden. Damit kann erreicht werden, dass ein Wiederinbetriebnehmen des elektrischen Versorgungsnetzes auch dann möglich wird, wenn wenig Wind oder sogar gar kein Wind in dem Moment vorhanden ist, in dem das elektrische Versorgungsnetz wieder in Betrieb genommen werden soll. Als elektrische Energiespeicher kommen besonders als direkte elektrische Energiespeicher Batteriespeicher in Betracht. Es kommen aber auch elektrische Energiespeicher in Betracht, die die Energie in einer anderen Form speichern, aber besonders diese Energie als elektrische Energie aus-speichern, also abgeben können. Hierzu kommen besonders auch Gasspeicher in Betracht. Elektrische Kondensatoren können die elektrischen Speicher, insbesondere bei elektrischen Batteriespeichern, ergänzen. Es kommt auch als eine besonders bevorzugte Ausführungsform in Betracht, Batteriespeicher und andere Speicher und ggf. zusätzlich Kondensatorspeicher zu kombinieren. Dadurch können durch die unterschiedlichen Speicher unterschiedlich schnell elektrische Leistungen zur Verfügung gestellt werden. Unterschiedliche Eigenschaften hinsichtlich der Geschwindigkeit der Energiebereitstellung einerseits und des Speichervermögens hinsichtlich Energiemenge andererseits können so vorteilhaft kombiniert werden.

[0026] Gemäß einer Ausgestaltung wird vorgeschlagen, dass vor dem Starten des wenigstens einen Windparks an wenigstens einem der jeweiligen Netzanschlusspunkte eine Netzimpedanz erfasst wird, um eine Betriebsfähigkeit des Versorgungsnetzes zu überprüfen. Somit ist zum einen zwischen der Feststellung, ob das elektrische Versorgungsnetz in Betrieb ist, zusätzlich die Betriebsfähigkeit überprüft. Durch das Erfassen der Netzimpedanz kann insbesondere erkannt werden, ob noch ein Netzkurzschluss vorliegt oder ob der Netzanschlusspunkt, an dem die Netzimpedanz erfasst wird, vom elektrischen Versorgungsnetz oder von einem Großteil des elektrischen Versorgungsnetzes getrennt ist, oder ob eine andere Störung vorliegt. Vorzugsweise ist zu wenigstens einem früheren Zeitpunkt, besonders als das elektrische Versorgungsnetz in Betrieb war, also ohne Störung, eine Vergleichsimpedanz bzw. Vergleichsnetzimpedanz aufgenommen worden. Ein Vergleich der nun am Netzanschlusspunkt erfassten

Netzimpedanz mit einer solchen Vergleichsnetzimpedanz kann Aufschluss darüber geben, ob die nun erfasste Netzimpedanz auf ein Problem hindeutet, insbesondere darauf hindeutet, dass eine Betriebsfähigkeit nicht vorliegen könnte.

[0027] Außerdem oder alternativ wird vorgeschlagen, dass das Starten im Schwarzstartmodus an die erfasste Netzimpedanz angepasst wird. Besonders kann davon abhängen, wie viel Leistung und/oder Blindleistung zunächst eingespeist wird, wie schnell die Spannung erhöht wird, mit der eingespeist wird, und insbesondere auch, wie stabil die Regelung der Einspeisung ausgelegt wird. Besonders wird vorgeschlagen, abhängig von der erfassten Netzimpedanz eine Regelreserve vorzusehen. Unter einer Regelreserve wird hier verstanden, wie groß der relative, also prozentuale, Abstand der eingespeisten Leistung bzw. einzuspeisenden Leistung zu der rechnerischen Einspeiseleistung ist, bei der eine Stabilitätsgrenze errechnet wurde, bei der somit die Einspeisung instabil werden würde.

[0028] Vorzugsweise wird der Windpark nicht gestartet, wenn sich aus der erfassten Netzimpedanz ergibt, dass eine Betriebsfähigkeit des Versorgungsnetzes nicht gegeben ist. Das ist besonders dann der Fall, wenn die Netzimpedanz besonders groß oder besonders klein ist. Es kann aber auch die Netzimpedanz qualitativ darauf hindeuten, dass eine Betriebsfähigkeit nicht vorliegt oder zumindest problematisch ist. Das kann beispielsweise dann der Fall sein, wenn die Netzimpedanz einen sehr hohen oder sehr niedrigen ohmschen Anteil aufweist.

[0029] Vorzugsweise wird beim oder unmittelbar nach dem Starten des wenigstens einen Windparks im Schwarzstartmodus wenigstens ein mit dem Versorgungsnetz verbundener Verbraucher zugeschaltet, um für die in das Versorgungsnetz eingespeiste Leistung als Last zu dienen, sodass in dem Versorgungsnetz ein elektrischer Strom zu diesem wenigstens einen Verbraucher fließen kann.

[0030] Ein solcher Verbraucher kann ein künstlicher Verbraucher sein, also ein solcher, der allein für eine Netzstützung, insbesondere das hier beschriebene Starten im Schwarzstartmodus, vorgesehen ist. Das kann beispielsweise ein elektrischer Motor und/oder Widerstandsbänke zum Abführen elektrischer Energie sein. Vorzugsweise ist diese Last so gestaltet, dass sie auf Spannungsschwankungen, Frequenzschwankungen und Schwankungen verfügbarer Leistung tolerant reagiert.

[0031] Besonders bevorzugt kann als Last eine elektrische Rotationsmaschine, insbesondere mit Schwungmasse, vorgesehen sein, die sowohl im Motor- als auch im Generatorbetrieb arbeiten kann. Diese elektrische Maschine kann dann als Last dienen,

Leistung aufnehmen und diese Leistung in eine Drehbewegung umsetzen. Diese anfangs eingespeiste Leistung bzw. die sich dabei über die Zeit integrierende Energie kann diese elektrische Rotationsmaschine beschleunigen, sodass die elektrische Energie als kinetische Rotationsenergie gespeichert wird. Diese Rotationsenergie kann später wieder ins Netz abgegeben werden und wäre somit, zumindest zum Teil, nicht verloren. Zudem kann eine solche elektrische Rotationsmaschine die Energie auch bei Bedarf wieder abgeben, wenn der Windpark noch im Schwarzstartmodus und/oder Schwarzstartbetrieb betrieben wird.

[0032] Vorzugsweise bildet eine Windenergieanlage eines anderen Windparks und/oder ein anderer Windpark die zuschaltbare Last. Die Verwendung der Windenergieanlage oder des Windparks als Last hat den Vorteil, dass hierdurch diese Windenergieanlage bzw. dieser Windpark dabei gleichzeitig hochgefahren werden kann. Diese Windenergieanlage bzw. dieser andere Windpark stützen dann zunächst das Inbetriebnehmen des elektrischen Versorgungsnetzes als Last, können dann aber umso schneller als Erzeugungseinheit oder Einheiten arbeiten, sobald es benötigt wird. Das kann besonders dann benötigt werden, wenn weitere Verbraucher zu diesem elektrischen Versorgungsnetz im Schwarzstartbetrieb zugeschaltet werden.

[0033] Vorzugsweise wird das Starten im Schwarzstartmodus ausgelöst durch ein externes Signal eines Betreibers des elektrischen Versorgungsnetzes oder durch ein externes Signal einer Zentralsteuereinheit. Dieses externe Signal kann somit auch dazu verwendet werden, um festzustellen, ob das elektrische Versorgungsnetz in Betrieb ist, also um festzustellen, dass das elektrische Versorgungsnetz nicht in Betrieb ist. Außerdem oder alternativ kann ein solches externes Signal dazu verwendet werden, die Betriebsfähigkeit des elektrischen Versorgungsnetzes festzustellen. Entsprechend kann der Netzbetreiber und/oder die Zentralsteuereinheit feststellen, ob das elektrische Versorgungsnetz betriebsfähig ist.

[0034] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung wird vorgeschlagen, dass vor dem Starten im Schwarzstartmodus ein mit dem Netzanschlusspunkt verbundenes Teilnetz des Versorgungsnetzes abgetrennt wird, um unabhängig von dem verbleibenden Teil des Versorgungsnetzes gestartet und betrieben zu werden. Außerdem wird hierzu als ergänzende Option vorgeschlagen, dass in einem weiteren Schritt das abgetrennte und im Schwarzstartbetrieb betriebene Teilnetz mit dem verbliebenen Teil des Versorgungsnetzes, oder einem Teil davon, synchronisiert und dann wieder verbunden wird.

