

Beschreibung

Vorrichtung sowie eine solche umfassendes Antriebssystem,
insbesondere für Schiffe

5

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung umfassend eine von
einem Motorbetrieb in einen Generatorbetrieb und umgekehrt
umschaltbare Elektromotor-/Generatoreinheit mit einem Stator
und einem Rotor, welcher eine Rotordrehachse aufweist, sowie
10 eine konzentrisch zur Rotordrehachse angeordnete und mit dem
Rotor verbundene Antriebswelle. Die Erfindung betrifft wei-
terhin ein Antriebssystem umfassend mindestens eine solche
Vorrichtung und dessen Betrieb sowie ein mit einem solchen
Antriebssystem ausgestattetes Schiff.

15

Verbrennungsmotoren, insbesondere Dieselmotoren, benötigen
zur Verbrennung des eingesetzten Brennstoffs große Mengen an
Luft. Eine möglichst große Menge an Luft bzw. ein Luftüber-
schuss bei der Verbrennung verbessert das Verbrennungsverhal-
20 ten und erhöht damit auch die Leistungsfähigkeit des Verbren-
nungsmotors. Eine möglichst vollständige Verbrennung wird nur
bei einem ausreichenden Luftüberschuss erreicht. Gleichzeitig
ist es vorteilhaft, Luft mit möglichst geringer Temperatur
zuzuführen, um bei gegebenem Druck eine möglichst hohe Masse
25 an Luft zur Verfügung zu stellen. Bei einer Kompression von
Luft steigt deren Temperatur an, wodurch eine geringere Masse
an Sauerstoff in den Verbrennungsraum des Verbrennungsmotors
gelangt. Wird bei dem Kompressionsvorgang ein Abgasturbola-
der, der durch den heißen Abgasstrom des Verbrennungsmotors
30 betrieben wird, eingesetzt, so kann dessen Erwärmung sich zu-
sätzlich erwärmend über die Kompressionseinheit für die Luft
auswirken und zu einer weiteren Erwärmung der zu komprimie-
renden Luft führen.

35 In der GB 2477548 A ist als Stand der Technik eine Gasturbi-
nenmaschine beschrieben, bei der dieser Effekt auftritt. Hier
treibt ein Abgasstrom aus einer Verbrennungskammer einen Tur-
bolader bzw. dessen Turbinenrad an. Das Turbinenrad ist an

einem Ende einer Antriebswelle montiert. Am anderen Ende der Antriebswelle ist ein Verdichterrad eines Verdichters montiert, das sich mit der Antriebswelle mit dreht und zur Verdichtung von Luft verwendet wird. Die verdichtete Luft wird
5 der Verbrennungskammer zur verbesserten Verbrennung des eingesetzten Brennstoffs zugeführt.

Weiterhin beschreibt die GB 2477548 A eine Gasturbinenmaschine, bei der die Antriebswelle für das Turbinenrad und bestandet davon eine weitere Antriebswelle für das Verdichterrad vorhanden sind und diese Antriebswellen damit thermisch
10 voneinander entkoppelt sind. Die von dem Turbinenrad angetriebene Antriebswelle ist mit einem Generator verbunden, während die das Verdichterrad antreibende weitere Antriebs-
15 welle mit einem Elektromotor verbunden ist, der durch den Generator mit Energie versorgt wird.

Nachdem bei der Verbrennung von Brennstoff ca. 3 bis 5 Mal mehr Abgasvolumen entsteht, als Luft zur Verbrennung zugeführt wurde (Volumenverhältnis bei Normatmosphäre), und das
20 Abgas zudem erhitzt ist, stellt die Turbine in der Regel mehr Energie zur Verfügung, als zur reinen Kompression der Luft benötigt wird.

Gemäß der GB 2477548 A wird diese überschüssige Energie in einer Batterie gespeichert und kann beim Anlaufen des Verbrennungsprozesses zum Antrieb des Elektromotors und zur Erzeugung verdichtete Luft eingesetzt werden, ohne dass die
25 Turbine bereits arbeitet.

