



(10) **DE 100 56 231 B4** 2012.02.23

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **100 56 231.0**
(22) Anmeldetag: **13.11.2000**
(43) Offenlegungstag: **20.06.2002**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **23.02.2012**

(51) Int Cl.: **F02C 6/18 (2006.01)**
F01K 13/02 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
ALSTOM Technology Ltd., Baden, CH

(74) Vertreter:
Rösler, Uwe, 81241, München, DE

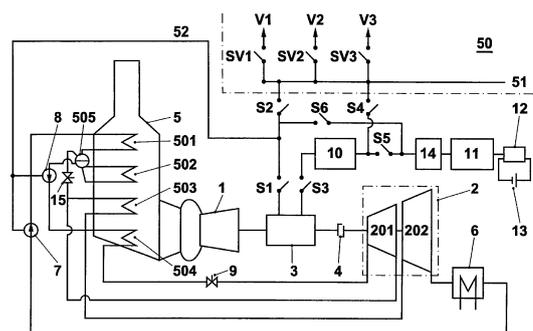
(72) Erfinder:
**Blatter, Richard, Ennetbaden, CH; Müller, Peter,
Hüttikon, CH; Hepner, Stephan, Althäusern, CH**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 195 18 093 A1
DE 195 37 637 A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betrieb eines Kombikraftwerks**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Betrieb eines Kombikraftwerks beim Anfahren eines energielosen Stromnetzes (50), wobei vor dem Belasten des Netzes ein Wasser-Dampf-Kreislauf aufgeheizt und eine Dampfturbine (2) angefahren wird, und wobei eine Gasturbine (1) wenigstens in einem Teil ihres Lastbereiches gemäss eines vorgegebenen Belastungsprogrammes belastet wird, wobei transiente Lastanforderungen des Netzes durch Veränderungen der Dampfturbinenleistung erfüllt werden, dadurch gekennzeichnet, dass die Gasturbine (1) vor dem Aufschalten auf das Netz für eine Zeitspanne im Leerlauf oder mit einer Leistung zur Eigenversorgung des Kombikraftwerks betrieben wird, und wobei während dieser Zeit der Wasser-Dampf-Kreislauf energetisch aufgeladen wird.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Kombikraftwerks. Sie betrifft insbesondere ein Verfahren zum Anfahren und Belasten einer Kombianlage. Dieses Verfahren betrifft speziell die Leistungsregelung und die Aufteilung der Leistung innerhalb der Kombianlage beim Belasten der Kombianlage innerhalb eines energielosen Stromnetzes.

Stand der Technik

[0002] Bei der Wiederinbetriebnahme eines energielosen Stromnetzes („Black Grid“) werden besondere Anforderungen an die Fähigkeiten einer Kraftwerksanlage zur schnellen Reaktion auf Lasttransienten und zur Frequenzstützung gestellt. Beim Auflasten eines Netzes und der sukzessiven Inbetriebnahme der Verbraucher steigt die Netzlast nicht stetig an, sondern etwa beim Zuschalten eines Industriebetriebes mit vielen elektromotorischen Verbrauchern kommt es zu Sprüngen der Effektivleistungsanforderung wie auch der Blindleistungsanforderung von einigen 100 kW bis in die Megawatt-Größenordnung. Wenn diese Lastsprünge auch absolut betrachtet klein sind, so müssen sie doch von einer einzigen Kraftwerksanlage erfüllt werden. Wenn dann die gesamte Leistungsaufnahme des Netzes nur bei einigen, beispielsweise 5, MW liegt, wird klar, welche Anforderungen an die Regelungsgüte und die Frequenzstützungsfähigkeit einer Kraftwerksanlage im unteren Teillastbereich unter diesen Bedingungen gestellt werden.

[0003] Prinzipiell können diese Anforderungen sehr gut durch eine Gasturbinenanlage erfüllt werden, welche an sich geringe Antwortzeiten hat. Gleichwohl hat die Entwicklung hin zum Einsatz der modernen und schadstoffarmen Vormischbrennertechnologie in Gasturbinen zumindest im unteren Lastbereich zu einer Begrenzung der möglichen Lastgradienten aus Gründen der Flammenstabilität geführt. Daneben ist bei einigen Gasturbinen dieser modernen Bauarten ein Betrieb in gewissen Leistungsbändern von durchaus einigen MW Breite nicht möglich.

[0004] Somit müssen nach dem Stand der Technik in der Elektrizitätswirtschaft spezielle Einheiten bereitgehalten werden, die in der Lage sind, die Anforderungen beim Wiederanfahren eines energielosen Stromnetzes zu erfüllen. So können hier entsprechende Kapazitäten in Form von Peak-Load-Gasturbinen und Dieselaggregaten bereitgehalten werden. Es handelt sich dabei aber häufig um vergleichsweise unwirtschaftliche und emissionsreiche Anlagen, die ansonsten nur geringe Betriebszeiten aufweisen. Um deren Startverfügbarkeit bei sehr seltenem Betrieb bis faktischem Dauerstillstand aufrechtzuerhalten, ist

ein hoher Wartungsaufwand nötig. Zudem amortisieren sich die Investitionen nicht über verkauften Strom.