[0035] Demnach wird aus einem gesamten elektrischen Versorgungsnetz, wie beispielsweise dem

Europäischen Verbundnetz, ein Teilnetz abgetrennt, das unabhängig von dem verbleibenden Teil des Versorgungsnetzes hochgefahren werden kann. Das verbleibende elektrische Versorgungsnetz kann ebenfalls und anderweitig hochgefahren werden. Der wenigstens eine Windpark braucht somit nur dieses abgetrennte Teilnetz zu starten. Vorzugsweise wurde auch für dieses Teilnetz eine Impedanzerfassung zuvor durchgeführt, als das elektrische Versorgungsnetz im Wesentlichen noch in einem optimalen Zustand lief. In diesem Fall kann auch von einer im nicht abgetrennten Teilnetz gemessenen Impedanz auf eine Impedanz hochgerechnet werden, die sich bei entsprechend abgetrenntem Teilnetz ergäbe.

[0036] Vorzugsweise wird in einem weiteren Schritt das abgetrennte und im Schwarzstartbetrieb betriebene Teilnetz mit dem verbliebenen Teil des Versorgungsnetzes, oder einem Teil davon, synchronisiert und dann wieder verbunden. Somit können mehrere, zumindest zwei, Teilnetze unabhängig voneinander hochgefahren werden, besonders bis sie stabil arbeiten. Dann kann eine Synchronisation und Wieder-Verbindung dieser zunächst separat hochgefahrenen Teilnetze erfolgen.

[0037] Vorzugsweise weist das Versorgungsnetz wenigstens einen Verbraucher und eine konventionelle Erzeugungseinheit auf. Insbesondere weist das elektrische Versorgungsnetz sehr viele Verbraucher auf. Demnach wird hier die Verwendung eines im Grunde üblichen Versorgungsnetzes vorgeschlagen. Vorzugsweise weist die konventionelle Erzeugungseinheit eine Nennleistung von mehr als 200 MW auf. Es ist somit eine konventionelle Erzeugungseinheit vorgesehen, die hier auch als Großkraftwerk bezeichnet wird. Außerdem oder alternativ weist die konventionelle Erzeugungseinheit einen direkt mit dem Versorgungsnetz gekoppelten Synchrongenerator auf. Es wird somit von einem Versorgungsnetz mit einem im Grunde herkömmlichen Erzeuger, nämlich einem anderen Erzeuger als eine Windenergieanlage bzw. ein Windpark, ausgegangen. Diese konventionelle Erzeugungseinheit ist somit so aufgebaut, dass sie einen Synchrongenerator aufweist, der unmittelbar an das Netz gekoppelt ist. Ein solcher Synchrongenerator würde insoweit auch eine Frequenz im Netz vorgeben können.

[0038] Dabei ist vorgesehen, dass diese konventionelle Erzeugungseinheit vom Versorgungsnetz getrennt ist, wenn das Versorgungsnetz nicht in Betrieb ist. Ein solches elektrisches Versorgungsnetz wird somit durch einen oder mehrere Windparks wieder in Betrieb genommen, nicht aber durch die konventionelle Erzeugungseinheit.

[0039] Gemäß einer Ausgestaltung wird vorgeschlagen, dass wenigstens zwei Windparks vorgesehen sind und diese Windparks synchron gestartet wer-

den, insbesondere synchron hochfahren, wobei sie wenigstens in ihrer Frequenz- und Phasenlage aufeinander abgestimmt sind, wobei vorzugsweise einer der Windparks als Master-Park arbeitet und sich der andere Park bzw. die anderen Parks nach diesem Master-Park richten. Hierdurch kann auf einfache Art und Weise das Wiederinbetriebnehmen des elektrischen Versorgungsnetzes mittels zweier oder mehrerer Windparks vorgenommen werden. Diese wenigstens zwei Windparks können sich somit besonders in ihrer abgebbaren Leistung, also Wirkleistung, als auch ihrer abgebbaren Blindleistung, bereits in der Höhe ergänzen. Insoweit diese wenigstens zwei Windparks auch örtlich voneinander beabstandet aufgestellt sind, kann auch eine gewisse Vergleichmäßigung hinsichtlich des Windangebotes vorgenommen werden. Stehen diese Windparks weit genug auseinander, können sich Windveränderungen, insbesondere Böen, zumindest teilweise herausmitteln. Dieser Vorteil kommt besonders bei Verwendung von mehr als zwei, insbesondere deutlich mehr als zwei, Windparks zum Tragen.

[0040] Durch das Vorsehen eines Windparks als Master-Park kann die Koordinierung mehrerer Windparks auf einfache Art und Weise umgesetzt werden.

[0041] Vorzugsweise werden mehrere Windparks verwendet und die Windparks tauschen untereinander Daten aus, um sich für einen gemeinsamen Start im Schwarzstartmodus vorzubereiten, wobei die Windparks wenigstens Daten über ihre verfügbare Leistung und/oder über im Versorgungsnetz benötigte Leistung austauschen, und wobei sie davon abhängig den Start im Schwarzstartmodus mit anschließendem Betrieb im Schwarzstartbetrieb steuern und/oder daraus ableiten, ob ein Start im Schwarzstartmodus mit anschließendem Betrieb im Schwarzstartbetrieb möglich ist.

[0042] Somit wird eine Datenkommunikation zwischen den Windparks vorgesehen. Insbesondere Daten über die verfügbare Leistung und/oder im Versorgungsnetz benötigte Leistung werden hierbei ausgetauscht. Die verfügbare Leistung eines Windparks hängt besonders davon ab, wie stark der vorherrschende Wind im Park ist. Es kommen aber auch andere Informationen in Betracht, wie beispielsweise ob alle Windenergieanlagen in dem Park in Betrieb genommen werden können, oder ob eine oder mehrere Windenergieanlagen in einem Reparaturmodus sind, um nur ein Beispiel zu nennen. Mit diesen Daten kann dann die Inbetriebnahme oder Wiederinbetriebnahme des elektrischen Versorgungsnetzes besser geplant und koordiniert werden. Es kommt auch in Betracht, dass sich bei Auswertung dieser Daten herausstellt, dass eine Inbetriebnahme oder Wiederinbetriebnahme des elektrischen Versorgungsnetzes derzeit nicht möglich ist.

[0043] Vorzugsweise berücksichtigt für eine Bestimmung verfügbare Leistung der betreffende Park den vorherrschenden Wind, den zu erwartenden Wind und/oder Eigenschaften und Größe im Park vorhandener Speichereinrichtungen.

[0044] Die Bedeutung vorherrschenden Windes wurde bereits erläutert und der vorherrschende Wind hat einen großen Einfluss darauf, wie viel Leistung überhaupt aus dem Wind entnommen und damit zum Einspeisen bereitgestellt werden kann.

[0045] Bei der Berücksichtigung zu erwartenden Windes wird vorzugsweise eine Wettervorhersage mit in Betracht gezogen. Diese kann von einem zentralen meteorologischen Institut, wie beispielsweise in Deutschland dem Bundesamt für Seefahrt und Hydrographie, bezogen werden. Als weitere Möglichkeit wird vorgeschlagen, dass der Windpark selbst eine Vorhersage ermittelt, besonders aus aufgenommenen Wetterdaten wie der Änderung des Luftdrucks, der Temperatur und des vorherrschenden Windes. Vorzugsweise werden hierfür meteorologische Daten mehrerer Windparks ausgewertet. Vorzugsweise werden dabei auch meteorologische Daten von Windparks verwendet, die nicht in das Inbetriebnehmen dieses elektrischen Versorgungsnetzes involviert sind.

[0046] Für die Bestimmung verfügbarer Leistung können auch Eigenschaften und Größe im Park vorhandener Speichervorrichtungen berücksichtigt werden. Abhängig solcher Speichervorrichtungen kann beurteilt werden, wie schnell der Park hochgefahren werden kann und/oder wie viel Energie und damit Leistung unmittelbar aus den Speichervorrichtungen eingespeist werden kann, wie viel einspeisbare elektrische Energie also windunabhängig vorliegt.