Auch bei transienten Vorgängen, wie dem schnellen Umschalten von Lastanforderungen auf einen Verbrennungsmotor, ist es von Vorteil, bereits im Vorfeld mehr Verdichtungsleistung zur Verfügung zu stellen. Gemäß der GB 2477548 A kann die gespeicherte Energie eingesetzt werden, um das Verdichterrad unab-
35 hängig vom aktuellen Turbinenbetrieb weiter zu beschleunigen und auf Lastwechsel damit schnell zu reagieren.

Allerdings ist der apparative Aufwand zur Bereitstellung einer entkoppelten Vorrichtung gemäß der GB 2477548 A relativ groß, wie auch der erforderliche Platzbedarf und die damit verbundene Fehlerquote bzw. Ausfallquote der Vorrichtung.

5

Aus der DE 195 18 317 C2 ist eine Vorrichtung zum Betrieb eines elektrisch unterstützten Turboladers für eine Verbrennungsmaschine bekannt, wobei der Turbolader eine Abgasturbine und einen Verdichter aufweist, die über eine Antriebswelle miteinander gekoppelt sind, auf der ein erstes Motor-Generator-Aggregat direkt angeordnet ist, wobei weiter ein auf die Verbrennungsmaschine wirkendes zweites Motor-Generator-Aggregat vorhanden ist und die Statorwicklungen des ersten Motor-Generator-Aggregats und des zweiten Motor-Generator-Aggregats miteinander verbunden sind, wobei das erste Motor-Generator-Aggregat eine vielsträngige, mehrpolige Asynchronmaschine und das zweite Motor-Generator-Aggregat eine fremderregte Synchronmaschine ist, deren Erregerfeld im Stator hinsichtlich seiner Frequenz und Umlaufrichtung gesteuert wird.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, eine auf Lastwechsel schnell ansprechende Vorrichtung umfassend einen Verdichter und eine Turbine bereitzustellen, die diese Nachteile des Standes der Technik überwindet. Weiterhin ist es Aufgabe der Erfindung, ein Antriebssystem, umfassend mindestens eine solche Vorrichtung, und dessen Einsatz anzugeben.

Die Aufgabe wird für die Vorrichtung gelöst, indem diese umfasst:

- eine von einem Motorbetrieb in einen Generatorbetrieb und umgekehrt umschaltbare Elektromotor-/Generatoreinheit mit einem Stator und einem Rotor, welcher eine Rotordrehachse aufweist, sowie eine konzentrisch zur Rotordrehachse angeordnete und mit dem Rotor verbundene Antriebswelle,
- einen Verdichter mit einem rotierbaren Verdichterrad zur Verdichtung von Luft, wobei das Verdichterrad auf der kon-

zentrisch zur Rotorachse angeordneten Antriebswelle auf einer Seite des Rotors montiert ist, und
- eine Turbine, welche ein von einem Abgasstrom antreibbares Turbinenrad umfasst, das auf der konzentrisch zur Rotorachse angeordneten Antriebswelle auf einer dem Verdichterrad gegenüberliegenden Seite des Rotors montiert ist, wobei der Verdichter und die Turbine durch mindestens eine Entkopplungsanordnung voneinander entkoppelt angeordnet sind, wobei mindestens zwei Entkopplungsanordnungen vorhanden sind, wobei eine erste Entkopplungsanordnung der Entkopplungsanordnungen zwischen dem Verdichter und der Elektromotor-/Generatoreinheit angeordnet ist und eine zweite Entkopplungsanordnung zwischen der Turbine und der Elektromotor-/Generatoreinheit angeordnet ist.