[0005] In der Summe ist die Bereithaltung der entsprechenden Reserven also nach dem Stand der Technik sehr aufwendig. Andererseits können Kraftwerksbetreiber gerade in liberalisierten Elektrizitätsmärkten von den Netzbetreibern hohe Geldbeträge für die Bereithaltung dieser Schwarzstartkapazitäten erhalten.

[0006] Aus DE 195 37 637 A1 ist ein Verfahren zum Betrieb eines Kombikraftwerks beim Anfahren eines energielosen Stromnetzes bekannt geworden. Vor dem Belasten des Netzes wird ein Wasser-Dampf-Kreislauf aufgeheizt, und eine Dampfturbine und eine Gasturbine wird wenigstens in einem Teil ihres Lastbereiches belastet. Bei diesem Verfahren werden aber die transienten Lastanforderungen des Netzes durch Veränderungen der Dampfturbinenleistung nicht erfüllt. Des Weiteren geht aus dieser Druckschrift nicht hervor, dass die Gasturbine vor dem Abschalten auf das Netz für eine Zeitspanne im Leerlauf oder mit einer Leistung zur Energieversorgung des Kombikraftwerks betrieben wird, und dass während dieser Periode der Wasser-Dampf-Kreislauf energetische aufgeladen wird.

[0007] Aus DE 195 18 093 A1 ist des Weiteren auch ein Verfahren zum Anfahren einer Gasturbine grosser Leistung in einem Kombikraftwerk bekannt geworden. Allerdings wird hier das Hochfahren der Gasturbine durch den zugeordneten, im Motorbetrieb arbeitenden Generator bewerkstelligt, d. h., dass mit diesem Verfahren nicht angestrebt ist, die transienten Lastanforderungen des Netzes aufzufangen, indem eine Veränderung der Dampfturbinenleistung injiziert wird. Auch geht aus dieser Druckschrift nicht hervor, dass im Leerlauf der Wasser-Dampf-Kreislauf aufgeladen wird.

Darstellung der Erfindung

[0008] Für die Kraftwerksbetreiber resultiert aus dem oben Gesagten der Wunsch, die entsprechenden Schwarzstartkapazitäten mit modernen, wirtschaftlichen, im Dauerbetrieb arbeitenden Anlagen bereitzustellen.

[0009] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren anzugeben, welches es ermöglicht, mit einer Kombianlage, welche auf einer modernen, mit emissionsarmer Vormischbrennertechnologie ausgerüsteten Gasturbine basiert eine Frequenzstützungsfähigkeit bei beliebiger Anlagenlast bereitzustellen.

[0010] Erfindungsgemäss wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass bei einem Verfahren zum Betrieb eines Kombikraftwerks beim Anfahren eines ener-

gesehenen Stromnetzes vor dem Belasten des Netzes ein Wasser-Dampf-Kreislauf energetisch aufgeladen und eine Dampfturbine angefahren wird, und die Gasturbine wenigstens in einem Teil ihres Lastbereiches gemäss eines vorgegebenen Lastprogrammes belastet wird, wobei transiente Lastanforderungen des Netzes durch Veränderungen der Dampfturbinenleistung erfüllt werden.

[0011] Unter der energetischen Aufladung des Wasser-Dampf-Kreislaufes ist in diesem Kontext beispielsweise die Aufheizung des Wasser-Dampf-Kreislaufes zu verstehen. Andererseits kann dies auch eine sukzessive Steigerung des Frischdampfdruckes im Kessel oder eine sukzessive Aufladung eines Behälters mit einem Dampfvolumen sein. Ein unter Druck stehendes Wasservolumen nahe der Siedetemperatur stellt ebenfalls ein sehr effizientes Energiereservoir dar, das bei einer Druckabsenkung spontan grosse Mengen Dampf bereitzustellen vermag. Im Normalfalle wird bei der Realisierung der Erfindungsidee eine Kombination dieser Möglichkeiten angewendet werden, wobei dem Fachmann auch durchaus andere Möglichkeiten geläufig sind, einen Wasser-Dampf-Kreislauf als Energiespeicher zu betreiben.

