



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 219 002.6**

(51) Int Cl.: **H02J 11/00 (2006.01)**

(22) Anmeldetag: **20.09.2013**

(43) Offenlegungstag: **26.03.2015**

(71) Anmelder:
Wobben Properties GmbH, 26605 Aurich, DE

(72) Erfinder:
Giertz, Helge, 26789 Leer, DE

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

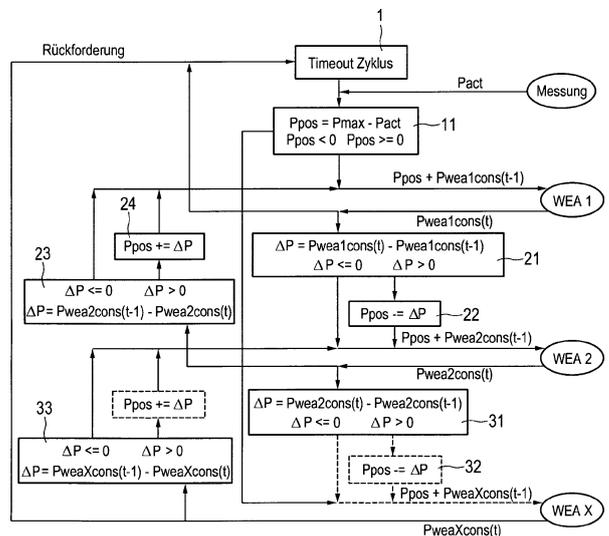
(56) Ermittelter Stand der Technik:
**DE 195 02 786 A1
EP 2 166 225 A1**

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Steuern eines Leistungsverbrauchs einer Gruppe mehrerer Windenergieanlagen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern eines Leistungsverbrauchs einer Gruppe mehrerer Windenergieanlagen (100), insbesondere eines Windparks. Die Windenergieanlagen (100) sind zum Einspeisen elektrischer Energie in ein elektrisches Versorgungsnetz (120) vorbereitet sind und in einem wiederkehrenden Zyklus den Windenergieanlagen (100) in einer vorgegebenen Reihenfolge sukzessive und abhängig von einer insgesamt den Windenergieanlagen (100) zum Verbrauch zur Verfügung stehenden Parkverbrauchsleistung jeweils eine Angebotsleistung zum Verbrauch angeboten wird und die jeweilige Windenergieanlage (100) diese oder eine geringere Angebotsleistung als Bezugsleistung reserviert, und nachfolgenden Windenergieanlagen (100) in dem Zyklus maximal die um die bereits reservierten Bezugsleistungen reduzierte Parkverbrauchsleistung als Angebotsleistung angeboten wird.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern eines Leistungsverbrauchs einer Gruppe mehrerer Windenergieanlagen, insbesondere eines Windparks. Weiterhin betrifft die vorliegende Erfindung eine Gruppe mehrerer Windenergieanlagen, insbesondere einen Windpark.

[0002] Windenergieanlagen und insbesondere Windparks sind nicht nur Energieproduzenten, sondern können auch zu großen Energiekonsumenten werden. Dieser Eigenschaftswechsel findet in der Regel bei allen Windenergieanlagen in einer Region zum selben Zeitpunkt statt, da die meisten großen Energieverbraucher in einer Windenergieanlage wetterbedingt zugeschaltet werden müssen. Dies betrifft insbesondere große thermische Verbraucher, die die Betriebsbereitschaft der Windenergieanlagen wiederherstellen oder erhalten sollen. Solche Verbraucher können bspw. eine Blattheizung oder eine Generatortrocknung sein, um nur zwei Beispiele zu nennen. Es kommen Weitere in Betracht.

[0003] Für den Netzbetreiber des elektrischen Versorgungsnetzes, an den diese Windenergieanlagen angeschlossen sind, stellt der beschriebene Umstand mitunter ein großes Problem innerhalb von Regionen dar. Diese erheblichen Lastflussänderungen sind nicht oder schwer kalkulierbar bzw. vorhersehbar und müssen somit durch teure Reserven gedeckt werden.

[0004] Diese so entstandenen Mehrkosten werden dann an den Betreiber der Windenergieanlagen, insbesondere des Windparks durchgereicht.

[0005] Üblicherweise sind Windenergieanlagen in ihrer Betriebsführung autark und steuern auch die Bezugsleistung, was auch als Management der Bezugsleistung bezeichnet werden kann. Unter Bezugsleistung ist hierbei die Leistung zu verstehen, die die Windenergieanlage für den geschilderten oder anderen Verbrauch bezieht, also konsumiert und nicht produziert. Hierbei gibt es große thermische Verbraucher, die zwingend notwendig betrieben werden müssen, um die Betriebsbereitschaft der Windenergieanlage wiederherzustellen oder sie aufrechtzuerhalten. Erschwerend kommt oftmals hinzu, dass die Windenergieanlage in der Regel in dieser Situation keine Energie produzieren kann oder nicht produzieren darf.

[0006] Werden bspw. die Windenergieanlagen eines Windparks mit einer Blattheizung zur Enteisung der Blätter betrieben, werden in der Regel alle Anlagen zum selben Zeitpunkt die Energieproduktion einstellen und den Betrieb der Enteisung starten. Dies liegt insbesondere daran begründet, dass eine solche Vereisung der Rotorblätter an demselben Stand-

ort praktisch zeitgleich auftreten wird. Hierdurch entsteht eine sehr große Bezugsleistung des Windparks, die somit eine maximal erlaubte bzw. verhandelte Bezugsleistung überschreitet und dadurch immense Mehrkosten verursacht. Eine solche maximal erlaubte bzw. verhandelte Bezugsleistung ist eine solche, die der Windpark ohne oder ohne besonders hohe Kosten aus dem elektrischen Versorgungsnetz beziehen kann, um z.B. den Windpark zu starten. Es ist zwar grundsätzlich möglich, mehr Leistung als diese verhandelte Bezugsleistung aus dem elektrischen Versorgungsnetz zu entnehmen, eine solche überschreitende Leistung muss aber zu einem sehr hohen Tarif vergütet werden.

[0007] Ein weiteres Problem ist, dass bei dem Verbrauch von Leistung evtl. Energie verschwendet wird. Wird bspw. für eine Region oder einen Windpark eine längere Flaute prognostiziert, braucht eine Enteisung der Blätter nicht zu erfolgen, bevor es Aussicht auf Wind gibt. Umgekehrt können bei der Vorhersage von Wind, ohne Rücksicht auf die Bezugsleistung, alle Anlagen auf einmal enteist werden. Hierbei entsteht möglicherweise ein hoher Preis für die bezogene Leistung, der sich aber ggf. dadurch rechtfertigt, dass ein Stillstand der Windenergieanlage bei dem erwarteten Wind vermieden wird. Die bezogene Leistung kann somit ggf. recht bald wieder erwirtschaftet werden.

[0008] Der vorliegenden Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, zumindest eines der o.g. Probleme zu adressieren. Insbesondere soll eine Lösung geschaffen werden, bei der Bezugsleistung möglichst effizient und zu möglichst geringen Kosten bezogen und eingesetzt wird. Zumindest soll eine zu bisher bekannten Verfahren alternative Lösung vorgeschlagen werden.

[0009] Erfindungsgemäß wird ein Verfahren gemäß Anspruch 1 vorgeschlagen. Dieses Verfahren geht aus von einer Gruppe mehrerer Windenergieanlagen, die bspw. alle an einen Netzverknüpfungspunkt oder Netzanschlusspunkt an das elektrische Versorgungsnetz angeschlossen sind. Diese Windenergieanlagen dieser Gruppe können Teil eines Windparks sein, oder die Gruppe, und damit ihre Windenergieanlagen, können den Windpark bilden, es kommen aber auch andere Konstellationen der Gruppe in Betracht. Ein häufiger Fall dürfte hierbei tatsächlich ein Windpark sein, der diese Gruppe bildet und insoweit wird auch nachfolgend häufig auf einen Windpark Bezug genommen. All solche Erläuterungen zu einem Windpark sind gleichwohl auch auf eine Gruppe von Windenergieanlagen anwendbar, die nicht unbedingt einen Windpark bilden, es sei denn dies ist in der Beschreibung ausdrücklich anders angegeben.

[0010] Den Windenergieanlagen dieser Gruppe wird somit nach und nach in einem Zyklus eine Angebots-

leistung zum Verbrauch angeboten. Hierbei werden die Windenergieanlagen zunächst in einer vorgegeben Reihenfolge geordnet. In dieser Reihenfolge werden diese Windenergieanlagen, wie nachfolgend beschrieben wird, im Grunde nacheinander abgearbeitet. Diese vorgegebene Reihenfolge kann bspw. auch abhängig von Randbedingungen, insbesondere Umweltbedingungen wie der Richtung abhängen. Bspw. kann die erste Windenergieanlage in dieser vorgegebenen Reihenfolge diejenige sein, die bezogen auf den aktuellen Wind auch vorne steht. Sie ist dann im Grunde hierbei die wichtigste Windenergieanlage und erhält auch in ihrer Behandlung die oberste Priorität, wie nachfolgend noch erläutert wird.

[0011] Diese Reihenfolge kann aber auch geändert werden, insbesondere wenn sich in dem o.g. Beispiel die Windrichtung ändert. Es kommen aber auch andere Kriterien in Betracht, wie bspw. die Windenergieanlagengröße, sofern diese innerhalb der Gruppe überhaupt unterschiedlich ist. Muss eine Windenergieanlage bspw. aus Gründen der Schallreduzierung oder aus anderen Gründen gegenüber anderen Windenergieanlagen gedrosselt betrieben werden, kann diese in der vorgegebenen Reihenfolge weiter hinten oder ganz hinten angeordnet sein. Die Windenergieanlagen dieser betrachteten Gruppe werden somit in dem Zyklus in der vorgegeben Reihenfolge sukzessive abgearbeitet. Dabei wird den Windenergieanlagen, nämlich beginnend mit der ersten Windenergieanlage der Reihenfolge, jeweils eine Angebotsleistung zum Verbraucher angeboten. Die betreffende Windenergieanlage, also zunächst die erste Windenergieanlage, reserviert sich diese oder eine geringere Angebotsleistung als Bezugsleistung. Dabei kann dann zunächst der Einfachheit halber davon ausgegangen werden, dass die Windenergieanlage diese reservierte Bezugsleistung auch tatsächlich bezieht und verbraucht. Bspw. stellt das Anlagenmanagement der betreffenden Windenergieanlage fest, dass Beheizen der Rotorblätter zum Enteisen und das Beheizen des Generators zum Trocknen nötig ist. Dieses Management kennt die entsprechenden Leistungswerte für diese Heizvorrichtungen und reserviert von der angebotenen Angebotsleistung eben diese benötigte Leistung, also für die Blattheizung und die Generatorheizung, als reservierte Bezugsleistung. Die Windenergieanlage kann dann diese Leistung beziehen und entsprechend die Rotorblätter und die Generatoren beheizen.

[0012] Nachfolgenden Windenergieanlagen, also zunächst einmal der zweiten Windenergieanlage in der Reihenfolge, kann und wird dann die um diese bereits reservierte Bezugsleistung reduzierte Parkverbrauchsleistung angeboten.

[0013] Die Parkverbrauchsleistung setzt sich aus einer vorbestimmten, aus dem elektrischen Versorgungsnetz zum Entnehmen vereinbarten Entnahme-

leistung und einer innerhalb des Windparks oder der Gruppe der Windenergieanlagen durch Erzeugung und/oder aus Speichern verfügbaren Parkleistung zusammen. Im einfachsten Fall, wenn der Windpark oder die Gruppe der Windenergieanlagen keine Leistung erzeugt und auch keine Energie gespeichert hat, entspricht die Parkverbrauchsleistung der vereinbarten Entnahmeleistung. Die Entnahmeleistung ist insoweit insbesondere eine Leistung, die mit dem Betreiber des elektrischen Versorgungsnetzes vereinbart, aus dem elektrischen Versorgungsnetz entnommen werden darf, nämlich insgesamt von der Gruppe bzw. des Parks entnommen werden darf. Für diese Entnahmeleistung ist insbesondere nur eine geringe Vergütung gegenüber dem Netzbetreiber, also dem Betreiber des elektrischen Versorgungsnetzes vorgesehen.