Elektromotor und Generator sind bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer Elektromotor-/Generatoreinheit baulich zusammengefasst, die entweder im Generatorbetrieb oder im Motorbetrieb betreibbar ist und wobei der Wechsel zwischen den Betriebsarten schnell und unkompliziert möglich ist. Die Elektromotor-/Generatoreinheit bildet dabei eine bauliche Abgrenzung zwischen der Turbine und dem Verdichter. So sind diese zwar über die durchgehende Antriebswelle direkt platz- und ressourcensparend miteinander verbunden, jedoch wirkt hinsichtlich der Wärmeleitung über die Antriebswelle die Elektromotor-/Generatoreinheit als Wärmeisolator zwischen der heißen Turbine und dem möglichst bei niedriger Temperatur zu betreibenden Verdichter. Dadurch sind Turbine und Verdichter weitgehend thermisch entkoppelt betreibbar.

Die mindestens eine Entkopplungsanordnung bewirkt eine Trennung der Funktionsräume von Turbine und Verdichter. Es wird dadurch insbesondere eine Wärmeisolation von Turbine zu Verdichter erreicht und bei Bedarf auch eine gasdichte Abtrennung zwischen Turbine und Verdichter vorgesehen. Dank der zweiten Entkopplungsanordnung, welche zwischen der Turbine und der Elektromotor-/Generatoreinheit angeordnet ist, und der ersten Entkopplungsanordnung, welche zwischen dem Ver-

dichter und der Elektromotor -/Generatoreinheit angeordnet ist, kann zuverlässig eine Überhitzung der Elektromotor-/Generatoreinheit vermieden werden.

5 Dadurch, dass mindestens zwei Entkopplungsanordnungen vorhanden sind, ist insbesondere die Wärmeisolation zwischen Turbine und Verdichter noch verbessert. Vorzugsweise ist die Entkopplung dabei als thermische Entkopplung zu verstehen, wobei
10 mittels der jeweiligen Entkopplungsanordnung insbesondere eine thermische Entkopplung erzielbar ist. Beispielsweise ist die jeweilige Entkopplungsanordnung dazu ausgelegt, mit einem Kühlmedium, vorzugsweise Wasser oder Öl, gekühlt zu werden, wobei das Kühlmedium der jeweiligen Entkopplungsanordnung
15 beispielsweise über Anschlüsse zur Medienzufuhr bzw. Medienabfuhr zu- bzw. abführbar ist.

Insbesondere ist die Elektromotor-/Generatoreinheit elektrisch mit einem Umrichter verbunden und der Umrichter elektrisch mit einem Transformator verbunden. Dies ermöglicht eine
20 Einspeisung generierter elektrischer Energie in ein Netz, wie bevorzugt ein Schiffsnetz.

In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist mindestens eine Kühleinheit zur Kühlung der Elektro-
25 Motor-/Generatoreinheit vorhanden. Dadurch wird die thermische Trennung von Turbine und Verdichter in idealer Weise vollzogen und die Temperatur der erzeugten komprimierten Luft unter Ausnutzung des Eingangs genannten Vorteils möglichst
30 niedrig gehalten.

Bevorzugt handelt es sich bei der Elektromotor-/Generator-Einheit um eine auf Hochtemperatursupraleitung basierende Maschine, wobei die mindestens eine Kühleinheit zur Kühlung der Maschine vorgesehen ist. Eine auf Hochtemperatursupraleitung
35 basierende Maschine arbeitet elektrisch hocheffizient und zeichnet sich üblicherweise durch eine Elektromotor-/Generatoreinheit mit sehr massearmem Rotor aus, der zudem geringe räumliche Abmessungen besitzt. Der Einsatz eines derartigen

Rotors in einer erfindungsgemäßen Vorrichtung ist hinsichtlich der durch diese bereitgestellte Schwungmasse ideal, da besonders schnell auf Lastwechsel reagiert werden kann.

5 Die Aufgabe der Erfindung betreffend ein Antriebssystem wird gelöst, indem das Antriebssystem umfasst:

- mindestens eine erfindungsgemäße Vorrichtung,
- mindestens ein Verbrennungssystem zur Verbrennung eines Brennstoffstroms und eines verdichteten Luftstroms unter Erzeugung eines Abgasstroms zur Einspeisung in die Turbine(n) der mindestens einen erfindungsgemäßen Vorrichtung und zum Antrieb des jeweiligen Verdichterrads,
- eine Luftzuführeinrichtung zur Zuführung unverdichteter Luft zum Verdichter der mindestens einen erfindungsgemäßen Vorrichtung, und
- eine Speiseeinrichtung zur Überführung eines mittels des Verdichterrads aus der unverdichteten Luft gebildeten verdichteten Luftstroms zum mindestens einen Verbrennungssystem.