[0012] Kern der Erfindung ist es also, die Frischdampfzufuhr zur Dampfturbine nicht, wie nach dem Stand der Technik üblich, so zu regeln, dass die thermischen Spannungen in der Dampfturbine begrenzt werden, sondern die Frischdampfzufuhr tatsächlich auch in der Anfahrphase zur Leistungsregelung einzusetzen. Dabei wird eine lebensdauerverkürzende mechanische Überlastung der Dampfturbine temporär bewusst in Kauf genommen. Gleichwohl tritt ein solches Ereignis in der Praxis nur selten ein, und die Wahrscheinlichkeit, dass eine Kombianlage tatsächlich einmal nach dem erfindungsgemässen Verfahren betrieben wird, ist an sich recht gering. Gleichwohl ist entscheidend, dass die Anlage für das erfindungsgemässe Betriebsverfahren vorbereitet ist, und die entsprechenden Programme in der Leittechnik implementiert sind, was, wie oben erwähnt, bereits erhebliche Geldflüsse generieren kann.

[0013] Bei dem erfindungsgemässen Verfahren ist von Vorteil, wenn im Wasser-Dampf-Kreislauf möglichst viel Energie so gespeichert ist, dass sie kurzfristig in Form von Dampf für die Dampfturbine zur Verfügung gestellt werden kann. Vorteilhaft für das Verfahren ist daher, wenn die Gasturbine nach dem Anfahren auf Nenndrehzahl zunächst mit geöffnetem Netzschalter, aber geschlossenem Generatorschalter im Inselbetrieb zur Eigenversorgung des Kombikraftwerks betrieben wird. In dieser Zeit wird die Abgaswärme der Gasturbine verwendet, um den Wasser-Dampf-Kreislauf energetisch aufzuladen und in Betriebsbereitschaft zu versetzen. Mit Vorteil wird bereits jetzt die Dampfturbine angefahren. Der Netz-

schalter wird erst geschlossen, wenn der Wasser-Dampf-Kreislauf einen bestimmten Zustand erreicht hat. Erst dann muss das Kombikraftwerk die Leistungsanforderungen des Netzes erfüllen; nach dem erfindungsgemässen Verfahren sind der Wasser-Dampf-Kreislauf und die Dampfturbine jetzt bereit, durch Zuleiten von Dampf zur Dampfturbine die Gasturbine bei der Erfüllung transients Lastanforderungen zu unterstützen. Es ist weiterhin von Vorteil, wenn in dem Belastungsprogramm weitere Haltepunkte vorgesehen sind, bei denen der Wasser-Dampf-Kreislauf sukzessive weiter energetisch aufgeladen wird. Dadurch steigt die kurzfristig zur Verfügung zu stellende Leistung der Dampfturbine weiter an.

[0014] Der Wasser-Dampf-Kreislauf wird beim erfindungsgemässen Verfahren als Akkumulator für schnell in Form von heissem gespanntem Dampf zur Verfügung zu stellende thermische Energie betrieben.

[0015] Wenn die Kombianlage mit einem Trommelkessel versehen ist, können eine Hochdrucktrommel und/oder eine Niederdrucktrommel als Energiespeicher Verwendung finden. Bei einer Anlage zur Durchführung des Verfahrens können die Trommeln mit Vorteil als Energiespeicher überdimensioniert sein. In den Trommeln ist dann neben Dampf Sattwasser gespeichert. In einer bevorzugten Verfahrensvariante, wobei bei einer Leistungsanforderung der Dampfturbine Dampf zugeführt werden muss und ein zwischen Kessel und Dampfturbine angeordnetes Hauptregelventil geöffnet wird, sinkt der Gegendruck im Kessel spontan um einen geringen Betrag. Das Sattwasser siedet, und ist so in der Lage, schnell grosse Dampfmen gen zur Verfügung zu stellen.

[0016] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird zumindest zeitweise Dampf aus dem Hochdruckteil des Dampferzeugers dem Niederdruckteil oder Mitteldruckteil der Dampfturbine zugeleitet. Hierzu wird entweder der Druck im Hochdruckteil des Dampferzeugers temporär reduziert, oder der Druck zwischen dem Dampferzeuger und der Dampfturbine gedrosselt. Ein Vorteil dieser Verfahrensvariante ist, dass die Dampffeuchte während der Entspannung in der Dampfturbine und niedriger Frischdampf temperatur bei niedriger Gasturbinenlast nicht zu stark ansteigt.

[0017] Der Dampfturbine kann selbstverständlich auch zusätzlich Dampf von einem Hilfskessel zugeführt werden.

[0018] Zusätzlich kann auch die Leistung eines Schwarzstartdiesels zur Kompensation von transienten Lastanforderungen herangezogen werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0019] Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. Die einzige Figur zeigt ein Beispiel einer schwarzstartfähigen Kombianlage. Schaltungen eines Wasser-Dampf-Kreislaufes und elektrische Schaltungen sind stark schematisiert, und es sind nur die für das Verständnis der Erfindung unmittelbar notwendigen Elemente dargestellt. Die Figur ist lediglich instruktiv zu verstehen, und sie soll insbesondere nicht zur Eingrenzung des beanspruchten Schutzzumfangs der Erfindung herangezogen werden.