[0047] Im Übrigen müssen solche elektrischen Speichervorrichtungen nicht unmittelbar im Windpark angeordnet sein, wobei eine Anordnung im Park eine bevorzugte Ausführungsform ist.

[0048] Erfindungsgemäß wird zudem eine Steuervorrichtung zum Steuern des Einspeisens elektrischer Energie in ein elektrisches Versorgungsnetz vorgeschlagen. Die Einspeisung erfolgt hier mittels wenigstens eines jeweils über einen Netzanschlusspunkt an das Versorgungsnetz angeschlossenen Windparks und das Versorgungsnetz wird, wie oben schon beschrieben, mit einer Netzfrequenz betrieben, insbesondere mit 50 Hz oder 60 Hz. Jeder Windpark weist mehrere Windenergieanlagen auf und die Steuervorrichtung umfasst ein Erfassungsmittel zum Feststellen, ob das elektrische Versorgungsnetz in Betrieb ist. Das Erfassungsmittel ist insbesondere dazu vorgesehen, zu messen oder entsprechende Messwerte auszuwerten, ob auf dem Netz eine Frequenz vorliegt, also erkennbar ist.

[0049] Weiterhin weist die Steuervorrichtung einen Signalgeber auf, der ein Startsignal erzeugen und übertragen kann. Ein solches Startsignal ist dazu vorgesehen, den wenigstens einen Windpark, der in das Versorgungsnetz einspeisen soll, in einem Schwarzstartmodus zu starten. In diesem erzeugt der Windpark elektrische Leistung und speist diese in das Versorgungsnetz ein. Ein solches Startsignal wird dann gegeben, wenn das Versorgungsnetz nicht in Betrieb ist, wenn das Erfassungsmittel also festgestellt hat, dass das elektrische Versorgungsnetz nicht in Betrieb ist.

[0050] Weiterhin ist als Teil der Steuervorrichtung eine Führungseinheit vorgesehen, die den wenigstens einen Windpark in einem Schwarzstartbetrieb führt. In diesem Schwarzstartbetrieb wird elektrische Leistung von dem wenigstens einen Windpark in das Versorgungsnetz eingespeist und dadurch das Versorgungsnetz betrieben. Die Führungseinheit kann den wenigstens einen Windpark wenigstens derart führen, dass es die einzuspeisende Wirkleistung, die einzuspeisende Blindleistung und/oder deren Verhältnis zueinander vorgeben kann. Außerdem oder alternativ kann sie den wenigstens einen Windpark derart führen, dass sie die Spannungshöhe vorgibt, mit der in dem Schwarzstartbetrieb bzw. Schwarzstartmodus eingespeist wird. Beispielsweise kann sie einen solchen Spannungswert langsam erhöhen bzw. den Windpark so führen, dass er Vorgaben erhält, um die Spannung entsprechend zu erhöhen.

[0051] Somit wird auch in diesem Schwarzstartmodus bzw. Schwarzstartbetrieb die Netzfrequenz durch das Einspeisen der elektrischen Leistung durch den wenigstens einen Windpark erst vorgegeben.

[0052] Vorzugsweise ist die Steuervorrichtung dazu vorbereitet, ein Verfahren gemäß wenigstens einer der vorstehend beschriebenen Ausführungsformen durchzuführen bzw. einen Windpark, oder mehrere Windparks, so zu führen, dass er bzw. sie gemäß einem Verfahren gemäß einer der vorstehend beschriebenen Ausführungsformen elektrische Leistung in das elektrische Versorgungsnetz einspeist.

[0053] Demnach wird vorgeschlagen, dass die Steuervorrichtung den Schwarzstart des elektrischen Versorgungsnetzes koordiniert.

[0054] Außerdem wird erfindungsgemäß ein Windpark mit mehreren Windenergieanlagen vorgeschlagen, der dazu vorbereitet ist, ein Verfahren gemäß wenigstens einer der vorstehend beschriebenen Ausführungsformen auszuführen bzw. in einem solchen Verfahren mitzuwirken. Demnach kann der Windpark ein solches Verfahren auch ohne die genannte Steuervorrichtung ausführen bzw. auch ohne eine solche Steuervorrichtung an einem Ausführen des Verfahrens mitwirken. Beispielsweise kann der Windpark

bzw. einer der Windparks hierbei die Koordinierung übernehmen.

[0055] Außerdem oder alternativ ist ein solcher Windpark dazu vorbereitet, mit einer Steuervorrichtung gemäß wenigstens einer der vorstehend beschriebenen Ausführungsformen funktional gekoppelt zu werden. Insbesondere ist dieser Windpark dazu vorbereitet, das Startsignal von der Steuervorrichtung zu empfangen und außerdem oder alternativ durch die Führungseinheit der Steuervorrichtung in dem Schwarzstartbetrieb geführt zu werden. Der Windpark ist somit sowohl hinsichtlich Schnittstellen als auch hinsichtlich funktionaler Kompatibilität hierbei an die Steuervorrichtung angepasst.

[0056] Erfindungsgemäß wird zudem eine Windenergieanlage vorgeschlagen, die zum Betrieb in einem Windpark gemäß einer vorstehend beschriebenen Ausführungsform vorbereitet ist. Eine solche Windenergieanlage kann somit mitwirken, die entsprechend geforderten elektrischen Werte einzuhalten. Insbesondere kann sie einen Teil der einzuspeisenden Wirkleistung und/oder Blindleistung beisteuern. Vorzugsweise kann sie ein Verhältnis von Wirk- zu Blindleistung aufweisen, das dem Verhältnis entspricht, das der Windpark insgesamt einspeist. Außerdem oder alternativ kann sie ihre Spannungshöhe entsprechend dem jeweiligen vorgegebenen Wert in dem Schwarzstartmodus bzw. Schwarzstartbetrieb bereitstellen. Das beinhaltet auch, eine solche Spannung bereitzustellen, dass diese ein Übertragungsverhältnis eines oder mehrerer zwischen ihr und dem Netzanschlusspunkt geschalteter Transformatoren berücksichtigt.

[0057] Außerdem oder alternativ wird vorgeschlagen, dass die Windenergieanlage eine Steuervorrichtung gemäß einer der vorstehend beschriebenen Ausführungsformen beinhaltet. Somit kann eine solche Steuervorrichtung in einer Windenergieanlage des Windparks vorgesehen sein. Beispielsweise kann ein Windpark mehrere Windenergieanlagen aufweisen, von denen einige, insbesondere alle, für einen Schwarzstartmodus bzw. Schwarzstartbetrieb geeignet und vorbereitet sind, von denen aber eine eine beschriebene Steuervorrichtung aufweist und dadurch die Führung des Schwarzstartmodus bzw. Schwarzstartbetriebs übernehmen kann. Hierbei ist es besonders vorteilhaft, dass Kommunikationseinheiten und Anschlüsse und ggf. Kommunikationsleitungen der Windenergieanlagen auch für die Führung bzw. Koordination eines solchen Schwarzstarts mittels der Steuervorrichtung genutzt werden können.

[0058] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsformen exemplarisch unter Bezugnahme auf die begleitenden Figuren näher beschrieben.

[0059] Fig. 1 zeigt eine Windenergieanlage in einer perspektivischen Ansicht.

[0060] Fig. 2 zeigt einen Windpark in einer schematischen Darstellung.

[0061] Fig. 3 zeigt schematisch ein elektrisches Versorgungsnetz zum Veranschaulichen eines Wiederinbetriebnehmens.

[0062] Fig. 4 zeigt schematisch in einem Diagramm vereinfachte Verläufe für eine Spannung U und einen Leistungsfaktor $\cos\phi$ für einen Schwarzstartbetrieb.

[0063] Fig. 1 zeigt eine Windenergieanlage **100** mit einem Turm **102** und einer Gondel **104**. An der Gondel **104** ist ein Rotor **106** mit drei Rotorblättern **108** und einem Spinner **110** angeordnet. Der Rotor **106** wird im Betrieb durch den Wind in eine Drehbewegung versetzt und treibt dadurch einen Generator in der Gondel **104** an.