20

Ein solches Antriebssystem weist eine kompakte Bauweise sowie eine weitgehende thermische Trennung zwischen Turbine und Verdichter auf. Es eignet sich zum Einsatz im Zusammenhang mit unterschiedlichsten Verbrennungssystemen. Insbesondere kann besonders schnell auf Lastauf- und -abschaltungen des Verbrennungssystems reagiert werden, wobei hier von Reaktionszeiten im Bereich von weniger als 1 ms die Rede ist. Bei Problemen mit dem Turbinenbetrieb kann zudem über eine gezielte Beschleunigung des Verdichterrads gegengesteuert werden, so dass eine Ausfallswahrscheinlichkeit des Verdichters verringert und damit eine Beeinträchtigung in der Versorgung des Verbrennungssystems mit verdichteter Luft weitgehend ausgeschlossen wird.

35 Bei dem Verbrennungssystem handelt es sich insbesondere um einen Verbrennungsmotor, bevorzugt um einen Dieselmotor. Im unteren Drehzahlbereich des Motors kann bereits verdichtete Luft bereitgestellt werden und damit das Emissionsverhalten

verbessert werden. Dabei bildet das Verbrennungssystem insbesondere einen Teil einer Haupt- oder Hilfsmaschine.

Besonders bevorzugt ist eine Verwendung des erfindungsgemäßen Antriebssystems für Schiffe. Insbesondere erfolgt eine Integration des Antriebssystems in ein gemäß der DE 10 2006 020 144 A1 bereits bekanntes Schiffsantriebssystem.

10 So wird erfindungsgemäß auch ein Schiff umfassend ein erfindungsgemäßes Antriebssystem sowie ein elektrisches Schiffsnetz bereitgestellt, wobei die Elektromotor-/Generatoreinheit der mindestens einen erfindungsgemäßen Vorrichtung mit dem Schiffsnetz derart verbunden ist, dass im Generatorbetrieb
15 eine Einspeisung von Energie ins Schiffsnetz erfolgt und im Motorbetrieb eine Entnahme von Energie aus dem Schiffnetz erfolgt.

Ein Verfahren zum Betreiben des erfindungsgemäßen Antriebssystems umfasst die folgenden Schritte:
20 Erzeugen eines Abgasstroms mittels des Verbrennungssystems, indem ein Brennstoffstrom und ein verdichteter Luftstrom miteinander verbrannt werden;
Betreiben der Elektromotor-/Generatoreinheit der mindestens
25 einen Vorrichtung im Generatorbetrieb unter Erzeugung elektrischer Energie, wobei die Turbine mit einem Abgasstrom gespeist und das Turbinenrad und damit gleichzeitig das Verdichterrad unter Bildung des verdichteten Luftstroms angetrieben wird;
30 Einspeisen einer mittels der Elektromotor-/Generatoreinheit erzeugten elektrischen Energie in ein elektrisches Netz, insbesondere ein Schiffsnetz.

Im Falle einer spontanen Lastanforderung an das
35 Verdichtersystem zur dynamischen Verbesserung des Verbrennungssystems erfolgt bevorzugt eine Umschaltung von dem Generatorbetrieb in einen Motorbetrieb, wobei der Elektromotor-/Generatoreinheit elektrische Energie aus dem elektrischen

Netz zugeführt wird, wobei die Antriebswelle beschleunigt wird, und wobei eine erhöhte Menge an verdichteter Luft gebildet wird.