Weg zur Ausführung der Erfindung

[0020] In der Figur ist beispielhaft eine schwarzstartfähige Kombianlage dargestellt, anhand derer das erfindungsgemäße Verfahren nachfolgend verdeutlicht wird. Eine Gasturbine **1** und eine Dampfturbine **2** treiben einen gemeinsamen Generator **3** an. Dabei ist die Dampfturbine **2**, die aus einem Hochdruckgehäuse **201** und einem Mittel-/Niederdruckgehäuse **202** besteht, auf an sich bekannte Weise über eine selbsttätig wirkende Kupplung **4** mit dem Generator **3** gekoppelt. Das Abgas der Gasturbine strömt durch einen Abhitzedampferzeuger **5**, in welchem Dampf für die Dampfturbine erzeugt wird. Dabei wird Kondensat aus einem Kondensator **6** durch eine Nieder-/Mitteldruck-Speisepumpe **7** auf ein erstes Druckniveau gebracht. Dieses Speisewasser durchströmt einen Speisewasservorwärmer **501**, und strömt in eine Nieder-/Mitteldrucktrommel **505** ein. Wasser aus der Nieder-/Mitteldrucktrommel **505** zirkuliert durch einen Nieder-/Mitteldruckverdampfer **502**. In der Trommel **505** findet eine Trennung in Siedewasser und Satt-dampf statt. Das Siedewasser zirkuliert zum Teil weiter durch den Nieder-/Mitteldruckverdampfer **502**, wo jeweils ein Teil davon verdampft wird. Ein anderer Teilstrom des Siedewassers in der Trommel wird von einer Hochdruck-Speisepumpe **8** auf einen zweiten Druck gefördert. In einem Zwangsdurchlauf-Verdampfer **504** wird das Hochdruck-Speisewasser verdampft und der entstandene Dampf überhitzt. Der Hochdruckdampf strömt schliesslich über ein Dampfregelventil **9** zum Einströmstutzen des Hochdruckgehäuses **201** der Dampfturbine **2**, wo er unter Abgabe von Nutzleistung auf einen Druck entspannt wird, der näherungsweise dem ersten Druckniveau des Wasser-Dampf-Kreislaufes entspricht. Der in der Trommel abgeschiedene Satt-dampf strömt aus der Trommel ab, und wird mit dem teilentspannten ersten Teilstrom vermischt, bevor er zu einem Nieder-/Mitteldrucküberhitzer geleitet wird. Von dort wird der überhitzte Dampf zum Einströmstutzen des Nieder-/Mitteldruckgehäuses **202** der Dampfturbine geleitet, und unter Abgabe von Nutzleistung auf den Kondensatordruck entspannt. Der entspannte Dampf wird schliesslich im Kondensator **6** wieder verflüssigt. Der oben beschriebene Wasser-Dampf-Kreislauf ist

stark vereinfacht dargestellt. Ebenso könnte dieser in der Anzahl der Druckstufen, Vorwärmstufen, und der Verdampferbauarten anders aufgebaut sein, ohne das Wesen der Erfindung zu berühren. Der Nieder-/Mitteldruckverdampfer könnte insbesondere als Zwangsdurchlaufverdampfer und -überhitzer ausgeführt sein. Der Kessel könnte auch mit einer Hochdrucktrommel ausgeführt sein. Eine Vielzahl weiterer Variationen sind dem Fachmann geläufig. Im Normalbetrieb der Anlage sind der Generatorschalter **S1** und der Netzschalter **S2** geschlossen, die Schalter **S3** bis **S6** sind geöffnet. Über den Netzschalter **S2** ist die Kraftwerksanlage mit dem Stromnetz **50** verbunden. Dies ist im allgemeinen ein grosser Netzverbund, an dem eine Vielzahl weiterer Kraftwerke und eine Vielzahl Verbraucher **V1**, **V2**, **V3**, ... angeschlossen sind, welche über Schalter **SV1**, **SV2**, **SV3**, ... zu- und abgeschaltet werden. Im Ausführungsbeispiel ist angedeutet, dass das Kraftwerk über den Netzschalter **S2** auf eine Hochspannungsschiene **51** aufgeschaltet ist, und eine Anzahl Verbraucher über Schalter auf diese Schiene aufschaltbar sind. Im Übrigen ist die elektrische Verschaltung sehr schematisch dargestellt; Transformatoren, Schutzschalter, und weitere für das unmittelbare Verständnis der Erfindung nicht notwendige Elemente sind weggelassen. Ein leistungsstarkes Stromnetz ist im allgemeinen sehr insensitive auf schwankende Leistungsanforderungen, und Kraftwerksanlagen, die unter Last laufen, verfügen von Haus aus über entsprechende Reserven für Frequenzstützung.