[0014] Diese Parkverbrauchsleistung begrenzt somit im Grunde den maximalen Wert der Leistung, die einer Windenergieanlage angeboten werden kann. Dabei wird zunächst der ersten Windenergieanlage ausgehend von dieser Parkverbrauchsleistung eine Angebotsleistung angeboten. Maximal entspricht diese Angebotsleistung der Parkverbrauchsleistung. Häufig wird aber weniger angeboten, wie noch erläutert wird.

[0015] Die erste Windenergieanlage kann nun diese angebotene Angebotsleistung in der vollen angebotenen Höhe als Bezugsleistung reservieren, oder sie kann weniger Bezugsleistung reservieren, ggf. gar keine Bezugsleistung.

[0016] Der nächsten Windenergieanlage wird maximal eine Angebotsleistung in Höhe der Parkverbrauchsleistung abzüglich bereits von vorstehenden Windenergieanlagen reservierten Bezugsleistungen als Angebotsleistung angeboten. Bei der zweiten Windenergieanlage wird also die von der ersten Windenergieanlage reservierte Bezugsleistung abgezogen. Bei der dritten Windenergieanlage, soweit vorhanden, wird die reservierte Bezugsleistung der ersten Windenergieanlagen und die reservierte Bezugsleistung der zweiten Windenergieanlage von der potentiell verfügbaren Leistung abgezogen und so weiter.

[0017] Das Verfahren schlägt somit eine Priorisierung vor, die dafür sorgt, dass der Bedarf der ersten Windenergieanlage möglichst gedeckt wird. Die nachfolgenden Windenergieanlagen können dann möglicherweise nicht mehr genug Bezugsleistung beziehen, wenn die erste, oder weitere vorstehende Windenergieanlagen, nicht genügend Leistung übrig lassen. Insoweit beziehen sich vorstehende Windenergieanlagen auf die vorgegebene Reihenfolge, in der die Windenergieanlagen in dem Zyklus abgearbeitet werden.

[0018] Vorzugsweise wird jeweils im aktuellen Zyklus die der jeweiligen Windenergieanlage angebotene Angebotsleistung aus einer aktuellen, verfügbaren Bezugsleistung zuzüglich der von dieser Windenergieanlage im vorigen Zyklus reservierten Bezugsleistung berechnet. Es wird also in jedem Zyklus und dort in jedem Schritt, also bei der Abarbeitung jeder einzelnen Windenergieanlage, immer wieder neu eine verfügbare Bezugsleistung zugrundegelegt. Diese verfügbare Bezugsleistung kann in einem Zyklus von einer zur nächsten Windenergieanlage ggf. auch unverändert bleiben. Jedenfalls bildet diese verfügbare Bezugsleistung die Grundlage und ihre Berechnung wird nachfolgend noch erläutert.

[0019] Dem liegt auch die Überlegung zugrunde, dass der aktuellen Windenergieanlage zumindest die Leistung angeboten werden kann, die sie bereits im vorigen Zyklus reserviert hat. Ist darüber hinaus noch Leistung verfügbar, kann der aktuellen Windenergieanlage diese zusätzlich angeboten werden. Die Berechnung der verfügbaren Bezugsleistung wird vorzugsweise für die erste Windenergieanlage grundsätzlich anders vorgenommen, als für die weiteren Windenergieanlagen, wobei sich dies immer auf die vorgegebene Reihenfolge der Windenergieanlage bezieht.

[0020] Vorzugsweise wird die verfügbare Bezugsleistung für die erste Windenergieanlage aus der Parkverbrauchsleistung abzüglich einer aktuellen Parkbezugsleistung berechnet. Es wird also die oben erläuterte Parkverbrauchsleistung zugrundegelegt, nämlich die vereinbarte Entnahmeleistung und ggf. zuzüglich erzeugter oder aus Speichern verfügbarer Leistung. Von dieser Parkverbrauchsleistung wird die von der Gruppe bzw. des Windparks aktuell aus dem elektrischen Versorgungsnetz entnommene Parkbezugsleistung abgezogen.

[0021] Die aktuell entnommene Parkbezugsleistung kann gemessen werden. Alternativ kann statt der aktuell entnommenen (gemessenen) Parkbezugsleistung die Summe der reservierten Bezugsleistungen der Gruppe verwendet und entsprechend von der Parkverbrauchsleistung abgezogen werden. Diese Summe der reservierten Bezugsleistungen kann der entnommenen Parkbezugsleistung etwa entsprechen, insbesondere dann, wenn der Park keine Parkleistung erzeugt oder aus Speichern zur Verfügung stellen kann.

[0022] Das sind zwei Varianten, die verfügbare Bezugsleistung für die erste Windenergieanlage zu berechnen. Im einfachsten Fall liegt keine erzeugte oder aus Speichern erhältliche Leistung vor und die Parkverbrauchsleistung entspricht dann der vereinbarten, nämlich maximal vereinbarten, Entnahmeleistung. Diese Entnahmeleistung kann dann der verfügbaren Bezugsleistung entsprechen, wenn bisher

keinerlei Bezugsleistung aus dem Netz entnommen wird. Haben die Windenergieanlagen, zumindest eine von Ihnen, aber eine Bezugsleistung reserviert und entnehmen diese auch, reduziert sich die verfügbare Bezugsleistung um diesen Wert, nämlich um die Leistung, die von allen Windenergieanlagen der Gruppe zusammen entnommen werden. Entsprechend wird für die erste Windenergieanlage die verfügbare Bezugsleistung berechnet, nämlich aus der Parkverbrauchsleistung abzüglich der aktuell insgesamt aus dem Netz entnommenen Parkbezugsleistung der Gruppe oder des Parks.

[0023] Somit ist zunächst für die erste Windenergieanlage eine verfügbare Bezugsleistung bestimmt worden. Vorzugsweise wird diese nun für die Bestimmung der Bezugsleistung der nachfolgenden Windenergieanlagen, also zunächst für die zweite Windenergieanlage, zugrundegelegt. Dabei wird diese verfügbare Bezugsleistung für eine nachfolgende Windenergieanlage reduziert, wenn die aktuelle Windenergieanlage ihre reservierte Bezugsleistung gegenüber dem vorigen Zyklus erhöht hat. Für die Berechnung der zweiten Windenergieanlage wird also die verfügbare Bezugsleistung der ersten Windenergieanlage, für die zweite Windenergieanlage, reduziert, wenn die erste Windenergieanlage, ihre reservierte Bezugsleistung gegenüber dem vorigen Zyklus erhöht hat.

[0024] Dem liegt nämlich der Gedanke zugrunde, dass zu Beginn jedes Zyklus die verfügbare Bezugsleistung aus der Parkverbrauchsleistung abzüglich der aktuell bezogenen Parkbezugsleistung neu berechnet wird. Dies ist die für die erste Windenergieanlage verfügbare Bezugsleistung. Erhöht die erste Windenergieanlage nun ihre reservierte Bezugsleistung, und damit auch die von ihr tatsächlich entnommene Bezugsleistung, verringert sich die zunächst berechnete verfügbare Bezugsleistung um diesen Wert und der nachfolgenden Windenergieanlage, also zunächst der zweiten Windenergieanlage, steht entsprechend eine reduzierte verfügbare Bezugsleistung zur Verfügung.

[0025] Verringert sich aber die von der ersten Windenergieanlage reservierte Bezugsleistung, stände der nachfolgenden Windenergieanlage eine entsprechend größere verfügbare Bezugsleistung zur Verfügung. Es wird aber vorgeschlagen, in diesem Fall der nachfolgenden Windenergieanlage nicht eine erhöhte Bezugsleistung zur Verfügung zu stellen. Stattdessen wird vorgeschlagen, die verfügbare Bezugsleistung unverändert zu lassen, wenn die erste Windenergieanlage, bzw. eine andere vorstehende Windenergieanlage, weniger Bezugsleistung reserviert, als sie in dem vorigen Zyklus reserviert hat. Damit wird erreicht, dass hierdurch zusätzliche verfügbare Bezugsleistung, also wieder freigegebene Bezugsleistung, nicht an in der vorgegebenen Reihenfolge

weiter hinten stehenden Windenergieanlagen weitergegeben wird. In einem Zyklus wieder frei werdende Bezugsleistung soll also zunächst nicht an Windenergieanlagen geringerer Priorität gegeben werden.

[0026] Erst in einem neuen Zyklus kann eine solche freigegebene Leistung, oder solche freigegebenen Leistungen auch an weiter hinten stehende Windenergieanlagen weitergegeben werden. Wird nämlich Bezugsleistung innerhalb eines Zyklus frei, weil eine Windenergieanlage weniger Bezugsleistung reserviert, als im Zyklus zuvor, wird entsprechend weniger Bezugsleistung aus dem Netz bezogen und dies wirkt sich dann am Anfang des nächsten Zyklus aus, nämlich wenn die verfügbare Bezugsleistung für die erste Windenergieanlage neu berechnet wird. Hier wird dann bei der Berechnung der verfügbaren Bezugsleistung von der Parkverbrauchsleistung die aus dem Netz entnommene Parkbezugsleistung abgezogen, es wird also weniger Parkbezugsleistung abgezogen, als im Zyklus zuvor. Es erhöht sich dadurch die verfügbare Bezugsleistung im ersten Schritt des Zyklus, nämlich für die erste Windenergieanlage. Diese erste Windenergieanlage kann nun vor allen anderen entscheiden, ob sie entsprechend mehr Bezugsleistung reservieren möchte. Nur wenn diese erste Windenergieanlage das nicht reservieren möchte, oder nur einen Teil davon reservieren möchte, steht diese freigewordene Bezugsleistung anderen, weiter hinten stehenden Windenergieanlagen zur Verfügung. Es wird hierdurch also eine Priorisierung erreicht, die frei werdende Bezugsleistung zunächst der ersten Windenergieanlage anbietet und erst weiteren anbietet, wenn die erste Windenergieanlage diese nicht benötigt. Die Versorgung der ersten Windenergieanlage steht hierdurch an erster Stelle.

[0027] Vorzugsweise wird die vorgegebene Reihenfolge, in der der Zyklus eine Windenergieanlage nach der anderen bearbeitet, in Abhängigkeit einer oder mehrerer Randbedingungen bestimmt oder verändert. Die Reihenfolge ist insoweit flexibel einstellbar und änderbar, wobei eine einmal vorgegebene Reihenfolge nicht sofort wieder geändert werden sollte, sondern für viele Zyklen, insbesondere über mehrere Stunden beibehalten wird. Dies kann sich oftmals bereits aus einer länger gleichbleibenden Randbedingung ergeben. Eine Randbedingung kann die Windrichtung sein. In diesem Fall kann es sinnvoll sein, die zum Wind gewandte und insoweit vorderste Windenergieanlage mit der ersten Priorität zu versehen, diese also in der Reihenfolge an erster Stelle zu stellen. Soll bspw. die Gruppe von Windenergieanlagen, insbesondere der Windpark nach einer Flaute bei ansteigendem Wind wieder starten, während möglicherweise eine Vereisung vorliegt, würde somit vorgeschlagen werden, zunächst die vordere Windenergieanlage mit soviel Bezugsleistung zu versorgen wie sie benötigt, aber innerhalb der vorgegebenen Grenzen, und damit eine Enteisung zunächst

an erster Stelle für diese Windenergieanlage zu ermöglichen. Diese Windenergieanlage kann dann alsbald starten und dann Leistung erzeugen, die mitunter schnell weiter über der Leistung liegt, die aus dem Netz bezogen werden kann, die also weit über der vereinbarten zu entnehmenden Bezugsleistung liegt.

[0028] Benötigt diese Windenergieanlage Bezugsleistung zum Enteisen und zum Trocknen des Generators und ist das Trocknen vor dem Enteisen abgeschlossen, um nur ein vereinfachtes Beispiel zu nennen, kann die zum Trocknen benötigte Bezugsleistung bereits früher für andere Windenergieanlagen wieder freigegeben werden.

[0029] Es kommen aber auch andere Randbedingungen in Betracht, wie auch bspw. auf Erfahrungswerten beruhend, demnach eine Windenergieanlage leichter oder stärker vereist. Diese könnte dann in der Reihenfolge weiter hinten stehen, weil eine weniger vereisende Windenergieanlage, was von der lokalen Topographie abhängen kann, schneller enteist werden kann und dann für die weiteren Anlagen die benötigte Leistung zum Enteisen, um bei diesem Beispiel zu bleiben, liefern kann. Dieser Effekt kann auch von der Windrichtung und/oder Eigenschaften der Luft abhängen, insbesondere der Luftfeuchtigkeit.