[0064] Fig. 2 zeigt einen Windpark **112** mit beispielhaft drei Windenergieanlagen **100**, die gleich oder verschieden sein können. Die drei Windenergieanlagen **100** stehen somit repräsentativ für im Grunde eine beliebige Anzahl von Windenergieanlagen eines Windparks **112**. Die Windenergieanlagen **100** stellen ihre Leistung, nämlich insbesondere den erzeugten Strom über ein elektrisches Parknetz **114** bereit. Dabei werden die jeweils erzeugten Ströme bzw. Leistungen der einzelnen Windenergieanlagen **100** aufaddiert und meist ist ein Transformator **116** vorgesehen, der die Spannung im Park hochtransformiert, um dann an dem Einspeisepunkt **118**, der auch allgemein als PCC bezeichnet wird, in das Versorgungsnetz **120** einzuspeisen. Fig. 2 ist nur eine vereinfachte Darstellung eines Windparks **112**, die beispielsweise keine Steuerung zeigt, obwohl natürlich eine Steuerung vorhanden ist. Auch kann beispielsweise das Parknetz **114** anders gestaltet sein, in dem beispielsweise auch ein Transformator am Ausgang jeder Windenergieanlage **100** vorhanden ist, um nur ein anderes Ausführungsbeispiel zu nennen.

[0065] Fig. 3 zeigt ein Versorgungsnetz **1** in einer schematischen Darstellung. Das elektrische Versorgungsnetz **1** enthält in dieser Darstellung drei Teilnetze N1, N2 und N3, die durch die Schalter S2 bzw. S4 voneinander getrennt werden können. In der Darstellung der Fig. 3 sind diese beiden Schalter S2 und S4 aber geschlossen und diese drei Teilnetze N1–N3 bilden somit, zusammen mit weiteren Elementen, das elektrische Versorgungsnetz **1**. Das elektrische Versorgungsnetz **1**, wie es in Fig. 3 veranschaulicht ist, kann auch mit weiteren Teilen, insbesondere mit einem übergreifenden Gesamtnetz, wie dem Europäischen Verbundnetz, gekoppelt sein, was durch das Fortsetzungssymbol K1 veranschaulicht werden soll.

[0066] Es ist zu betonen, dass **Fig. 3** in vielerlei Hinsicht nur eine schematische und veranschaulichende Darstellung ist. Insbesondere können auch die symbolisierten Teilnetze N1–N3 stärker miteinander verbunden sein, also beispielsweise über mehrere Verbindungspunkte und nicht nur über einen Schalter S2 bzw. S4. Außerdem gehören letztlich auch Schaltelemente, Transformatoren, Verbraucher und Erzeuger, um nur einige Beispiele zu nennen, jeweils zu einem Versorgungsnetz bzw. Teilnetz hinzu. Einige solcher Elemente werden nachfolgend auch noch in ihrer Bedeutung für das Versorgungsnetz **1** beschrieben.

[0067] In der Ausführungsform gemäß **Fig. 3** sind ein erster und ein zweiter Windpark WP1 bzw. WP2 vorgesehen, die in das elektrische Versorgungsnetz **1** einspeisen, nämlich über den Schalter S3 und den Transformator T3 in das Teilnetz N2 bzw. über den Schalter S5 und den Transformator T5 in das Teilnetz N3. In der gezeigten Situation sind die beiden Schalter S3 und S5 geschlossen, die beiden Windparks WP1 und WP2 sind somit mit dem elektrischen Versorgungsnetz **1** verbunden und können einspeisen.

[0068] Außerdem ist ein Großkraftwerk **2** dargestellt, das über einen Schalter S1 und einen Transformator T1 in das elektrische Versorgungsnetz **1**, nämlich in das Teilnetz N1, einspeisen könnte. In der gezeigten Situation ist der Schalter S1 allerdings geöffnet und das Großkraftwerk **2** speist somit in der gezeigten Situation nicht ein. Das Großkraftwerk **2** steht im Übrigen nur repräsentativ für andere Großkraftwerke, besonders solche, die über einen direkt mit dem Versorgungsnetz **1** gekoppelten Synchrongenerator einspeisen würden. Insoweit steht der geöffnete Schalter S1 repräsentativ dafür, dass in der in **Fig. 3** gezeigten Situation kein Großkraftwerk **2** in das elektrische Versorgungsnetz aktuell einspeist.

[0069] Außerdem ist exemplarisch ein industrieller Verbraucher **4** dargestellt, der aus dem elektrischen Versorgungsnetz **1** über den Transformator T6 und den Schalter S6 Leistung aus dem elektrischen Versorgungsnetz **1** beziehen könnte. In der gezeigten Situation ist der Schalter S6 allerdings geöffnet, was somit anzeigt, dass in der gezeigten Situation der exemplarische industrielle Verbraucher **4** keine Leistung aus dem elektrischen Versorgungsnetz **1** bezieht.

[0070] Ebenfalls ist symbolisch ein Stadtnetz **6** dargestellt, das repräsentativ für viele einzelne, besonders in einem Niederspannungsnetz zusammengefasste, nichtindustrielle Verbraucher steht.

[0071] Auch dieses Stadtnetz **6** könnte Leistung aus dem elektrischen Versorgungsnetz **1** beziehen, nämlich über den Transformator T7 und den Schalter S7. In der dargestellten Situation ist der Schalter S7 aber geöffnet und das Stadtnetz **6** bezieht somit in der

gezeigten Situation keine Leistung aus dem elektrischen Versorgungsnetz **1**. Der exemplarische industrielle Verbraucher **4** symbolisiert auch einen Verbraucher, der auch induktive Leistung bezieht, zumindest mit einem deutlich höheren Anteil als dies bei dem Stadtnetz **6** der Fall ist.

[0072] In der in **Fig. 3** veranschaulichten Situation sind somit im Moment nur die beiden Windparks WP1 und WP2 mit dem elektrischen Versorgungsnetz **1** gekoppelt. Sie speisen derzeit aber zunächst keine Leistung ein. Insoweit könnten die beiden Schalter S3 und S5 auch geöffnet sein. Es wird somit davon ausgegangen, dass das gezeigte elektrische Versorgungsnetz **1**, das der Einfachheit halber auch nur als Versorgungsnetz **1** bezeichnet werden kann, ausgefallen ist, was hier auch als schwarzgefallen bezeichnet werden kann. Das elektrische Versorgungsnetz **1** ist somit derzeit nicht in Betrieb.

[0073] Es wird nun an der Messstelle **8** gemessen, um festzustellen, ob das elektrische Versorgungsnetz **1** in Betrieb ist. Das Messergebnis wird zur Steuervorrichtung **10** gegeben und dort ausgewertet. In der Steuervorrichtung **10** wird nun festgestellt, dass das elektrische Versorgungsnetz **1** nicht in Betrieb ist. Das kann besonders dadurch festgestellt werden, dass keine Spannung und/oder keine Frequenz erfasst wird (obwohl Messfehler ausgeschlossen werden können).

[0074] Die Steuervorrichtung **10** erkennt dies und entscheidet, ob es zweckmäßig ist, die beiden exemplarisch gezeigten Windparks WP1 und WP2 im Schwarzstartmodus zu starten. Dazu wertet die Steuervorrichtung **10** weitere Informationen aus, nämlich sowohl Informationen zum Zustand des elektrischen Versorgungsnetzes **1** als auch zum Zustand der beiden Windparks WP1 und WP2.

[0075] Der Zustand des elektrischen Versorgungsnetzes **1** kann dabei auch, zumindest soll das veranschaulicht so dargestellt werden, an der Messstelle **8** erfasst werden. Insbesondere eine Erfassung der Netzimpedanz an dem jeweiligen Netzanschlusspunkt wird vorgeschlagen. Diese Details sind in **Fig. 3** aber nicht dargestellt und eine Messung der Netzimpedanz bzw. Erfassung der Netzimpedanz wäre jeweils auf den Netzanschlusspunkt zu beziehen bzw. insbesondere dort vorzunehmen. Insoweit speist der Windpark WP1 über den Netzanschlusspunkt **12** in das elektrische Versorgungsnetz **1** ein, der örtlich der Messstelle **8** entsprechen kann. Der zweite Windpark WP2 speist über den Netzanschlusspunkt **14** in das Versorgungsnetz **1** ein.