- 5 Die Umschaltung der Elektromotor-/Generatoreinheit von einem Generatorbetrieb auf einen Motorbetrieb und umgekehrt kann sehr kurzfristig erfolgen, so dass auf Lastwechsel besonders schnell und unkompliziert reagiert werden kann.
- 10 Die Figuren 1 bis 6 sollen eine erfindungsgemäße Vorrichtung, ein damit ausgestattetes Antriebssystem und die Integration eines solchen Antriebssystems in ein bekanntes Schiffsantriebssystem beispielhaft erläutern. So zeigt:
- 15 FIG 1 eine Vorrichtung umfassend Turbine und Verdichter,
FIG 2 einen Betrieb der Vorrichtung gemäß FIG 1,
FIG 3 ein Antriebssystem umfassend eine Vorrichtung gemäß FIG 1,
FIG 4 ein erstes schematisiertes Schiffsantriebssystem
20 umfassend ein Antriebssystem gemäß FIG 3,
FIG 5 ein zweites schematisiertes Schiffsantriebssystem umfassend ein Antriebssystem gemäß FIG 3, und
FIG 6 ein drittes schematisiertes Schiffsantriebssystem umfassend ein Antriebssystem gemäß FIG 3.

25

- FIG 1 zeigt eine Vorrichtung 100 umfassend einen Verdichter 400, eine Elektromotor-/Generatoreinheit 200 und eine Turbine 500. Die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 umfasst einen Stator 200a und einem Rotor 200b, welcher eine Rotordrehachse 200c aufweist, sowie eine konzentrisch zur Rotordrehachse 200c angeordnete und mit dem Rotor 200b verbundene Antriebswelle 300. Der Verdichter 400 umfasst ein rotierbares Verdichterrad 400a zur Verdichtung von Luft, wobei das Verdichterrad 400a auf der konzentrisch zur Rotorachse 200c angeordneten Antriebswelle 300 auf einer Seite des Rotors 200b montiert ist. Die Turbine 500, umfasst ein von einem Abgasstrom antreibbares Turbinenrad 500a, das auf der konzentrisch zur Rotorachse 200c angeordneten Antriebswelle 300 auf
- 30
- 35

einer dem Verdichterrad 400a gegenüberliegenden Seite des Rotors 200b montiert ist. Der Verdichter 400 und die Turbine 500 sind hier durch zwei Entkopplungsanordnungen 600a, 600b voneinander und damit auch von der Elektromotor-

5 /Generatoreinheit 200 getrennt angeordnet. Zur Vereinfachung der Darstellung sind hier weder elektrische Anschlüsse der Elektromotor-/Generatoreinheit 200 noch sonstige Medienzu- oder -abführungen dargestellt.

10 FIG 2 zeigt einen Betrieb der Vorrichtung gemäß FIG 1. Gleiche Bezugszeichen kennzeichnen dabei gleiche Elemente. Die Turbine 500 wird mit einem heißen Abgasstrom 510 gespeist, welcher das hier nicht im Detail gezeigte Turbinenrad 500a (vergleiche FIG 1) und damit auch die Antriebswelle 300 an-
15 treibt. Gleichzeitig mit der Antriebswelle 300 setzt sich auch das Verdichterrad 400a (vergleiche FIG 1) in Bewegung und es wird aus der dem Verdichter 400 zugeführten unverdichteten Luft 410 ein verdichteter Luftstrom 410' erzeugt. Aufgrund der Rotation der Antriebswelle 300 wird auch der Ro-
20 tor 200b rotiert und eine Spannung U im Stator 200a induziert, die über Klemmen 200d abgreifbar ist.

Über eine hier weiterhin vorgesehene Kühleinheit 130 wird die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 bzw. deren Gehäuse mit
25 Kühlmittel 130a versorgt und gekühlt. Das erwärmte Kühlmittel 130b wird aus der Elektromotor-/Generatoreinheit 200 abgeführt und die aufgenommene Wärme wieder abgeführt, beispielsweise über einen hier nicht im Detail dargestellten Wärmetauscher. Das wieder abgekühlte Kühlmittel 130a wird in einem
30 Kreisprozess wieder der Elektromotor-/Generatoreinheit 200 zur Kühlung zugeführt.