[0030] Vorzugsweise wird vorgeschlagen, dass die aus dem elektrischen Versorgungsnetz zu entnehmende Entnahmeleistung auf einen Wert festgesetzt wird, der der Summe aller möglichen Verbrauchsleistungen der Windenergieanlage der Gruppe entspricht, die die größte Summe aller möglichen Verbrauchsleistungen aufweist.

[0031] Durch das Verfahren zum Steuern des Leistungsverbrauchs einer Gruppe mehrerer Windenergieanlagen wird eine solche Priorisierung vorgesehen, dass zumindest eine Windenergieanlage mit ausreichend Bezugsleistung versehen wird. Dabei kann mit dem Verfahren erreicht werden, dass die ausreichende Versorgung der prioritätsersten Windenergieanlage mit Bezugsleistung auch bei nur vergleichsweise wenig verfügbarer Bezugsleistung erreicht werden kann. Es kann hierfür ausreichen, soviel Bezugsleistung bereitzustellen, wie lediglich eine Windenergieanlage benötigt. Sofern die Windenergieanlagen unterschiedlich sind, sollte sich dies an der Windenergieanlage orientieren, die die meiste Bezugsleistung benötigt, also die meiste Leistung verbraucht, wenn alle entsprechenden Verbraucher zugleich benötigt werden. Wobei hier sinnvollerweise nur die Summe der Verbraucher zugrundegelegt wird, die vernünftigerweise oder technisch sinnvollerweise auch zugleich betrieben werden können.

[0032] Dadurch ist entsprechend erreichbar, dass eine möglichst geringe Entnahmeleistung zwischen der

Gruppe der Windenergieanlagen, insbesondere einem Windpark und einem Netzbetreiber vereinbart wird. Dies kann für den Parkbetreiber bedeuten, dass er günstige Bedingungen aushandeln kann und dies kann für den Netzbetreiber bedeuten, dass er nur wenig Bezugsleistung bereitstellen muss, also nur mit wenig Bezugsleistung kalkulieren muss. Das wiederum kann die Netzstabilität verbessern und/oder den Netzbetreiber von dem aufwändigen Bereitstellen solcher Leistung mitunter zumindest teilweise zu befreien.

[0033] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass die reservierte Bezugsleistung wenigstens einer der Windenergieanlagen reduziert wird, wenn die Summe der reservierten Leistungen des vorigen Zyklus größer ist als die Parkverbrauchsleistung.

[0034] Eine solche Situation kann insbesondere auch dann auftreten, wenn den Windenergieanlagen viel Angebotsleistung angeboten werden konnte, weil innerhalb des Parks auch noch eine Leistungserzeugung vorhanden war und diese Leistung verwendet werden konnte. Fällt nun diese Leistungserzeugung weg oder reduziert sie sich, kann es zu dem beschriebenen Fall kommen und in diesem Fall wird im Grunde in der Reihenfolge von hinten beginnend den Windenergieanlagen Leistung wieder weggenommen, bis die erste Windenergieanlage genug Leistung hat.

[0035] Eine solche Situation kann auch dann auftreten, wenn sich die zu entnehmende Entnahmelistung, die nämlich insbesondere mit dem Netzbetreiber vereinbart wurde, reduziert, Dies kann beispielsweise durch eine entsprechende vorherige, zeitliche Vereinbarung bedingt sein.

[0036] Vorzugsweise wird eine Reduzierung bereits reservierter Bezugsleistung dadurch vorgenommen, dass der Zyklus zum Anbieten der Angebotsleistung nun in entgegengesetzter Reihenfolge durchlaufen wird. Es wird also der in der Reihenfolge ganz hinten stehenden Windenergieanlage zuerst Leistung weggenommen und wenn dies nicht ausreicht der vorletzten usw. Hierdurch kann sukzessive verfügbare Bezugsleistung für die erste Windenergieanlage beschafft werden. Die Priorisierung der ersten Windenergieanlage wird bei der Bezugsleistungsvergabe somit beibehalten.

[0037] Vorzugsweise wird die jeweils reservierte Bezugsleistung von der betreffenden Windenergieanlage zum Beheizen ihrer Rotorblätter eingesetzt. Außerdem oder alternativ wird sie zum Beheizen ihres Generators eingesetzt. Das Beheizen des Generators erfolgt um Kondenswasser zu entfernen, also den Generator im Grunde zu trocken bzw. sicherzustellen, dass er trocken ist. Außerdem oder alternativ

kann die reservierte Bezugsleistung bzw. ein Teil davon zum Starten der Windenergieanlage verwendet werden. Dies betrifft insbesondere das Ansteuern eines oder mehrerer Azimutmotoren, um die Windenergieanlage in den Wind zu stellen. Außerdem oder alternativ betrifft es das Ansteuern von sog. Pitchmotoren, die die Rotorblätter in den entsprechenden Winkel zum Wind drehen, was auch als Pitchen bezeichnet wird. In vergleichsweise geringem Maße kann das Bereitstellen von Leistung zum Starten der Windenergieanlage auch das Versorgen von Steuereinrichtungen einschließlich Steuercomputern betreffen. Ggf. kann Leistung auch zum Enteisen eines Gondelanemometers verwendet werden.

[0038] Vorzugsweise wird der Zyklus in einem Zeitbereich von einer halben Minute bis zu fünf Minuten, vorzugsweise in einem Zeitbereich von einer bis drei Minuten und insbesondere etwa jede Minute wiederholt. Diese Festlegung der Zykluswiederholung im Bereich von einer halben Minute bis fünf Minuten lässt dem Zyklus genügend Zeit, sämtliche in der Zeit zu abzufragenden Windenergieanlagen abzufragen und ihnen entsprechende Angebotsleistung anzubieten. In dieser Zeit braucht zunächst nur die entsprechende Leistung von einem Zentralrechner angeboten bzw. von der jeweiligen Steuerung der einzelnen Windenergieanlage reserviert zu werden. Insoweit ist es ein informationstechnischer Prozess, bei dem die Leistung noch nicht tatsächlich abgefragt und verwendet werden muss. Tatsächlich können die Windenergieanlagen aber unmittelbar beginnen, die reservierte Leistung auch zu beziehen.

[0039] Die genannten Minutenbereiche liegen auch in der Größenordnung, in der häufig ein Enteisen eines Rotorblattes und/oder ein Trocknen eines Generators und/oder ein Enteisen eines Anemometers durchgeführt werden kann.

[0040] Außerdem oder alternativ wird gemäß einer Ausführungsform vorgeschlagen, dass der Zyklus manuell unterbrochen werden kann und im Falle einer solchen manuellen Unterbrechung eine Vergabe der Bezugsleistung für jede Windenergieanlage manuell erfolgen kann. Dies kann bspw. dann der Fall sein, wenn Servicepersonal vor Ort ist oder dies kann auch über eine Fernwartung vorgenommen werden.

[0041] Nach Ende einer solchen manuellen Unterbrechung kann der Zyklus bei der ersten Windenergieanlage starten. Das Berechnen der angebotenen Angebotsleistung erfolgt zumindest gemäß einigen Ausführungsformen, wie oben beschrieben wurde, für die erste Windenergieanlage ohne Verwertung von angebotenen oder reservierten Werten des vorigen Zyklus, sondern basierend auf der tatsächlich aus dem elektrischen Versorgungsnetz bezogenen Bezugsleistung. Insoweit ist nach dem Unterbrechen eines Zyklus der Neustart eines Zyklus ohne weiteres

möglich und vorherige Werte brauchen nicht berücksichtigt und/oder zwischengespeichert zu werden.

[0042] Gemäß einer Ausführungsform wird zudem vorgeschlagen, dass wenigstens einer der nachfolgend genannten Werte konstant gehalten wird, sollte es eine Kommunikationsstörung zwischen den Windenergieanlagen der Gruppe oder des Windparks geben. Dies kann das Beibehalten der reservierten Bezugsleistungen der Windenergieanlagen der Gruppe betreffen. Dies kann außerdem oder alternativ auch die Parkverbrauchsleistung und/oder die aktuelle Parkbezugsleistung betreffen. Vorzugsweise erfolgt dies für eine vorbestimmte Übergangszeit. Wird diese Übergangszeit überschritten, kann es sinnvoll sein andere Maßnahmen einzuleiten, einschließlich der manuellen Übernahme des Vorgangs.

[0043] Erfindungsgemäß wird zudem eine Gruppe mehrerer Windenergieanlagen, insbesondere ein Windpark vorgeschlagen, die dazu vorbereitet ist, ein Verfahren gemäß wenigstens einer der vorbeschriebenen Ausführungsformen durchzuführen.

[0044] Vorzugsweise weist diese Gruppe zum Ausführen des Verfahrens eine zentrale Steuereinheit, insbesondere eine Parksteuereinheit auf. Hierzu kann auch eine vorhandene Parksteuereinheit verwendet und entsprechend angepasst werden. Insbesondere sollte die Parksteuereinheit die vereinbarte Bezugsleistung der Höhe nach kennen, und sie sollte messtechnischen Zugriff auf die jeweils aktuell bezogene Leistung aus dem Netz haben bzw. auf solche Messwerte. Außerdem sollte die zentrale Steuereinheit über eine Kommunikation mit den Windenergieanlagen verfügen.

[0045] Die Erfindung wird nun nachfolgend exemplarisch und unter Bezugnahme auf die begleitenden Figuren näher erläutert.

[0046] Fig. 1 zeigt schematisch eine Windenergieanlage.

[0047] Fig. 2 zeigt schematisch einen Windpark.

[0048] Fig. 3 zeigt ein Ablaufdiagramm zum Verteilen von Bezugsleistung.

[0049] Fig. 4a bis Fig. 4f zeigen einen exemplarischen Verlauf der Aufteilung von Bezugsleistung für den Fall einer festen Entnahmeleistung.

[0050] Fig. 5a bis Fig. 5f zeigen einen exemplarischen Verlauf der Aufteilung von Bezugsleistung für den Fall einer variablen Entnahmeleistung.

[0051] 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.

[0052] 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.

[0053] Fig. 3 zeigt einen Ablauf für die Verteilung von Bezugsleistung. Dabei ist in einem rechten bzw. mittleren Bereich der Ablauf gezeigt, in dem Angebotsleistung angeboten und entsprechend Bezugsleistung reserviert wird. In einem linken Teil, der mit "Rückforderung" gekennzeichnet ist, ist ein Ablauf gezeigt, der reservierte Bezugsleistung von Windenergieanlagen wieder zurückfordert. In dem Schema werden die folgenden Variablen verwendet:

- Ppos: Mögliche zur Verfügung stehende Bezugsleistung. Dies bezeichnet die Bezugsleistung, die in dem betreffenden Schritt im Ablauf und damit im Zyklus der jeweiligen Anlage zuzüglich ihrer bereits zuvor reservierten Leistung angeboten werden kann.

- Pmax: Maximale Bezugsleistung, nämlich die maximale Leistung, die absprachegemäß für alle betroffenen Windenergieanlagen zusammen aus dem elektrischen Versorgungsnetz entnommen werden dürfen. Sie wurde auch als aus dem elektrischen Versorgungsnetz zum Entnehmen vereinbarte Entnahmeleistung beschrieben. Diese Maximale Bezugsleistung ist in dem gezeigten Beispiel in Fig. 3 identisch mit der Parkverbrauchsleistung, weil in dieser Darstellung Leistungen die die Windenergieanlagen erzeugen bzw. aus den Speichern entnehmen könnten, nicht berücksichtigt werden, also den Wert 0 haben.

- Pact: Aktuelle Leistung Netzanschlusspunkt (NAP). Das ist diejenige Leistung, die am Netzanschlusspunkt, und damit für alle betroffenen Wind-

energieanlagen zusammen, dem elektrischen Versorgungsnetz entnommen wird. Sie stellt insoweit auch einen Istwert bzw. einen Messwert dar. Optional bzw. vereinfachend wird Pact als Summe der im vorigen Zyklus von allen Windenergieanlagen reservierten Bezugsleistungen gebildet.

– $P_{weaXcons}(t)$: Bezugsleistung der Anlage X, also der jeweils betrachteten Anlage aus dem aktuellen Zyklus.