[0076] Über Kommunikationsverbindungen **16** kommuniziert die Steuervorrichtung **10** mit dem ersten bzw. zweiten Windpark WP1 bzw. WP2. Dadurch kann die Steuervorrichtung Informationen von dem

jeweiligen Windpark erhalten und beurteilen, ob ein Start im Schwarzstartmodus nun zweckmäßig sein kann. Solche Informationen sind insbesondere, wie viel Leistung und/oder Blindleistung der entsprechende Windpark aktuell überhaupt bereitstellen und damit einspeisen könnte. Die genannte Information über das elektrische Versorgungsnetz, insbesondere die jeweilige auf den Netzanschlusspunkt **12** bzw. **14** bezogene Netzimpedanz, könnte die Steuervorrichtung **10** auch hierdurch von dem jeweiligen Windpark WP1 bzw. WP2 erhalten. Grundsätzlich kann auch die Messstelle **8** entfallen, wenn sämtliche Informationen von dem betreffenden Windpark bereitstellen werden.

[0077] Diese Informationen, also insbesondere Informationen zum Netzzustand als auch zum aktuellen Zustand und der aktuellen Leistungsfähigkeit der beiden Windparks WP1 und WP2, werden nun in der Steuervorrichtung **10** ausgewertet und die Steuervorrichtung **10** kann dann ein Startsignal an die beiden Windparks WP1 und WP2 geben, um zu veranlassen, dass diese im Schwarzstartmodus starten.

[0078] Die beiden Windparks WP1 und WP2 können dann insbesondere zunächst Blindleistung, zum Teil bzw. später aber auch Wirkleistung einspeisen. Dabei werden die beiden Windparks WP1 und WP2 durch die Steuervorrichtung **10** besonderes hinsichtlich einer Frequenz und Phase so geführt, dass sie mit einer festen Frequenz, insbesondere der Nennfrequenz des elektrischen Versorgungsnetzes, einspeisen und diese damit in dem elektrischen Versorgungsnetz vorgeben. Die beiden Windparks WP1 und WP2 sind dabei miteinander synchronisiert. Es kommt natürlich auch in Betracht, dass, in einer anderen Ausführungsform, nur ein Windpark einspeist und alleine die Frequenz vorgibt. Somit orientiert sich nicht der Windpark bzw. die Windparks an einer vorhandenen Frequenz im Netz, sondern gibt diese vor.

[0079] Gleichzeitig können die beiden Windparks WP1 und WP2 so geführt werden, dass sie insbesondere die Netzspannung hochfahren.

[0080] Die Steuervorrichtung **10** kann auch übernehmen, Verbraucher dem elektrischen Versorgungsnetz **1** zuzuschalten, sobald das elektrische Versorgungsnetz eine entsprechende Stabilität aufweist. Dazu kann gehören, die exemplarisch dargestellten Schalter S6 und S7 zu geeigneten Zeitpunkten zu schließen und damit die entsprechenden Verbraucher, hier nämlich die industriellen Verbraucher **4** bzw. das Stadtnetz **6** zuzuschalten. Diese Verbindung von der Steuervorrichtung **10** zu den entsprechenden Schaltern S6 bzw. S7 ist der Übersichtlichkeit halber allerdings nicht dargestellt.

[0081] Das Diagramm in **Fig. 4** erläutert nun beispielhaft, wie ein solches Hochfahren des elektri-

schen Versorgungsnetzes mit Hilfe der beiden Windparks WP1 und WP2 erfolgen kann.

[0082] Das Diagramm zeigt die Spannung U im Versorgungsnetz **1** gemäß **Fig. 3**, z. B. an der Messstelle **8**, in Abhängigkeit der Zeit, und es zeigt den Leistungsfaktor $\cos\varphi$ der beiden Windparks WP1 und WP2 insgesamt.

[0083] Zum Zeitpunkt t_0 hat die Steuervorrichtung **10** festgestellt, dass das elektrische Versorgungsnetz nicht in Betrieb ist und festgestellt, dass ein Start des wenigstens einen Windparks, hier also der Windparks WP1 und WP2, sinnvoll ist. Zum Zeitpunkt t_0 wird somit von einem Signalgeber der Steuervorrichtung **10** ein Startsignal zum Starten der beiden Windparks in einem Schwarzstartmodus an diese beiden Windparks WP1 und WP2 gegeben. Diese beiden Windparks schalten nun in diesen Schwarzstartmodus, um darin zu starten und sich auf einen Schwarzstartbetrieb einzustellen. Dazu gehört beispielsweise, dass nicht sofort mit Nennspannung oder einem ähnlichen Spannungswert eingespeist wird.

[0084] Entsprechend wird die Spannung U langsam vom Zeitpunkt t_0 mit dem Wert 0 an auf Nennspannung U_N erhöht. Zum Zeitpunkt t_0 ist durch die Abkürzung SSM auch angedeutet, dass hier der Schwarzstartmodus verwendet wird.

[0085] Zum Zeitpunkt t_1 konnte dann die Nennspannung U_N erreicht werden, wobei auch etwa Netzfrequenz vorliegt.

[0086] Hierbei speisen die beiden Windparks WP1 und WP2 im Wesentlichen Blindleistung ein, zumal noch keine nennenswerten Verbraucher zugeschaltet sind. Entsprechend hat auch der $\cos\varphi$ einen geringen Wert nahe 0. Es wird also viel Blindleistung, aber wenig Wirkleistung eingespeist.

[0087] Zum Zeitpunkt t_2 wird dann festgestellt, dass die Spannung U auf der Nennspannung U_N gehalten werden konnte und nun ein erster stabiler Betrieb vorliegt. In diesem Fall wird nun beispielhaft der industrielle Verbraucher **4** zugeschaltet, insbesondere dadurch, dass der Schalter S6 gemäß **Fig. 3** geschlossen wird.

[0088] Die Spannung behält ihren Wert der Nennspannung U_N bei, wobei hier regelmäßig auch mit gewissen Schwankungen zu rechnen ist, die hier der Einfachheit halber aber nicht dargestellt sind.

[0089] Außerdem wird nun mehr Wirkleistung eingespeist, sodass sich der $\cos\varphi$ erhöht. Exemplarisch ist hier gleichwohl noch ein nicht sehr hohes $\cos\varphi$ eingezeichnet, um anzudeuten, dass nach wie vor noch ein erheblicher Anteil an Blindleistung eingespeist wird.

Dabei ist auch zu beachten, dass ein industrieller Verbraucher regelmäßig einige Blindleistung benötigt.

[0090] Arbeitet nun das Versorgungsnetz **1** auch mit zugeschaltetem industriellen Verbraucher **4** stabil, kann zum Zeitpunkt t_3 das Städtetz **6** zugeschaltet werden, indem der Schalter **S7** geschlossen wird. Diese Vorgänge erfolgen natürlich auch mit Koordination in Absprache der betroffenen Verbraucher, also mit dem industriellen Verbraucher **4** bzw. einem Betreiber des Städtetzes **6**, wie beispielsweise mit den betreffenden Stadtwerken.

[0091] Mit Zuschalten des Städtetzes **6** wird noch mehr Wirkleistung eingespeist und die Blindleistung kann langsam zurückgenommen werden.

[0092] Es kann dann zum Zeitpunkt t_4 angenommen werden, dass das Versorgungsnetz mit zugeschaltetem industriellem Verbraucher **4** und zugeschaltetem Städtetz **6** stabil arbeitet und dann könnte auch das Großkraftwerk **2**, bzw. weitere solcher Kraftwerke, zugeschaltet werden. Zum Zeitpunkt t_4 wird also vorgeschlagen, den Schalter **S1** zu schließen, allerdings erst nachdem das Großkraftwerk **2** entsprechend hochgefahren ist. Je nach den Umständen, insbesondere je nach Art des Großkraftwerks **2** und je nachdem, ob dieses heruntergefahren wurde, oder im Wesentlichen noch in einem Standbyähnlichen Modus sich befindet, kann der Zeitpunkt t_4 , bei dem das beispielhaft genannte Großkraftwerk **2** zugeschaltet wird, wesentlich später liegen, als in **Fig. 4** angedeutet. Insbesondere könnten die Abstände zwischen t_1 und t_2 bzw. t_2 und t_3 einerseits deutlich geringer als der Abstand zwischen t_3 und t_4 sein.