[0021] Bei einem normalen Start der Kraftwerksanlage sind zunächst die Schalter **S1**, **S2**, **S5** und **S6** geöffnet. Der Schalter **S4** wird geschlossen, und eine Anfahrvorrichtung **10**, beispielsweise ein statischer Frequenzumrichter, wird auf die Hochspannungsschiene **51** aufgeschaltet. Über den Schalter **S3** wird die Anfahrvorrichtung **10** mit dem Generator **3** verbunden, der nunmehr motorisch betrieben wird, und die Gasturbine zunächst auf Zünd-drehzahl hochschleppt, und bis auf eine gewisse Drehzahl zur Unterstützung der Wellenbeschleunigung im Betrieb bleibt. Spätestens auf Nenndrehzahl der Gasturbine werden die Schalter **S3** und **S4** geöffnet, und die Gasturbine läuft im Leerlauf. Der Schalter **S1** wird geschlossen, und über die Eigenversorgungsschiene **52** kann das Kraftwerk vom Generator versorgt werden, und die Anlage kann nun im Inselbetrieb, ohne externe Stromversorgung, laufen. Hier ist beispielsweise dargestellt, dass die Speisepumpen **7** und **8** an die Eigenversorgungsschiene **52** angeschlossen sind. In einem nächsten Schritt wird die Kraftwerksanlage mit dem Netz synchronisiert, und der Netzschalter **S2** geschlossen. Die Leistung der Gasturbine wird zumindest in einem unteren Lastbereich gemäss einem vorgegebenen Lastprogramm gesteuert erhöht. Die Dampfturbine **2** wird angefahren; sobald sie auf Nenndrehzahl ist, wird sie über die selbsttätig wirkende Kupplung **4** auf den Generator aufgeschal-

tet. Das Dampfregelventil **9** erhöht die Dampfmenge langsam gemäss einem vorgegebenen Belastungsprogramm der Dampfturbine und/oder in Abhängigkeit gemessener Materialtemperaturen, um die mechanische Belastung der Dampfturbine durch thermische Spannungen zu begrenzen. Auf diese Weise wird die Kombianlage unabhängig von der Netzbelastung auf eine vorgegebene Zielleistung gefahren; die Frequenzstützung des Netzes **50** wird von anderen auf das Netz aufgeschalteten Anlagen übernommen.

[0022] Der Fall stellt sich grundsätzlich anders dar, wenn das Netz **50** energielos ist. In diesem Falle ist die Schwarzstartfähigkeit einer auf das Netz **50** aufschaltbaren Anlage gefordert. Hierzu ist das beispielhaft dargestellte Kombikraftwerk mit einem Schwarzstartdiesel **11** ausgestattet. Die Schalter S1 bis S6 sind geöffnet. Der Schwarzstartdiesel **11** wird mit einem Anlassermotor **12** gestartet, der von einer Batterie **13** versorgt wird. Der Schwarzstartdiesel **11** treibt einen Hilfsgenerator **14** an. Der Schalter S5 wird geschlossen, und die Anfahvorrichtung **10** wird vom Hilfsgenerator **14** versorgt. Wie oben beschrieben, wird der Schalter S3 geschlossen, und die Gasturbine **1** auf Nenndrehzahl gebracht. Darauf werden die Schalter S3 und S5 geöffnet. Vor dem Anfahren der Gasturbine wird mittels des Schalters S6 der Hilfsgenerator **14** mit der Eigenversorgungsschiene **52** verbunden. Dies ermöglicht es, den Kessel in Startbereitschaft zu bringen. Dazu können die Speisepumpen **7** und **8** in Betrieb genommen werden. Sobald als möglich wird auch der Kondensator **6** evakuiert. Nachdem die Gasturbine ohne Last auf Nenndrehzahl ist, verbleibt der Schwarzstartdiesel **11** in einer bevorzugten Variante zunächst im Leerlauf, oder auf einer geringen Last, welche die notwendigen Kraftwerkskomponenten mit elektrischer Energie versorgt. Der Generatorschalter S1 wird geschlossen, und der von der Gasturbine **1** angetriebene Generator **3** liefert die Leistung zur Eigenversorgung des Kraftwerks. Das Kraftwerk läuft nunmehr unabhängig von einer externen oder Hilfs-Energieversorgung autark im Inselbetrieb. Sofern noch nicht geschehen, werden jetzt die Speisepumpen **7** und **8** in Betrieb genommen, und der Kondensator **6** wird evakuiert. Im Inselbetrieb wird der Abhitzeessel **5** soweit als möglich aufgeheizt, und die Dampfproduktion wird angefahren. Die Dampfregelventile **9** und **15** sind geschlossen, oder stark angedrosselt. Wenn ein hinreichender Dampfzustand erreicht ist, wird die Dampfturbine auf Nenndrehzahl gefahren. Danach wird der Schalter S2 geschlossen, und das Kraftwerk wird mit Minimalleistung auf die Hochspannungsschiene **51** des Netzes **50** aufgeschaltet, und speist Strom in das bis dahin energielose Netz **50** ein. Die meisten der Verbraucherschalter SV1, SV2, SV3, ... sind geöffnet; dabei können die Verbraucher auch ganze Netzsegmente sein. Die Leistung des Kraftwerkes wird langsam erhöht. In diesem Masse müssen selbstverständlich Verbraucher aufgeschal-