– $P_{weaXcons}(t - 1)$: Bezugsleistung der Anlage X, also der jeweils betrachteten Anlage aus dem vorigen Zyklus. Diese beiden Werte $P_{weaXcons}(t)$ und $P_{weaXcons}(t - 1)$ bezeichnen somit die Bezugsleistung, die die betreffende Anlage tatsächlich reserviert hat und insbesondere auch tatsächlich verbraucht. Dabei ist "X" ein Platzhalter für eine Zahl, die die Nummer der betreffenden Windenergieanlage in dem Zyklus bzw. der vorbestimmten Reihenfolge angibt.

– ΔP : Differenz der (reservierten) Bezugsleistung einer Windenergieanlage zwischen zwei Zyklen.

[0054] Ein Zyklus startet im Block 1 "Timeout Zyklus". Im Anschluss daran wird zunächst die aktuelle Leistung Pact am Netzanschlusspunkt gemessen. Im Block 11 wird die mögliche zur Verfügung stehende Bezugsleistung berechnet, nämlich aus der wie vereinbart maximal zu beziehenden Bezugsleistung P_{max} abzüglich der tatsächlich aktuell entnommenen Leistung Pact. Ergibt sich hierbei ein Wert für P_{pos} , der größer oder gleich 0 ist, wird der Windenergieanlage als Angebotsleistung die Leistung P_{pos} zuzüglich der reservierten Bezugsleistung dieser Windenergieanlage aus dem vorigen Zyklus angeboten, es wird als $P_{pos} + P_{wea1cons}(t - 1)$ angeboten.

[0055] Ist allerdings die zur Verfügung stehende Bezugsleistung P_{pos} kleiner als 0, wird in dem Ablauf nach unten abgezweigt und der später beschriebene Ablauf der Rückforderung kann gestartet werden.

[0056] Ist die zur Verfügung stehende Bezugsleistung P_{pos} aber positiv oder zumindest 0, wird der ersten Windenergieanlage diese zusammen mit der im letzten Zyklus reservierten Bezugsleistung angeboten und die Windenergieanlage 1, die als WEA 1 bezeichnet wird, reserviert in dem Rahmen eine reservierte Bezugsleistung, nämlich $P_{wea1cons}(t)$. Dieser Wert wird auch für die Berechnung einer Angebotsleistung für die zweite Windenergieanlage WEA 2 benutzt.

[0057] Im Block 21 wird nun zunächst überprüft, ob sich die Bezugsleistung der ersten Windenergieanlage verringert hat oder nicht. Hierzu wird die Differenz der Bezugsleistung ΔP entsprechend berechnet:

$$\Delta P = P_{wea1cons}(t) - P_{wea1cons}(t - 1).$$

[0058] Ist ΔP größer als 0, hat die vorige, nämlich im Block 21 erste Windenergieanlage ihre reservierte Bezugsleistung also erhöht, wird die zur Verfügung stehende Bezugsleistung P_{pos} reduziert, nämlich um diesen Wert ΔP :

$$P_{pos} = P_{pos} - \Delta P.$$

[0059] Dies zeigt Block 22.

[0060] Nun wird der zweiten Windenergieanlage die Angebotsleistung in Höhe der zur Verfügung stehenden Bezugsleistung P_{pos} zuzüglich der von der zweiten Windenergieanlage im letzten Zyklus reservierten Bezugsleistung $P_{wea2cons}(t - 1)$ angeboten. Die zweite Windenergieanlage WEA 2 kann nun eine Bezugsleistung in dieser Höhe reservieren, oder sie kann eine geringe Bezugsleistung reservieren, nämlich die aktuell reservierte Bezugsleistung $P_{wea2cons}(t)$ der zweiten Windenergieanlage WEA2.

[0061] Basierend auf den Werten für die reservierte Bezugsleistung der zweiten Windenergieanlage des vorigen Zyklus und des jetzigen Zyklus wird im Block 31 geprüft, ob sich die reservierte Bezugsleistung der zweiten Windenergieanlage WEA 2 erhöht oder verringert hat. Ggf. wird ein neuer, nämlich geringerer Wert für die zur Verfügung stehende Bezugsleistung P_{pos} im Block 32 analog zur Berechnung in Block 22 bestimmt. Hierauf basierend wird dann für die nächste Windenergieanlage, die hier repräsentativ für jegliche weitere Windenergieanlagen als X-te Windenergieanlage WEA X bezeichnet wird, ein P_{pos} berechnet und darauf basierend eine Angebotsleistung angeboten.

[0062] Beim Durchlaufen des Zyklus wird nach und nach jeder Windenergieanlage 1 bis X eine Angebotsleistung angeboten und davon wird ggf. eine Bezugsleistung reserviert.

[0063] Jeder Windenergieanlage 1 bis X ist somit in diesem Zyklus eine Angebotsleistung angeboten worden und entsprechend in dem Rahmen von der betreffenden Windenergieanlage eine Bezugsleistung reserviert worden. Dabei wurde so vorgegangen, dass die erste Windenergieanlage priorisiert ist und danach folgende Windenergieanlagen ebenfalls gemäß ihre Position in der Reihenfolge priorisiert sind.

[0064] Stellt sich aber heraus, dass mehr Leistung bezogen als reserviert wird, ergibt sich im Block 11 für die mögliche zur Verfügung stehende Bezugsleistung P_{pos} ein negativer Wert. Entsprechend wird von dem Block 11 aus direkt ganz nach unten verzweigt und der letzten Windenergieanlage dieser negative Wert der zur Verfügung stehenden Bezugsleistung zuzüglich der Bezugsleistung angeboten, die diese

X-te Windenergieanlage im letzten Zyklus reserviert hatte. Es wird also $P_{pos} + P_{weaXcons}(t - 1)$ der X-ten Windenergieanlage angeboten. Dieser Wert ist somit kleiner als der im letzten Zyklus reservierte Bezugsleistungswert $P_{weaXcons}(t - 1)$, weil die mögliche zur Verfügung stehende Bezugsleistung P_{pos} einen negativen Wert hat. In diesem Rahmen kann die Windenergieanlage X eine Bezugsleistung $P_{weaXcons}(t)$ reservieren, nämlich weniger als im vorigen Zyklus. Im Block **33** wird dann geprüft, ob und um wieviel die Windenergieanlage X weniger Bezugsleistung reserviert hat, als im vorigen Zyklus. Die mögliche zur Verfügung stehende Bezugsleistung P_{pos} wird dann um diesen Differenzwert der Bezugsleistung der Windenergieanlage X zwischen zwei Zyklen im Block **34** erhöht:

$$P_{pos} = P_{pos} + \Delta P.$$

[0065] Das kann bspw. bedeuten, dass sich im Block **11** für P_{pos} ein negativer Wert von bspw. 4 kW ergeben hat. Reduziert sich die reservierte Bezugsleistung der Windenergieanlage X um 2 kW, weil sie zuvor 2 kW reserviert hatte und nun keine Bezugsleistung mehr reserviert hat, beträgt der Wert für die Differenz der Bezugsleistung ΔP im Block **33** + 2 kW und P_{pos} erhöht sich im Block **34** um 2 kW, nämlich von minus 4 kW auf minus 2 kW. Für weitere Windenergieanlagen kann die mögliche zur Verfügung stehende Bezugsleistung P_{pos} weiter erhöht werden, indem Windenergieanlagen weniger reservierte Bezugsleistung zugestanden wird bzw. ihnen reservierte Bezugsleistung weggenommen wird. Exemplarisch ist das noch in den Blöcken **23** und **24** gezeigt, die analog den Blöcken **33** und **34** entsprechen, allerdings für die Windenergieanlage 2.

[0066] Nach dem Ausgang der Blöcke **23** und **24** kann schließlich der ersten Windenergieanlage WEA 1 der hierdurch hoffentlich zumindest auf 0 erhöhte Wert für P_{pos} der Windenergieanlage 1 zuzüglich der von ihr im vorigen Zyklus reservierten Bezugsleistung $P_{wea1cons}(t - 1)$ als Angebotsleistung angeboten werden. Hiernach endet der Zyklus und beginnt erneut im Block **1**. Wird keine reservierte Bezugsleistung zurückgefordert, werden die Blöcke **33**, **34**, **23** und **24** nicht verwendet und der Zyklus kehrt am Ende der Windenergieanlage X zum Block **1** zurück und der Zyklus beginnt nach entsprechend festgelegter Zeit erneut.

[0067] Ergänzend wird hierzu allgemein noch das Folgende erläutert.

[0068] Das Bezugsleistungsmanagement für Windenergieanlagen, nachfolgend auch als WEA bezeichnet, arbeitet gruppenorientiert. Gruppen sind selektiv ausgewählte Windenergieanlagen, die z.B. alle an einem Netzverknüpfungspunkt angeschlossen sind. Die Verarbeitung erfolgt zyklisch (z.B. alle 1 min.).

[0069] Am Anfang jedes Zyklus wird die noch zur Verfügung stehende Bezugsleistung ermittelt ($P_{pos} = P_{max} - P_{act}$). Diese hierfür benötigte aktuell bezogene Leistung (P_{act}) kann durch eine installierte Messung am Netzverknüpfungspunkt oder durch Bildung der Summe aller reservierter Bezugsleistungen bereitgestellt werden, und ist der Minimalwert (Maximale Bezugsleistungswert) über den Bezugsleistungsmanagementzyklus.

[0070] Alle Windenergieanlagen der Gruppe werden mit der ihr zur Verfügung stehenden Bezugsleistung ($P_{pos} + P_{weaXcons}(t - 1)$) der Reihe nach angerufen. Diese Bezugsleistung bildet sich durch die gesamte zur Verfügung stehende Bezugsleistung (P_{pos}) und der reservierten Leistung ($P_{weaXcons}(t - 1)$) der jeweiligen Anlage des vorherigen Zyklus (Leistung die schon reserviert wurde und im Augenblick konsumiert wird).

[0071] Wird Leistung in der Windenergieanlage benötigt und reicht die zur Verfügung stehende Leistung aus, kann die Anlage seine benötigte Leistung übernehmen. Als Quittung sendet die Anlage ihre aktuelle gesamt Bezugsleistung ($P_{weaXcons}(t)$) zurück.

[0072] Hat eine Anlage weiter Bezugsleistung übernommen ($\Delta P > 0$), wird für die Folgeanlage die zur Verfügung stehende Bezugsleistung korrigiert ($P_{pos} = \Delta P$). Wurde Leistung wieder frei gegeben, wird diese in diesem Zyklus ignoriert.

[0073] Durch das Ignorieren der freigegebenen Bezugsleistung einer Anlage wird das Prioritätenmanagement im System gebildet, da den folgenden Anlagen in der Zyklusreihenfolge diese freigegebene Leistung nicht angeboten wird. Erst im nächsten Zyklus kann diese Leistung wieder verbucht werden. Somit haben Anlagen die vorne in der Anfrageliste stehen eher die Möglichkeit Leistungen zu reservieren.

[0074] Wird mehr Leistung bezogen als reserviert, muss die reservierte Bezugsleistung von den Anlagen weggenommen werden. Dieses ist der Fall wenn die maximale Bezugsleistung (P_{max}) kleiner wird, d.h. ein kleinerer Sollwert vorgegeben wird. Bei dieser Ausnahme wird die Zwangsrücknahme der Bezugsleistung nach der Prioritätenliste durchgeführt. Anlagen mit der niedrigeren Priorität müssen ihre Leistung als erstes abgeben. Die Anrufreihenfolge der Anlagen ist für diese Zyklen umgekehrt und die freigegebene Bezugsleistung kann sofort wieder verbucht werden.

[0075] Wichtig ist für die Güte des Systems ein synchroner Betrieb zwischen Anlage und Bezugsleistungsmanagement. Die Anlage darf die Bezugsleistung nur nach Freigabe durch das Management abrufen. Auch das Abschalten von Bezugsleistung soll-

te relativ synchron laufen. Ansonsten stimmt die Energiebilanz nicht.

[0076] Bei den gemeldeten Bezugsleistungen der Anlagen (PweaXcons) handelt es sich um Maximalwerte die eine Anlage in den jeweiligen Situationen beziehen könnte. Z.B. würde bei der Blattheizung einer Anlage die Leistung des Heizregisters und die des Heizlüfters reserviert werden, auch wenn z.Z. nur der Lüfter läuft. Somit wird der autarke Betrieb von Peripherien einer Anlagen sichergestellt.