[0093] Jedenfalls kann der Betrieb von t_0 , wenn die Windparks im Schwarzstartmodus starten, bis zum Zeitpunkt t_4 , wenn schließlich das Großkraftwerk **2** zugeschaltet wird, als Schwarzstartbetrieb angesehen werden. Mit dieser letzten Zuschaltung des Großkraftwerks **2** sind letztlich alle in **Fig. 3** veranschaulichten Schalter, besonders die Schalter **S1**, **S6** und **S7**, geschlossen und das elektrische Versorgungsnetz **1** befindet sich dann im Wesentlichen in einem normalen Zustand und der Schwarzstartbetrieb kann dann beendet werden oder zumindest als beendet betrachtet werden. Das kann bedeuten, dass sich die Steuervorrichtung **10** aus der Führung der beiden Windparks im Schwarzstartbetrieb zurückzieht und die Windparks dann im Grunde ganz normal in das elektrische Versorgungsnetz **1** einspeisen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- WO 2005/031941 A1 [0004]
- DE 10044096 A1 [0006]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Einspeisen elektrischer Leistung in ein elektrisches Versorgungsnetz (1) mittels wenigstens eines jeweils über einen Netzanschlusspunkt (12) an das Versorgungsnetz angeschlossenen Windparks (WP1), wobei

- das Versorgungsnetz (1) mit einer Netzfrequenz zu betreiben ist und
- jeder Windpark (WP1) mehrere Windenergieanlagen (100) aufweist, umfassend die Schritte
- Feststellen, ob das elektrische Versorgungsnetz (1) in Betrieb ist,
- Starten des wenigstens einen Windparks (WP1) in einem Schwarzstartmodus zum Erzeugen elektrischer Leistung zum Einspeisen in das Versorgungsnetz (1), wenn das Versorgungsnetz (1) nicht in Betrieb ist,
- Betreiben des wenigstens einen Windparks (WP1) in einem Schwarzstartbetrieb, in dem elektrische Leistung in das Versorgungsnetz (1) eingespeist wird und dadurch das Versorgungsnetz (1) betrieben wird, wobei
- in dem Schwarzstartmodus und/oder in dem Schwarzstartbetrieb die Netzfrequenz durch das Einspeisen der elektrischen Leistung vorgegeben wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- im Schwarzstartmodus der Windpark (WP1) über den jeweiligen Netzanschlusspunkt (12) mit dem Versorgungsnetz (1) verbunden wird, wobei
- das Versorgungsnetz (1) vor dem Verbinden nicht in Betrieb ist, insbesondere keine Netzfrequenz aufweist und
 - das Versorgungsnetz (1) nach dem Verbinden die Netzfrequenz durch das Einspeisen durch den wenigstens einen Windpark (WP1) aufweist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Schwarzstartbetrieb ein Frequenzgenerator ein Frequenzsignal und optional ein Phasensignal erzeugt und dem wenigstens einen Windpark (WP1) als Leitsignal zur Verfügung stellt und der wenigstens eine Windpark (WP1) Frequenz und ggf. Phase basierend auf diesem Leitsignal einstellt.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine der Windenergieanlagen (100) für die Vorgabe der Frequenz und optional für die Vorgabe der Phase als Master-Anlage arbeitet und sich die übrigen Windenergieanlagen daran anpassen, sich insbesondere damit synchronisieren und/oder dass bei Verwendung mehrerer Windparks (WP1) ein Windpark (WP1) für die Vorgabe der Frequenz und optional für die Vorgabe der Phase als Masterpark arbeitet und sich die übrigen Windparks (WP1) daran anpassen, sich insbesondere damit synchronisieren.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zum Starten des wenigstens einen Windparks (WP1) elektrische Energie aus einem Energiespeicher verwendet wird und dass optional zum Einspeisen wenigstens eines Teils der elektrischen Leistung Energie aus dem Energiespeicher verwendet wird.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor dem Starten des wenigstens einen Windparks (WP1) an wenigstens einem der jeweiligen Netzanschlusspunkte (12) eine Netzimpedanz erfasst wird, um eine Betriebsfähigkeit des Versorgungsnetzes (1) zu überprüfen und/oder um das Starten im Schwarzstartmodus daran anzupassen und/oder ggf. den Windpark (WP1) nicht zu starten, wenn sich aus der erfassten Netzimpedanz ergibt, dass eine Betriebsfähigkeit des Versorgungsnetzes (1) nicht gegeben ist.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass beim oder unmittelbar nach dem Starten des wenigstens einen Windparks (WP1) im Schwarzstartmodus wenigstens ein mit dem Versorgungsnetz (1) verbundener Verbraucher zugeschaltet wird, um für die in das Versorgungsnetz (1) eingespeiste Leistung als Last zu dienen, so dass in dem Versorgungsnetz (1) ein elektrischer Strom zu diesem wenigstens einen Verbraucher fließen kann.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Starten im Schwarzstartmodus ausgelöst wird durch ein externes Signal eines Betreibers des Versorgungsnetzes (1) oder einer Zentralsteuereinheit (10).

9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor dem Starten im Schwarzstartmodus ein mit dem Netzanschlusspunkt (12) verbundenes Teilnetz (N1) des Versorgungsnetzes abgetrennt wird, um unabhängig von dem verbleibenden Teil des Versorgungsnetzes (1) gestartet und betrieben zu werden und dass optional in einem weiteren Schritt das abgetrennte und im Schwarzstartbetrieb betriebene Teilnetz (N1) mit dem verbliebenen Teil des Versorgungsnetzes (1), oder einem Teil davon, synchronisiert und dann wieder verbunden wird.

10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Versorgungsnetz (1) wenigstens einen Verbraucher und eine konventionelle Erzeugungseinheit (2) aufweist, wobei die konventionelle Erzeugungseinheit (2) eine Nennleistung von mehr als 200 MW aufweist und/oder wenigstens einen direkt mit dem Versorgungsnetz (1) gekoppelten Synchrongenerator aufweist, wobei die konventionelle Erzeugungseinheit (2) vom

Versorgungsnetz (1) getrennt ist, wenn das Versorgungsnetz (1) nicht in Betrieb ist.

11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens zwei Windparks (WP1, WP2) vorgesehen sind und diese wenigstens zwei Windparks (WP1, WP2) synchron gestartet werden, insbesondere synchron hochfahren werden, wobei sie wenigstens in ihrer Frequenz und Phasenlage auf einander abgestimmt sind, wobei vorzugsweise einer der Windparks (WP1) als Masterpark arbeitet und sich der andere Park (WP2) bzw. die anderen Parks (WP2) nach dem Masterpark (WP1) richten.

12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- mehrere Windparks (WP1, WP2) verwendet werden,
- die Windparks (WP1, WP2) untereinander Daten austauschen um sich für einen gemeinsamen Start im Schwarzstartmodus vorzubereiten, wobei
- die Windparks (WP1, WP2) wenigstens Daten über ihre verfügbare Leistung und/oder über im Versorgungsnetz (1) benötigte Leistung austauschen und
- davon abhängig den Start im Schwarzstartmodus mit anschließendem Betrieb im Schwarzstartbetrieb steuern und/oder daraus ableiten, ob ein Start im Schwarzstartmodus mit anschließendem Betrieb im Schwarzstartbetrieb möglich ist.

13. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass für eine Bestimmung verfügbarer Leistung der betreffende Park (WP1)

- den vorherrschenden Wind,
- zu erwartenden Wind und/oder
- Eigenschaften und Größe im Park (WP1) vorhandener Speichereinrichtungen berücksichtigt.