tet werden, so, dass die Leistungsanforderung des Netzes wenigstens näherungsweise der Generatorleistung entspricht; auf geringe Abweichungen antwortet das System mit Schwankungen der Netzfrequenz, auf die das Kraftwerk mit Leistungsänderungen reagieren muss, um die Netzfrequenz in einem tolerablen Intervall zu halten. Die der Reihe nach aufgeschalteten Verbraucher V1, V2, V3, ... sind nicht infinitesimal, und insbesondere in der Anfangsphase der Netzbelastung relativ zur Gesamtleistung durchaus signifikant. In einem ersten Moment dämpfen die rotierenden trägen Massen des Kraftwerkes die Lastschwankungen, bevor diese durch eine Variation der Nutzleistungsabgabe der Turbinen ausgeregelt werden können. Nach dem bisherigen Stand der Technik greift die Leitungsregelung der Gasturbine ein, um bei Lastsprüngen eine Frequenzstützung durchzuführen. Wie einleitend erwähnt, ist dies bei modernen Gasturbinen zumindest in einem unteren Lastbereich bis beispielsweise 40% oder 50% relativer Gasturbinenlast nicht immer möglich; auch könnte die Lastanforderung in einen unzulässigen Bereich der Gasturbinenleistung fallen. Unter relativer Gasturbinenlast oder Gasturbinenleistung versteht der Fachmann im Übrigen das Verhältnis von der aktuell abgegebenen Nutzleistung der Gasturbine zu deren aktuellen Maximalleistung, welche stark von Umgebungsbedingungen und Betriebsparametern der Gasturbine abhängt. Erfindungsgemäss befindet sich die Dampfturbine mit geringer Leistung oder im Leerlauf auf Nenndrehzahl. Die Ventile **9** und **15** sind stark angedrosselt. Im Abhitzedampferzeuger **5** ist Energie in Form von heissem, unter Druck befindlichem Wasser und Dampf gespeichert. In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Nieder-/Mitteldrucktrommel **505** überdimensioniert, und fungiert als Zusatzspeicher für Siedewasser. Dies könnte prinzipiell auch mit einer Hochdrucktrommel gemacht werden; in der Praxis bereitet ein entsprechend grosser Hochdruckspeicher jedoch grössere Probleme, insbesondere hinsichtlich der Festigkeit. Durch ein Öffnen des Regelventils **15** kann die in der Trommel in Form von Siedewasser gespeicherte Energie genutzt werden: Durch den Abfall des Gegendrucks verdampft dieses Wasser, und der entstehende Sattdampf wird im Überhitzer **503** überhitzt und der Mittel-/Niederdruckturbine zugeführt. Ebenso wird das Dampfregelventil **9** geöffnet, und die Leistungsabgabe der Hochdruck-Dampfturbine **201** steigt ebenfalls spontan an. Eine solche Verfahrensweise erzeugt zwar Thermoschocks und erhöht die Thermospannungen innerhalb der Dampfturbinenkomponenten, und verkürzt somit die Lebensdauer unter Umständen erheblich; dies kann aber durchaus toleriert werden, wenn das beschriebene Verfahren ein problemloses Anfahren eines energielosen Stromnetzes ohne die Gefahr von Notabschaltungen des Kraftwerkes aufgrund von Unter- oder Überfrequenz ermöglicht. Insofern ist es auch zu bevorzugen, wenn die Dampfturbine während des Anfahrens des Stromnetzes möglichst früh-