[0077] Durch die gemeldeten max. Bezugsleistungen der Anlagen und der max. gemessenen Bezugsleistung am NAP wird sichergestellt, dass die gesamte Bezugsleistung am NAP nicht überschritten wird und dass relativ autarkes Management der Anlagen erhalten bleibt. Ein punktgenaues Ausregeln der Bezugsleistung am NAP, was technisch schwer umsetzbar ist, wird hierdurch vermieden.

[0078] Fig. 4a bis Fig. 4f zeigen eine Situation wechselnder Bezugslasten und dazu mögliche Verläufe der Bezugsleistung. Die unterbrochenen Verläufe zeigen die Bezugsleistungen, die die jeweiligen Windenergieanlagen als Bedarf angemeldet hätten und die durchgezogenen Verläufe zeigen die Bezugsleistungen, die die jeweiligen Windenergieanlagen dann tatsächlich erhalten haben, also reservieren konnten. Diese Symbolik gilt für die Fig. 4a bis Fig. 4f und auch für die Fig. 5a bis Fig. 5f.

[0079] Es wird die Situation wechselnder Bezugslasten zugrunde gelegt und nachfolgend für die berücksichtigten Zeitpunkte beschrieben.

[0080] Das Beispiel betrifft einen Windpark mit 5 Windenergieanlagen (WEAs) im Bezugsleistungsmanagement. Die Priorität der Anlagen ist nach Anlagennummern verteilt (Anlage 1 => höchste Priorität bis zu Anlage 5 mit niedrigster Priorität). Ein fester maximaler Sollbezug von 700 kW wird zugrunde gelegt, der hier die Entnahmeleistung beschreibt, die nämlich, bspw. vertraglich bedingt, festgelegt ist, zumindest nicht ohne weiteres überschritten werden darf oder sollte. Etwaige weitere im Park verfügbare Parkleistung wird hier nicht betrachtet bzw. ist nicht vorhanden. Diese feste Entnahmeleistung ist in Fig. 4a als P Max. eingezeichnet.

[0081] Minute 2: Anlage 1 fordert 100 kW und Anlage 2 500 kW, sie reservieren diese Leistungen somit jeweils als Bezugsleistung und nehmen diese Leistungen auch ab, was nachfolgend, auch zu den nachfolgenden Fig. 5a bis Fig. 5f vorausgesetzt wird. Anlage 4 benötigt 250 kW. kann aber mit 50 kW einen Teilbedarf decken, reserviert also nur 50 kW Bezugsleistung. Anlage 5 Benötigt 150 kW, kann diesen Bedarf aber nicht mehr decken, reserviert also keine Bezugsleistung. Der Gesamtbezug des exemplarischen

Windparks, der auch in Fig. 4a und auch in Fig. 5a als P Cons.(NAP) bezeichnet wird, beträgt 650 kW. Diese Leistung wird Parkbezugsleistung genannt und bezeichnet die Leistung, die die Gruppe der Windenergieanlagen, hier also der Windenergieanlagen 1 bis 5, aktuell aus dem elektrischen Versorgungsnetz entnimmt.

[0082] Minute 8: Anlage 4 geht auf 50 kW des benötigten Bedarfs zurück. Keine Änderung im Gesamtbezug.

[0083] Minute 11: Anlage 1 fordert 0 kW Leistung. 100 kW Leistung wird frei und Anlage 5 Kann Forderung von 150 kW umsetzen, also reservieren. 700 kW Gesamtbezug ergibt sich somit.

[0084] Minute 13: Anlage 4 fordert 250 kW, hat aber nur weiterhin 50 kW reservierten Bezug. Weiterhin ergibt sich 700 kW Gesamtbezug.

[0085] Minute 19: Anlage 4 geht auf 50 kW des benötigten Bedarfs zurück. Keine Änderung im Gesamtbezug.

[0086] Minute 21: Anlage 1 fordert 100 kW, bekommt sie nicht da nichts frei ist. Keine Änderung im Gesamtbezug.

[0087] Minute 25: Anlage 4 fordert 250 kW, hat aber nur weiterhin 50 kW reservierten Bezug. Weiterhin 700 kW Gesamtbezug.

[0088] Minute 27: Anlage 2 gibt 200 kW frei. Der Gesamtbezug reduziert sich auf 500 kW. Diese Leistung wird nicht an die Folgeanlagen in der Abfragereihenfolge vergeben wie z.B. an Anlage 4 mit den Bedarf von 250 kW. Erst in der nächsten Minute, also im nächsten Zyklus, wird diese Leistung wieder zur Verfügung gestellt. Insoweit stehen die gezeigten und erläuterten Minuten auch veranschaulichend für Zyklen, die auch andere Zeiten als eine Minute betragen können. Dies gilt auch für die Fig. 5a bis Fig. 5f.

[0089] Abbildung der Priorität: Anlagen vorne in der Abfragereihenfolge haben die höhere Priorität.

[0090] Minute 28: Anlage 1 übernimmt 100 kW. Gesamtbezug 600 KkW.

[0091] Minute 31: Anlage 1 fordert 0 kW Leistung. Gesamtbezug 500 kW.

[0092] Minute 32: Anlage 4 geht auf 50 kW des benötigten Bedarfs zurück. Keine Änderung im Gesamtbezug. Anlage 4 fordert 250 kW, hat aber nur weiterhin 50 kW reservierten Bezug. Weiterhin 700 kW Gesamtbezug.

[0093] Minute 37: Anlage 4 fordert und übernimmt 250 kW. Gesamtbezug 700 kW.

[0094] Minute 41: Anlage 1 fordert 100 kW bekommt sie aber nicht.

[0095] Minute 44: Anlage 4 geht auf 50 kW des benötigten Bedarfs zurück. 200 kW Bezugsleistung werden frei. Gesamtbezug 500 kW.

[0096] Minute 45: Anlage 1 übernimmt 100 kW aus der freigewordenen Leistung. Gesamtbezug 600 kW.

[0097] Minute 49: Anlage 4 fordert 250 kW, hat aber nur weiterhin 50 kW reservierten Bezug. Weiterhin 600 kW Gesamtbezug.

[0098] Minute 51: Anlage 1 fordert 0 kW Leistung. Gesamtbezug 500 kW.

[0099] Minute 52: Anlage 4 fordert und übernimmt 250 kW. Gesamtbezug 700 kW.

[0100] Minute 57: Anlage 2 gibt weiter 300 kW frei. Gesamtbezug zwischen 200 und 500 kW. Alle Anlagen können ihren Bedarf decken.

[0101] In den **Fig. 5a** bis **Fig. 5f** wird die Situation wechselnder Bezugslasten mit wechselndem, maximalem Sollbezug, also wechselnder, vereinbarter Entnahmeleistung bzw. wechselnder Parkverbrauchsleistung, zugrunde gelegt und nachfolgend für die berücksichtigten Zeitpunkte beschrieben. Diese wechselnde Entnahmeleistung ist in **Fig. 5a** als P Max. eingezeichnet.

[0102] Das Beispiel betrifft, wie bei den **Fig. 4**, einen Windpark mit 5 Windenergieanlagen im Bezugsleistungsmanagement.

[0103] Die Priorität der Anlagen ist nach Anlagennummern verteilt (Anlage 1 => höchste Priorität).

[0104] Minute 2: Anlage 2 und Anlage 5 sind im Bezug mit 200 kW Gesamtbezug, also 200 kW Parkbezugsleistung.

[0105] Minute 11: Anlage 2 übernimmt 250 kW Bezugsleistung. 500 kW beträgt der Gesamtbezug bzw. die Parkbezugsleistung, nämlich die Leistung, die alle 5 Windenergieanlagen in diesem Moment in Summe als Bezugsleistung beziehen.

[0106] Minute 14: Die Sollbezugsleistung, also die vereinbarte Entnahmeleistung wird auf 400 kW gesenkt. Ein negativer Soll/Istvergleich (nicht genügend Bezugsleistung mehr vorhanden) sorgt dafür, dass Anlagen den Konsum von Energie einstellen müssen. Bedingt durch die Priorisierung werden die Anlagen in umgekehrter Reihenfolge abgefragt. Die freiwerdenden

de Bezugsleistung der Anlagen wird, bedingt durch den negativen Soll/Istvergleich, sofort in die verfügbare Energie der jeweiligen nächsten Anlage mit einbezogen, um unnötige Abschaltungen zu vermeiden.

[0107] Anlage 5, die mit der niedrigsten Priorität, stellt den Energiekonsum sofort ein. 350 kW Gesamtbezug sind das Resultat.

[0108] Minute 18: Anlage 4 geht auf 50 kW des benötigten Bedarfs zurück. 200 kW Bezugsleistung werden frei. Anlage 5 kann wieder 150 kW übernehmen, aber erst im nächsten Zyklus, bei Minute 19. Der Gesamtbezug beträgt dann 300 kW.

[0109] Minute 21: Anlage 1 fordert 0 kW Leistung. Gesamtbezug 200 kW.

[0110] Minute 25: Anlage 3 fordert 100 kW Leistung. Gesamtbezug 300 kW.

[0111] Minute 31: Anlage 1 fordert 100 kW Leistung. Gesamtbezug 400 kW (Maximum).

[0112] Minute 36: Die Sollbezugsleistung wird auf 200 kW gesenkt. Prioritätenbedingt gehen Anlage 5 + 4 auf 0 kW. Gesamtbezug 200 kW.

[0113] Minute 41: Anlage 1 fordert 0 kW Leistung. Anlage 4 übernimmt 50 kW Leistung. Gesamtbezug 150 kW.

[0114] Minute 54: Anlage 2 forciert 200 kW Leistung, bekommt sie aber nicht, da nur noch 50 kW Bezugsleistung übrig sind.

[0115] Minute 57: Die Sollbezugsleistung, also die vereinbarte Entnahmeleistung, wird auf 450 kW erhöht. Anlage 1 übernimmt 100 kW und Anlage 2 200 kW. Gesamtbezug 450 kW.

[0116] Minute 61: Anlage 1 fordert 0 kW Leistung. Gesamtbezug 350 kW.

[0117] Minute 65: Anlage 3 reduziert den Konsum auf 50 kW. Anlage 5 übernimmt 150 kW. Gesamtbezug 450 kW.

[0118] Zusammenfassend kann zumindest vereinfachend und beispielhaft folgendes erläutert werden.

[0119] Die Bezugsleistung wird nach Priorität (Reihenfolge der Abfrage) an die jeweiligen Anlagen verteilt. Hat eine Anlage Bezugsleistung reserviert, behält die Anlage diese bis sie diesen Bezug nicht mehr benötigt. Eine zeitliche Priorisierung ist somit gegeben. Die Anlage die den Bedarf als erstes anmeldet bekommt die Bezugsleistung zugeteilt. Melden mehrere Anlagen zum selben Zeitpunkt Bezugsleistung an, entscheidet die Reihenfolge der Anrufe an

die Anlagen über die Priorisierung. Somit wird sichergestellt, dass freigegebene Leistung geordnete nach Priorität verteilt wird.

[0120] Wird mehr Leistung bezogen als reserviert, muss reservierte Bezugsleistung von den Anlagen weggenommen werden. Dieses ist der Fall wenn die Sollbezugsleistung kleiner wird. Bei dieser Ausnahme wird die Zwangsrücknahme der Bezugsleistung nach der Prioritätenliste durchgeführt. Anlagen mit der niedrigeren Priorität müssen ihre Leistung als erstes abgeben.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Steuern eines Leistungsverbrauchs einer Gruppe mehrerer Windenergieanlagen (100), wobei die Windenergieanlagen (100) zum Einspeisen elektrischer Energie in ein elektrisches Versorgungsnetz (120) vorbereitet sind und

- in einem wiederkehrenden Zyklus
- den Windenergieanlagen (100)
- in einer vorgegebenen Reihenfolge
- sukzessive und
- abhängig von einer insgesamt den Windenergieanlagen (100) zum Verbrauch zur Verfügung stehenden Parkverbrauchsleistung
- jeweils eine Angebotsleistung zum Verbrauch angeboten wird und
- die jeweilige Windenergieanlage (100) diese oder eine geringere Angebotsleistung als Bezugsleistung reserviert, und
- nachfolgenden Windenergieanlagen (100) in dem Zyklus maximal die um die bereits reservierten Bezugsleistungen reduzierte Parkverbrauchsleistung als Angebotsleistung angeboten wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Gruppe mehrerer Windenergieanlagen (100) einen Windpark (112) oder einen Teil davon bildet.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Parkverbrauchsleistung bestimmt wird aus der Summe

- einer vorbestimmten, aus dem elektrischen Versorgungsnetz (120) zu entnehmenden Entnahmeleistung (P_{max}) und
- einer innerhalb des Windparks (112) oder der Gruppe der Windenergieanlagen (100) durch Erzeugung und/oder aus Speichern verfügbaren Parkleistung (P_{park}).