14. Steuervorrichtung (10) zum Steuern des Einspeisens elektrischer Leistung in ein elektrisches Versorgungsnetz (1) mittels wenigstens eines jeweils über einen Netzanschlusspunkt (12) an das Versorgungsnetz (1) angeschlossenen Windparks (WP1), wobei

- das Versorgungsnetz (1) mit einer Netzfrequenz zu betreiben ist und
- jeder Windpark (WP1) mehrere Windenergieanlagen (100) aufweist, und die Steuervorrichtung (10) umfasst
- ein Erfassungsmittel zum Feststellen, ob das elektrische Versorgungsnetz in Betrieb ist,
- einen Signalgeber zum Erzeugen und Übertragen eines Startsignals zum Starten des wenigstens einen Windparks (WP1) in einem Schwarzstartmodus zum Erzeugen elektrischer Leistung zum Einspeisen in das Versorgungsnetz (1), wenn das Versorgungsnetz (1) nicht in Betrieb ist,

- Führungseinheit zum Führen des wenigstens einen Windparks (WP1) in einem Schwarzstartbetrieb, in dem elektrische Leistung in das Versorgungsnetz (1) eingespeist wird und dadurch das Versorgungsnetz (1) betrieben wird, wobei
- in dem Schwarzstartmodus und/oder in dem Schwarzstartbetrieb die Netzfrequenz durch das Einspeisen der elektrischen Leistung durch den wenigstens einen Windpark (WP1) vorgegeben wird.

15. Steuervorrichtung (10) nach Anspruch 14, dazu vorbereitet,

- ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13 durchzuführen, und/oder
- wenigstens einen Windpark (WP1) so zu führen, dass der gemäß einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13 elektrische Leistung in das elektrische Versorgungsnetz (1) einspeist.

16. Windpark (WP1) mit mehreren Windenergieanlagen (100), wobei der Windpark (WP1)

- dazu vorbereitet ist, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13 auszuführen bzw. in einem solchen Verfahren mitzuwirken,
- eine Steuervorrichtung (10) nach Anspruch 14 oder 15 aufweist und/oder
- dazu vorbereitet ist, mit einer Steuervorrichtung (10) nach Anspruch 14 oder 15 funktional gekoppelt zu werden, insbesondere um das Startsignal zu empfangen und/oder um durch die Führungseinheit in dem Schwarzstartbetrieb geführt zu werden.

17. Windenergieanlage (100), vorbereitet zum Betrieb in einem Windpark (WP1) nach Anspruch 16, und/oder umfassend einen Steuervorrichtung (10) nach Anspruch 14 oder 15.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