zeitig unter Last betrieben wird, damit die Leistungsregelung der Dampfturbine in beide Richtungen, also bei drohender Unterfrequenz wie auch drohender Überfrequenz, reagieren kann. Die Leistung der Gasturbine wird gesteuert gemäss eines vorgegebenen Belastungsprogramms erhöht. Die Gasturbine reagiert während des Anfahrens zumindest in einem unteren Lastbereich nicht auf Lastschwankungen. Die Frequenzstützung, also der Ausgleich transients Lastsprünge, wird auf beschriebene Weise von der Dampfturbine übernommen. Vorteilhaft ist es dabei, wenn das Belastungsprogramm der Gasturbine mehrere Haltepunkte beinhaltet, bei denen der Abhitzedampferzeuger als Energiespeicher weiter energetisch aufgeladen wird, was das kurzfristige Leistungspotenzial der Dampfturbine verbessert. In einer weiteren bevorzugten Verfahrensvariante wird der Schalter S6 geschlossen. Dann kann auch die Leistung des Schwarzstartdiesels zur Frequenzstützung herangezogen werden. Wenn die Gasturbinenleitung einen bestimmten Grenzwert erreicht hat – typisch sind Werte oberhalb rund 40% relative Leistung, bevorzugt grösser 50% relative Leistung – ist die Gasturbine in der Lage, auf kurzfristige Änderungen der Leistungsanforderung zu reagieren. In der Folge wird die Gasturbine nunmehr nicht mehr gesteuert belastet, sondern sie wird geregelt zur Frequenzstützung betrieben, und gegebenenfalls bis zu ihrer Maximalleistung weiterbelastet. Die Dampfturbine wird aus der Regelung herausgenommen, und langsam und unter Vermeidung von übermässigen Thermospannungen konventionell belastet. Die Lastverteilung zwischen Gasturbine und Dampfturbine erfolgt im Weiteren entsprechend einem spezifischen Anlagenbetriebskonzept. Weiterhin kann auch ein eventuell noch im Betrieb befindlicher Diesel abgestellt werden.

[0023] In einer vorteilhaften Verfahrensvariante kann vorgesehen werden, bei niedrigen Kesseltemperaturen Dampf aus dem Hochdruckteil **504** des Abhitzedampferzeugers dem Nieder-/Mitteldruckteil **202** der Dampfturbine zuzuführen, wozu besonders vorteilhaft der Druck, den die Hochdruckspeisepumpe **8** liefert, vorübergehend abgesenkt wird. Ein grosser Vorteil ist, dass die Dampfeuchte in der Dampfturbine bei niedriger Abgas- und damit Frischdampf-temperatur nicht zu stark ansteigt. Die hierzu notwendigen Dampfleitungen und Drossel- bzw. Absperrorgane sind in der Figur aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht eingezeichnet. Der Fachmann ist jedoch in Kenntnis der vorliegenden Beschreibung ohne Weiteres in der Lage, diese Variante der Erfindung in eine entsprechend aufgebaute Kombianlage umzusetzen.

[0024] Neben der speziellen Ausgestaltung im Ausführungsbeispiel ergeben sich für den Durchschnittsfachmann zwanglos eine ganze Reihe weiterer Anlagenbauformen, mit denen die Erfindung durchführbar ist; insbesondere stellt der dargestellte Was-

ser-Dampf-Kreislauf keine Einschränkung dar: Dem Fachmann ist eine Vielzahl von unterschiedlichen Ausführungsformen ohne Weiteres geläufig; hieraus ergeben sich im Rahmen des Erfindungsgedankens jeweils günstige Verfahrensvarianten, welche zwar nicht explizit beschrieben, die aber doch in der Erfindung, wie sie in den Ansprüchen gekennzeichnet ist, enthalten sind.

Bezugszeichenliste

1	Gasturbine
2	Dampfturbine
3	Generator
4	selbsttätig wirkende Kupplung
5	Abhitzedampferzeuger
6	Kondensator
7	Speisepumpe
8	Hochdruck-Speisepumpe
9	Dampfregelventil
10	Anfahrvorrichtung
11	Schwarzstartdiesel
12	Anlasser
13	Batterie
14	Hilfsgenerator
15	Dampfregelventil
50	Netz
51	Hochspannungsschiene
52	Eigenversorgungsschiene
201	Hochdruckgehäuse
202	Nieder-/Mitteldruckgehäuse
501	Speisewasservorwärmer
502	Nieder-/Mitteldruckverdampfer
504	Hochdruck-Verdampfer und -Überhitzer
505	Nieder-/Mitteldrucktrommel
S1	Generatorschalter
S2	Netzschalter
S3	Schalter
S4	Schalter
S5	Schalter
S6	Schalter
SV1	Verbraucherschalter
SV2	Verbraucherschalter
SV3	Verbraucherschalter
V1	Verbraucher
V2	Verbraucher
V3	Verbraucher

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines Kombikraftwerks beim Anfahren eines energielosen Stromnetzes (**50**), wobei vor dem Belasten des Netzes ein Wasser-Dampf-Kreislauf aufgeheizt und eine Dampfturbine (**2**) angefahren wird, und wobei eine Gasturbine (**1**) wenigstens in einem Teil ihres Lastbereiches gemäss eines vorgegebenen Belastungsprogrammes belastet wird, wobei transiente Lastanforderungen des Netzes durch Veränderungen der Dampfturbinenleistung erfüllt werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass

die Gasturbine (1) vor dem Umschalten auf das Netz für eine Zeitspanne im Leerlauf oder mit einer Leistung zur Eigenversorgung des Kombikraftwerks betrieben wird, und wobei während dieser Zeit der Wasser-Dampf-Kreislauf energetisch aufgeladen wird.

2. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, dadurch gekennzeichnet, dass im Leistungsprogramm der Gasturbine wenigstens ein Haltepunkt vorgesehen ist, bei dem der Wasser-Dampf-Kreislauf weiter energetisch aufgeladen wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein temporärer Dampf aus einem Hochdruckteil (504) eines Abhitzedampf-erzeugers (5) einem Nieder- und/oder Mitteldruckteil (202) der Dampfturbine (2) zugeleitet wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine Trommel (505) des Abhitzedampferzeugers (5) als Dampf-Energiespeicher genutzt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass neben der Dampfturbinenleistung die Leistung eines Schwarzstartdiesels (11) zur Erfüllung transienter Lastanforderungen des Netzes herangezogen wird.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

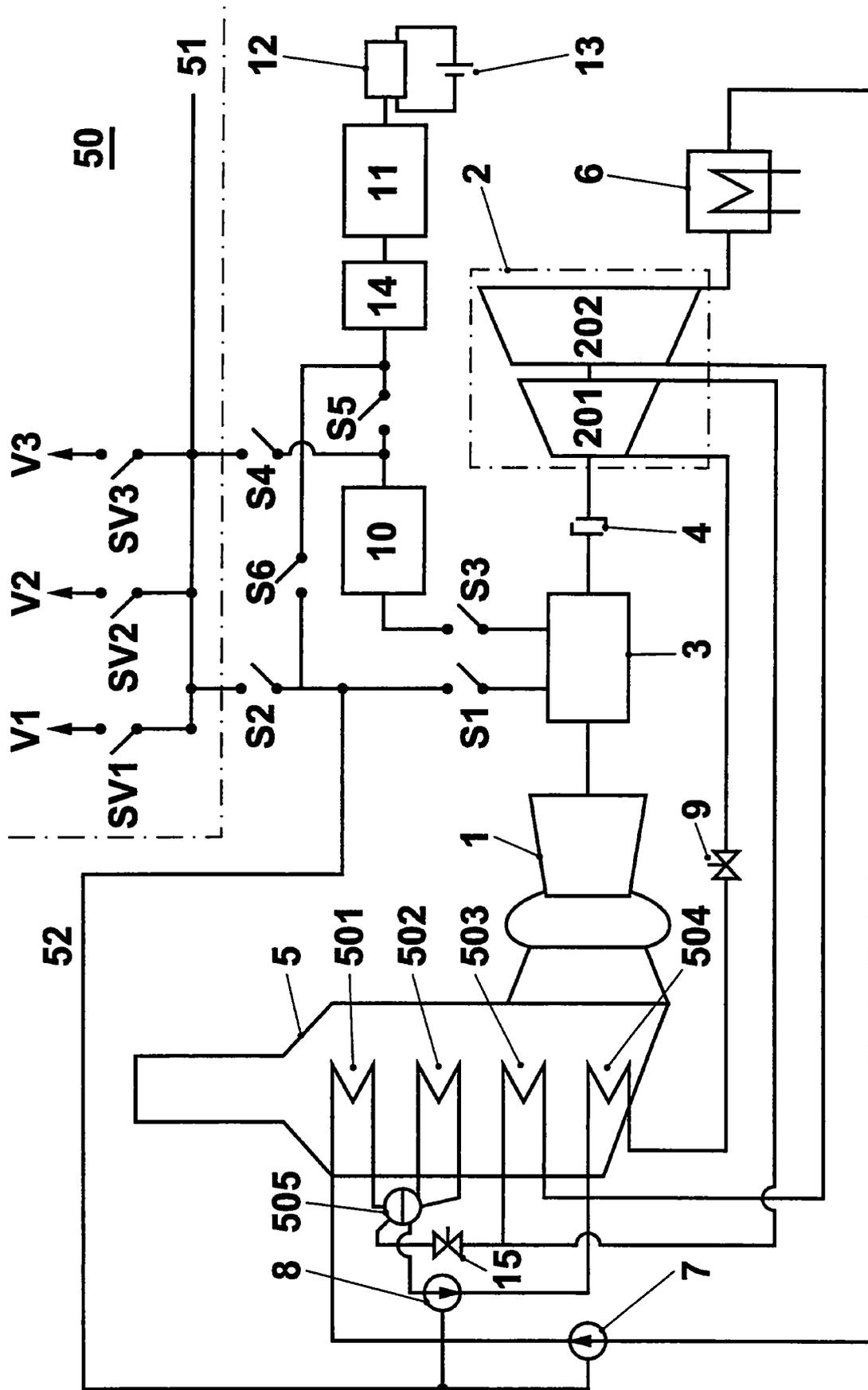


FIG. 1