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass im aktuellen Zyklus

- die der jeweiligen Windenergieanlage (100) angebotene Angebotsleistung aus

- einer aktuellen, verfügbaren Bezugsleistung zuzüglich
- der von dieser Windenergieanlage im vorigen Zyklus reservierten Bezugsleistung berechnet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- die verfügbare Bezugsleistung für die erste Windenergieanlage (100) der vorgegebenen Reihenfolge berechnet wird aus
- der Parkverbrauchsleistung
- abzüglich einer aktuellen Parkbezugsleistung, die von der Gruppe aktuell aus dem elektrischen Versorgungsnetz (120) entnommen wird, oder abzüglich der Summe der reservierten Bezugsleistungen der Gruppe.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- sich die verfügbare Bezugsleistung einer nachfolgenden Windenergieanlage (100) aus der verfügbaren Bezugsleistung ihrer in der vorgegebenen Reihenfolge vorstehenden Windenergieanlage (100) ergibt und dass
- sich die verfügbare Bezugsleistung für eine nachfolgende Windenergieanlage (100) reduziert, wenn die aktuelle Windenergieanlage (100) ihre reservierte Bezugsleistung gegenüber dem vorigen Zyklus erhöht,
- insbesondere reduziert sich die verfügbare Bezugsleistung für die nachfolgende Windenergieanlage (100) um den Wert um den sich diese reservierte Bezugsleistung erhöht hat, und dass
- die verfügbare Bezugsleistung für die nachfolgende Windenergieanlage (100) unverändert bleibt, wenn die aktuelle Windenergieanlage ihre reservierte Bezugsleistung gegenüber dem vorigen Zyklus beibehält oder reduziert hat.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die vorgegebene Reihenfolge in Abhängigkeit einer oder mehrerer Randbedingungen, insbesondere Umgebungsbedingungen bestimmt oder verändert wird.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die aus dem elektrischen Versorgungsnetz (120) zu entnehmende Entnahmeleistung auf einen Wert festgesetzt wird, der der Summe aller möglichen Verbrauchsleistungen der Windenergieanlage (100) der Gruppe entspricht, die die größte Summe aller möglichen Verbrauchsleistungen aufweist.

9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die reservierte Bezugsleistung wenigstens einer der Windenergieanlagen (100) reduziert wird, wenn die Summe der reservierten Leistungen des vorigen Zyklus größer ist als die Parkverbrauchsleistung.

10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zyklus entgegengesetzt der vorgegebenen Reihenfolge durchlaufen wird, wenn reservierte Bezugsleistungen reduziert werden sollen, insbesondere wenn die Summe der reservierten Bezugsleistungen die Parkverbrauchsleistung übersteigt.

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass zunächst die reservierte Bezugsleistung der letzten Windenergieanlagen reduziert wird und sukzessive die reservierte Bezugsleistung weiterer Windenergieanlagen entgegengesetzt der vorgegebenen Reihenfolge reduziert wird, bis die Summe der reservierten Bezugsleistungen die Parkverbrauchsleistung überschreitet.

12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Windenergieanlagen die jeweils reservierte Bezugsleistung zum Beheizen ihrer Rotorblätter und/oder Beheizen ihres Generators und/oder zum Starten der Windenergieanlage verwenden.

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

- der Zyklus in einem Zeitbereich von einer halben Minute bis 5 Minuten, vorzugsweise in einem Zeitbereich von einer bis 3 Minuten und insbesondere etwa jede Minute wiederholt wird und/oder
- der Zyklus manuell unterbrochen werden kann und eine Vergabe der Bezugsleistungen für jede Windenergieanlage manuell erfolgen kann.

14. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens eine der reservierten Bezugsleistungen, insbesondere alle reservierten Bezugsleistungen der Windenergieanlagen der Gruppe und/oder die Parkverbrauchsleistung und/oder die aktuelle Parkbezugsleistung für eine vorbestimmte Übergangszeit unverändert bleiben, wenn zwischen den Windenergieanlagen der Gruppe, insbesondere in dem Windpark, eine Kommunikationsstörung auftritt.

15. Gruppe mehrerer Windenergieanlagen, insbesondere Windpark (**112**), dazu vorbereitet, ein Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche durchzuführen.

16. Gruppe nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass zum Ausführen des Verfahrens eine zentrale Steuereinheit, insbesondere eine Parksteuereinheit (FCU), vorhanden ist.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