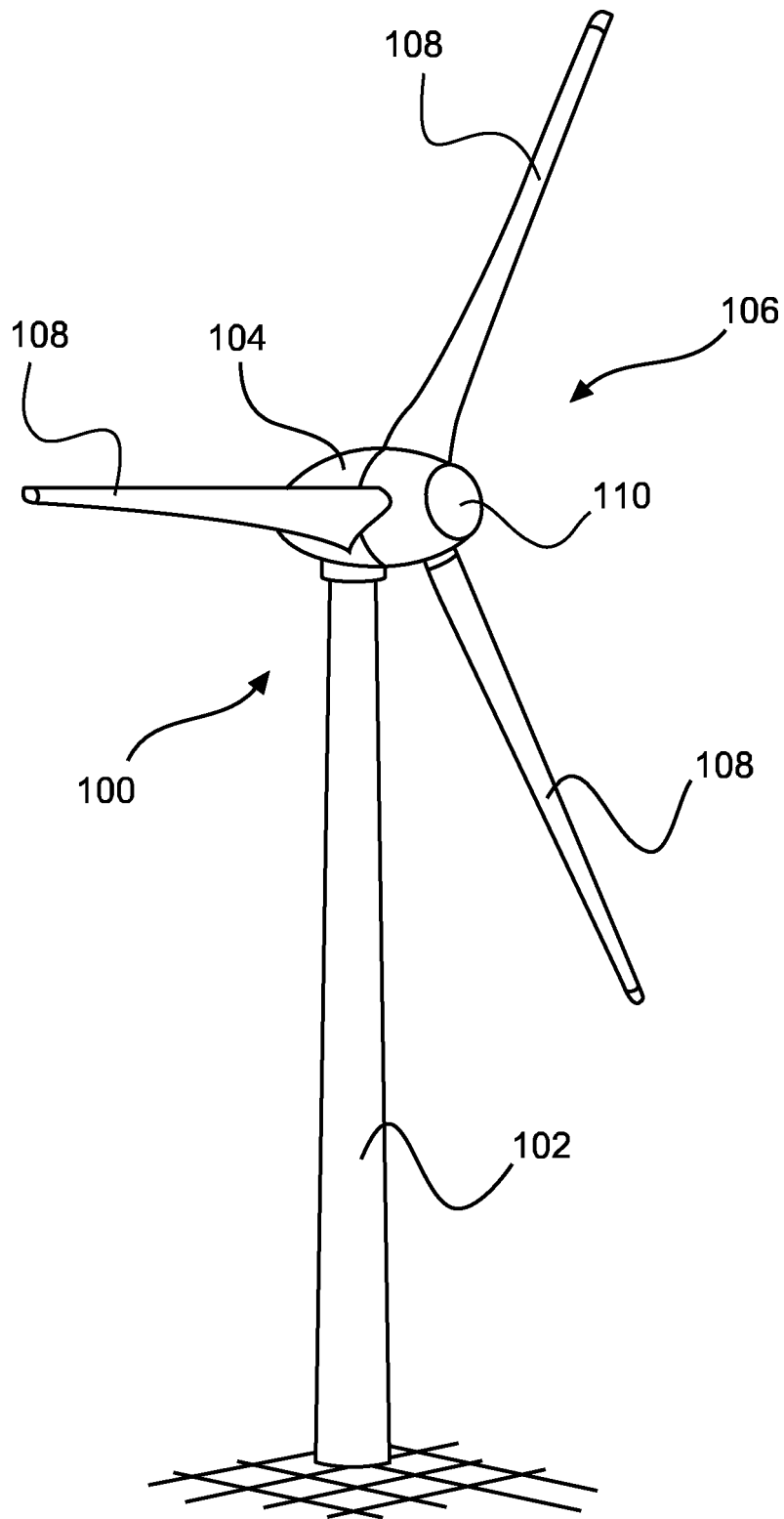


Fig. 1

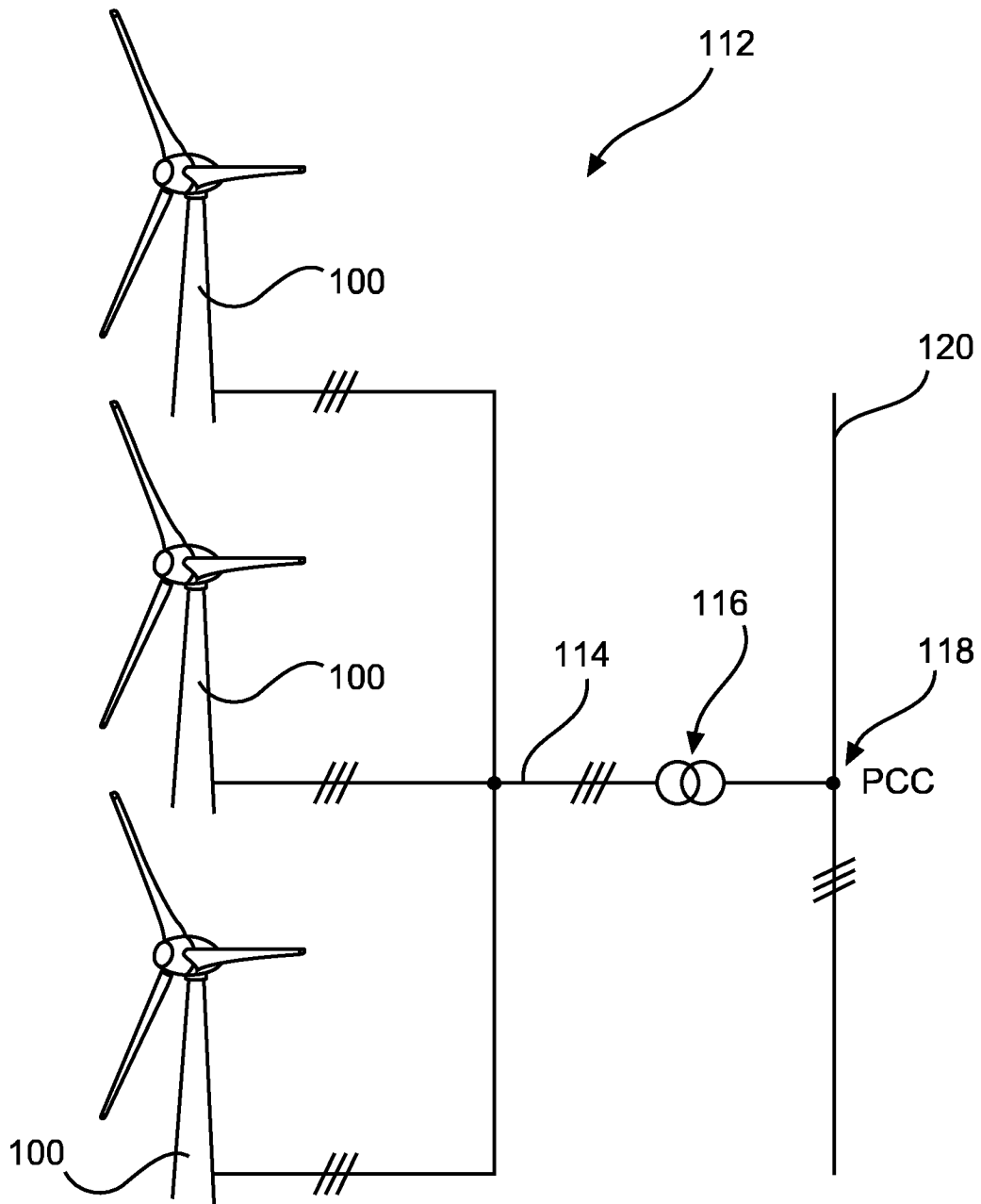


Fig. 2

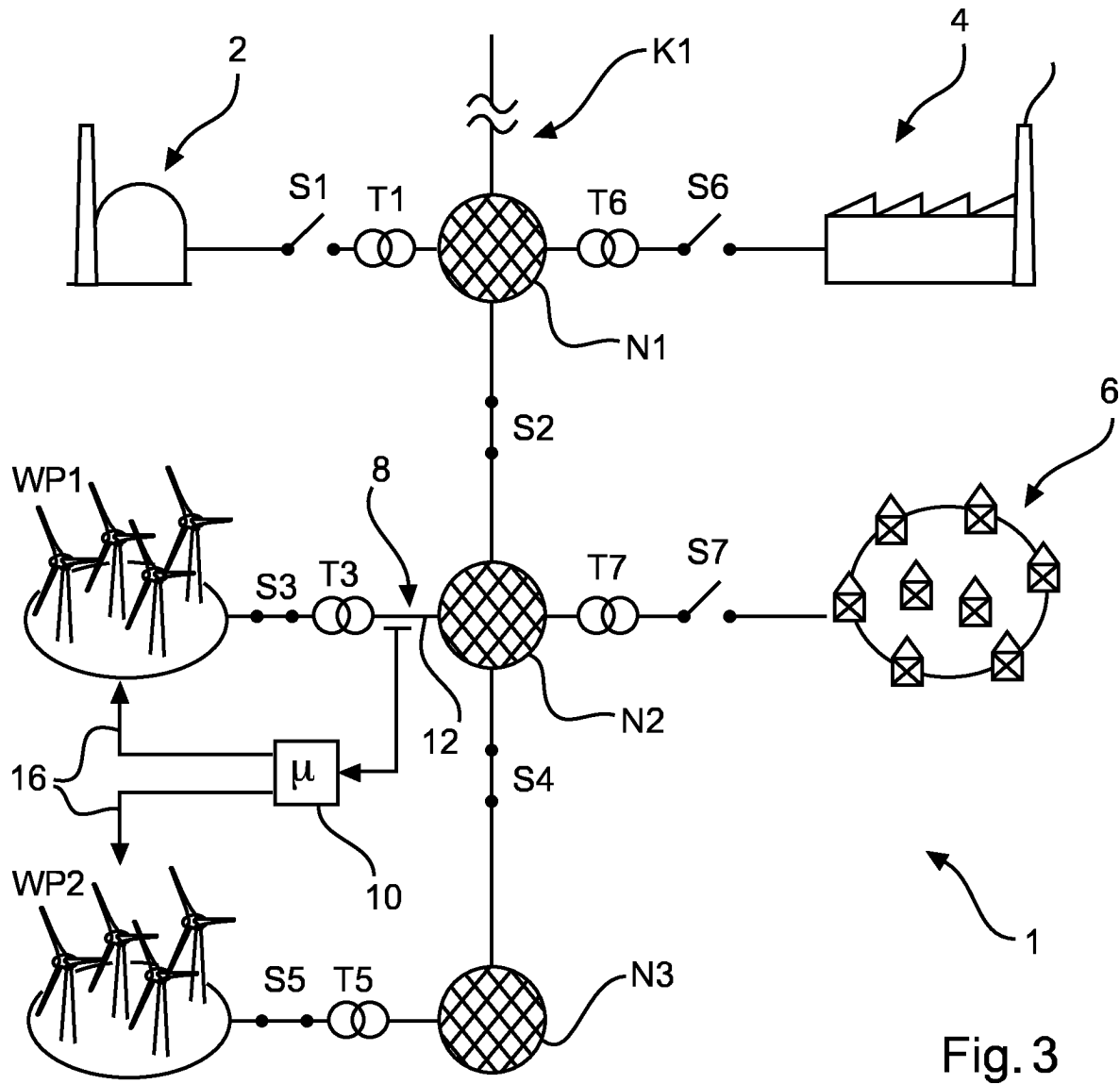


Fig. 3

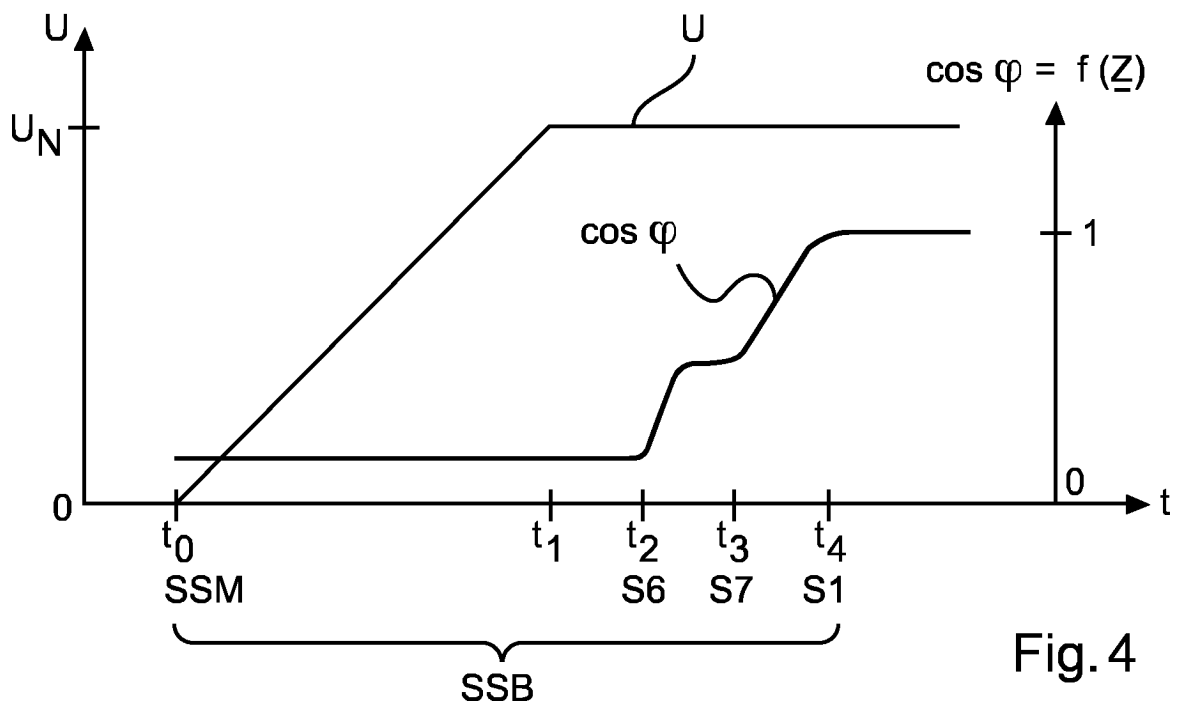


Fig. 4