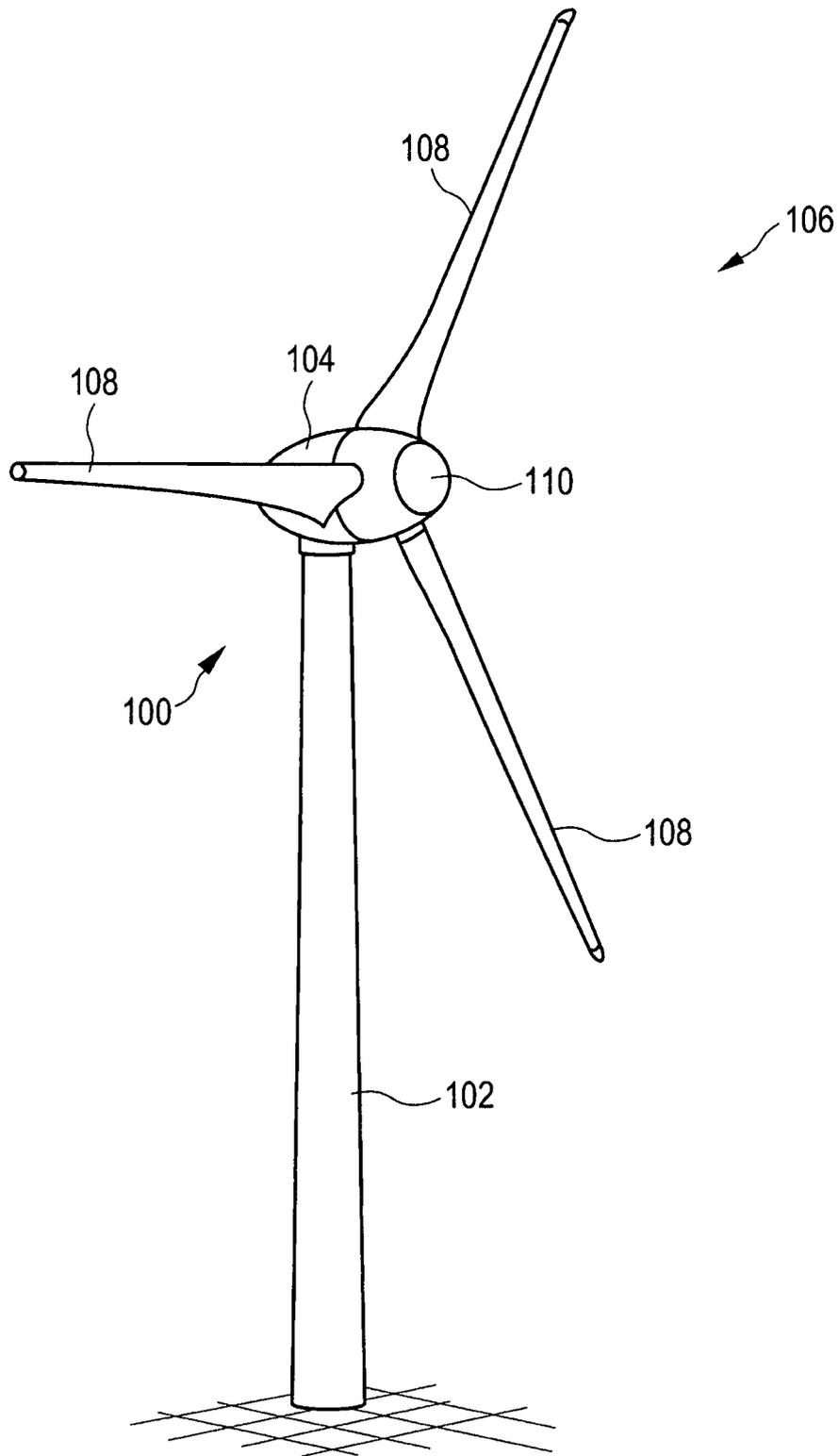


Fig. 1

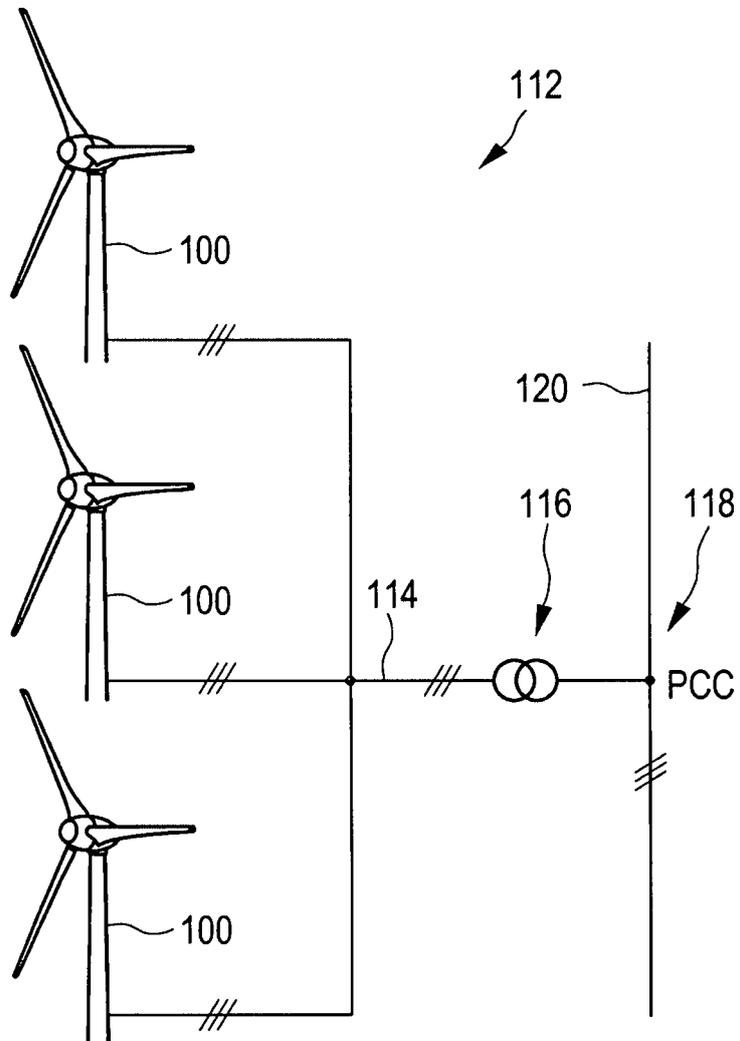


Fig. 2

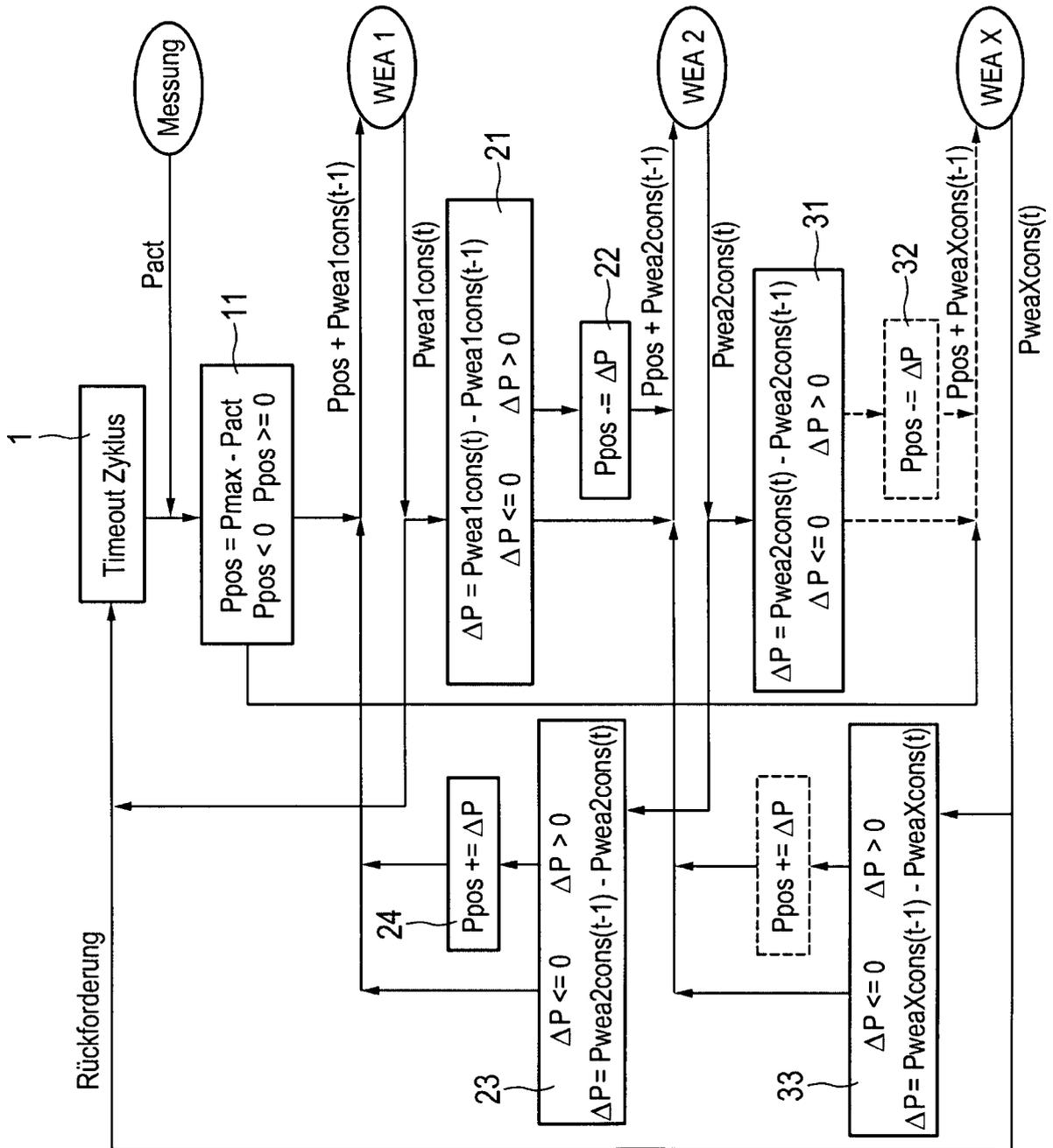


Fig. 3

Fig. 4a

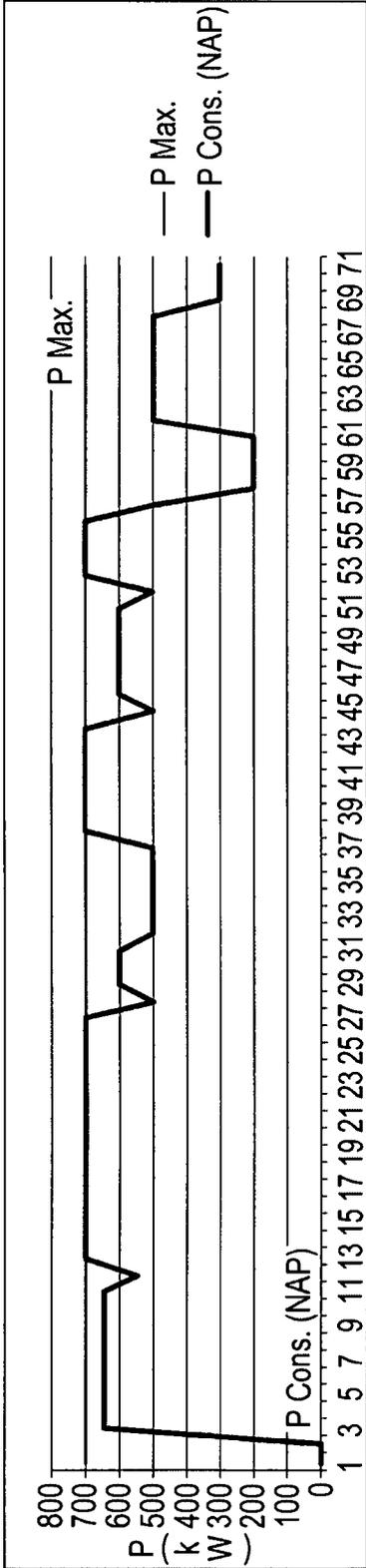


Fig. 4b

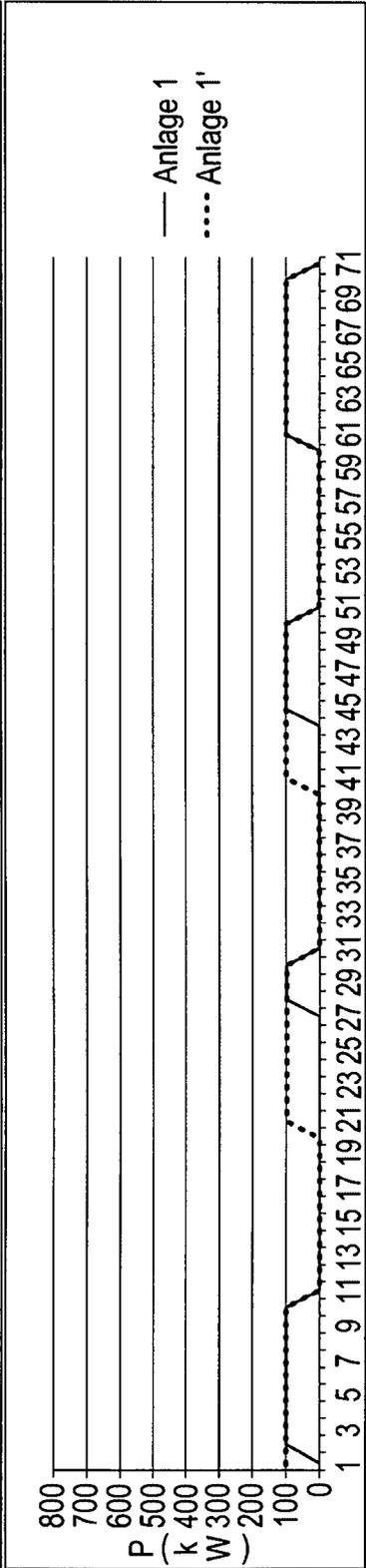


Fig. 4c

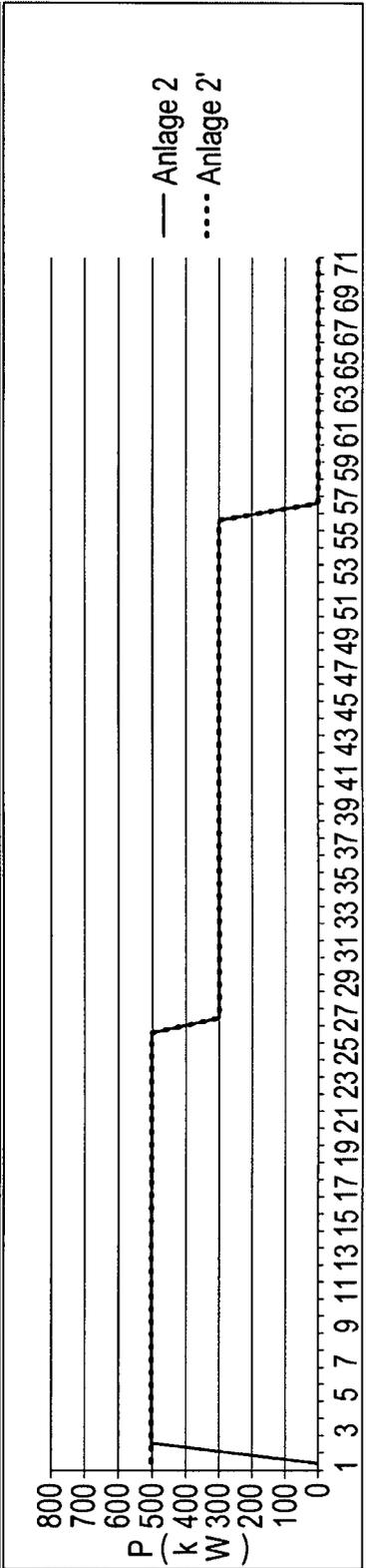


Fig. 4d

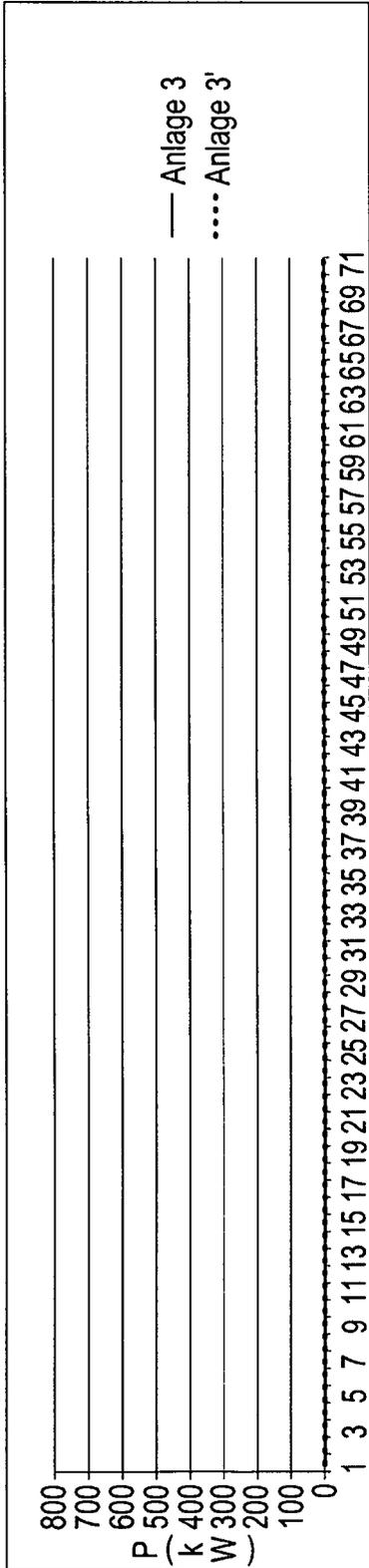


Fig. 4e

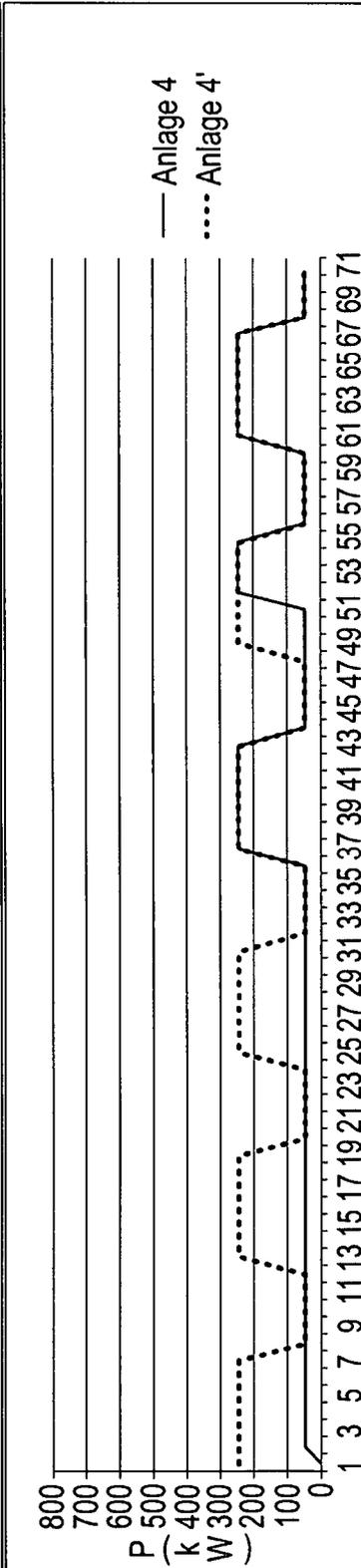
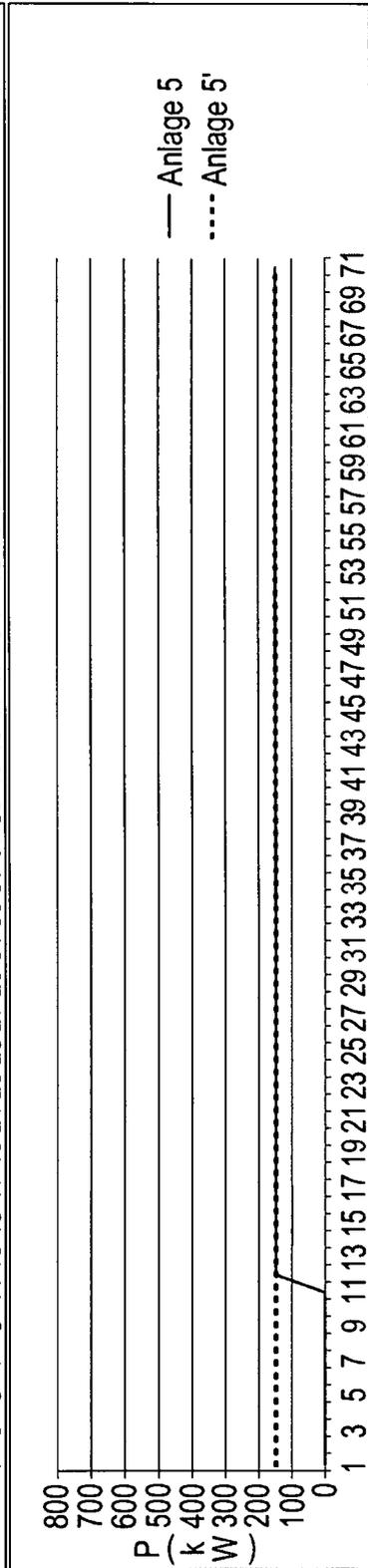


Fig. 4f



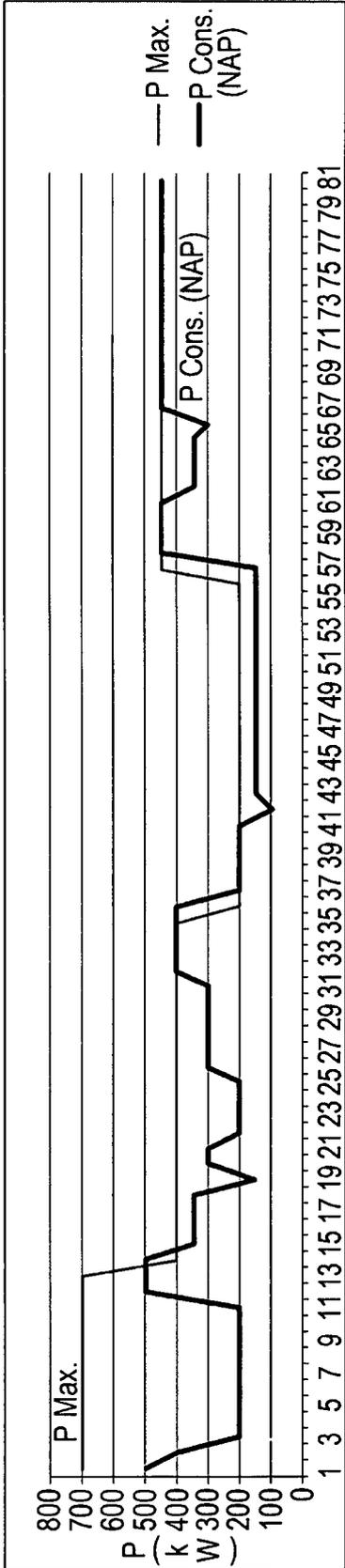


Fig. 5a

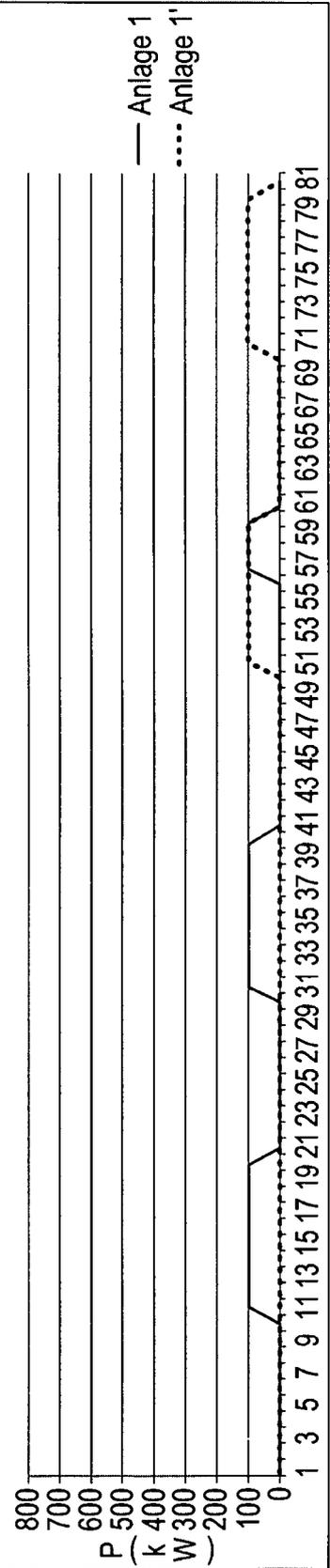


Fig. 5b

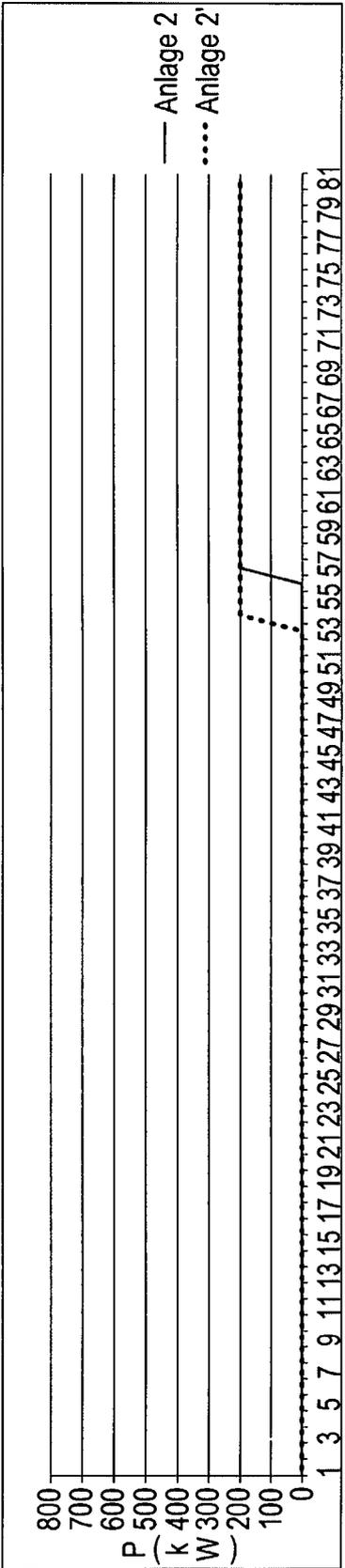


Fig. 5c

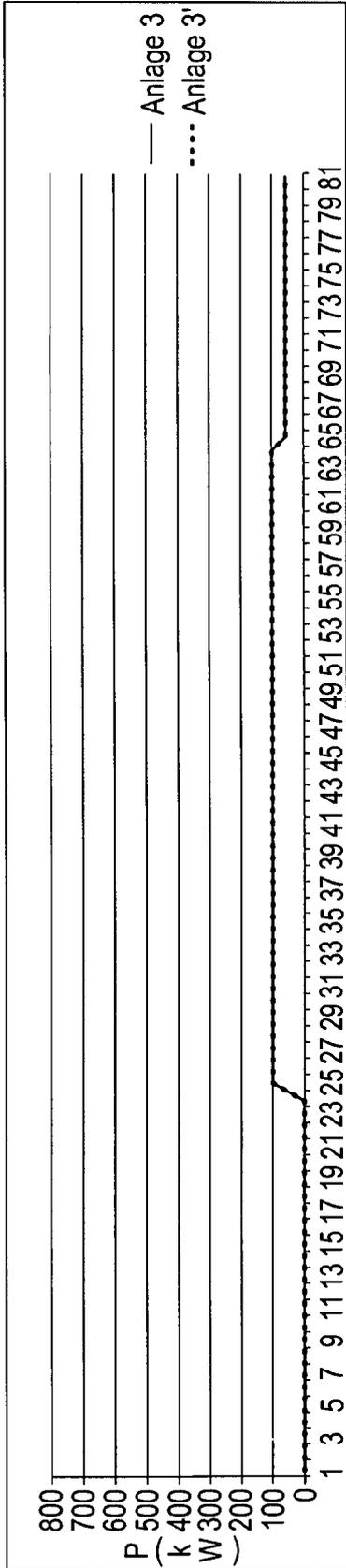


Fig. 5d

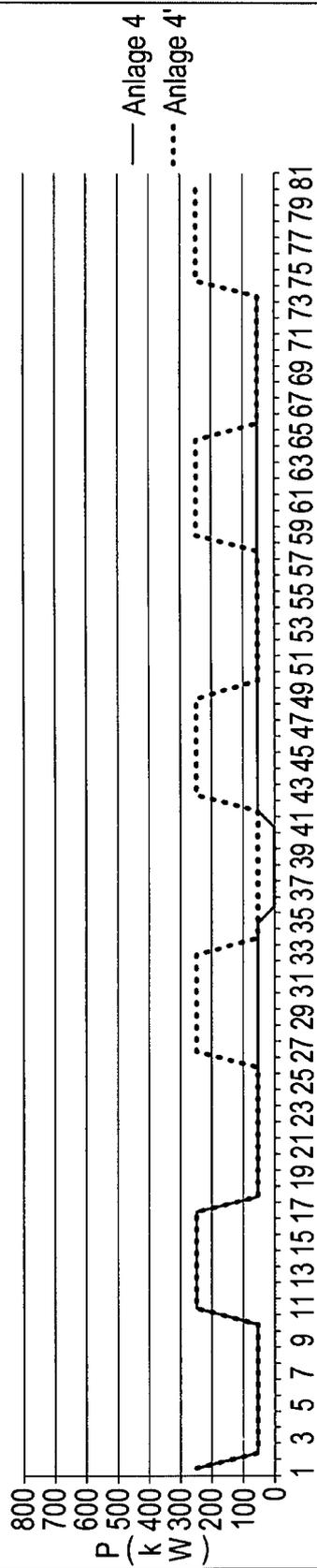


Fig. 5e

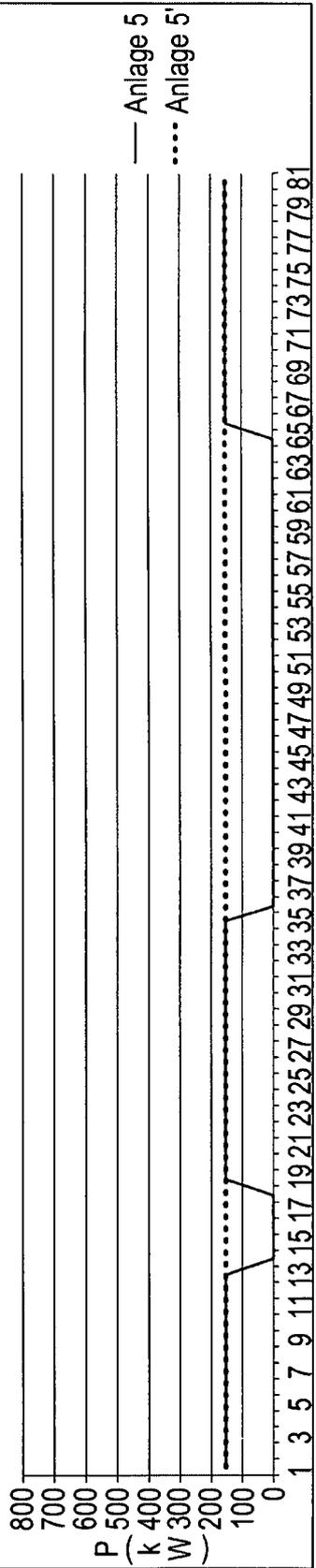


Fig. 5f