FIG 3 zeigt ein Antriebssystem 110 umfassend eine Vorrichtung 100 gemäß den Figuren 1 und 2. Gleiche Bezugszeichen kenn-
35 zeichnen dabei gleiche Elemente. Das Antriebssystem 110 weist eine Hauptmaschine 2 auf, die ein Verbrennungssystem 800 umfasst. Das Verbrennungssystem 800, insbesondere ein Dieselmotor, wird mit einem Brennstoffstrom 900, insbesondere aus

Dieselmotorkraftstoff, und einem verdichteten Luftstrom 410' versorgt, den der Verdichter 400 bereitstellt und der über eine lediglich schematisch dargestellt Speiseeinrichtung 412 dem Verbrennungssystem 800 zugeführt wird. Im Verbrennungssystem 5 800 erfolgt die Verbrennung von Brennstoff und Sauerstoff aus der verdichteten Luft, wobei ein heißer Abgasstrom 510 gebildet wird. Der heiße Abgasstrom 510 treibt das Turbinenrad 500a der Turbine 500 an und entweicht aus der Turbine 500 als Abgasstrom 510' mit im Vergleich zum heißen Abgasstrom 510 10 verringertem Energiegehalt. Unverdichtete Luft 410 wird dem Verdichter über eine lediglich schematisch dargestellt Luftzuführeinrichtung 411 zugeführt.

FIG 4 zeigt ein Einsatzbeispiel für ein erfindungsgemäßes Antriebssystem in Form eines stark schematisierten ersten 15 Schiffsantriebssystems 1 mit Abwärmerückgewinnung, z.B. für ein großes Containerschiff. Auf Basis eines in der DE 10 2006 020 144 A1 offenbarten Schiffsantriebssystems wird ein Antriebssystem 100 gemäß FIG 3 integriert. Gleiche Bezugszeichen wie in den Figuren 1 bis 3 kennzeichnen gleiche 20 Elemente.

Das Antriebssystem des ersten Schiffsantriebssystems 1 weist eine als langsam laufenden Zweitaktdieselmotor ausgebildete 25 Hauptmaschine 2 auf, die über eine Propellerwelle 3 mit einem Schiffspropeller 4 zum Antrieb des Schiffes verbunden ist.

Ein elektrisches Schiffsnetz 5 dient zur Energieversorgung elektrischer Geräte und Systeme an Bord des Schiffes. Hierbei 30 ist zu unterscheiden zwischen kritischen Verbrauchern 6, deren Abschaltung zu einem Blackout an Bord des Schiffes führt, und unkritischen Verbrauchern 7 (z.B. Hotellast), die nicht zu einem Blackout führen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist in FIG 4 jeweils nur ein einziger kritischer Verbraucher 35 6 und ein einziger unkritischer Verbraucher 7 dargestellt. In der Praxis werden jeweils eine größere Anzahl derartiger Verbraucher 6, 7 aus dem Schiffsnetz 5 mit Strom versorgt.

Zur Energieerzeugung für das Schiffsnetz 5 sind mehrere Generatoren 8 vorgesehen, die jeweils von einer schneller als die Hauptmaschine 2 laufenden Hilfsmaschine 9 angetrieben werden. Bei den Hilfsmaschinen 9 handelt es sich üblicherweise um
5 schnell laufende Viertakt-Dieselmotoren mit einer Leistung von beispielsweise bis zu 5 MW. Üblicherweise sind jeweils ein Generator 8 und ein Dieselmotor 9 zu einem Dieselgeneratoraggregat 10 zusammengefasst.

10 Der Turbine 500 einer Vorrichtung 100 wird der heiße Abgasstrom 510, der aus dem hier nicht im Detail dargestellten Verbrennungssystem der Hauptmaschine 2 strömt, zugeführt. Der vom Verdichter 400 daraufhin bereitgestellte verdichtete Luftstrom 410' wird dem Verbrennungssystem der Hauptmaschine
15 2 zugeführt und dort zusammen mit dem Brennstoffstrom 900 zu dem heißen Abgas 510 verbrannt.

Die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 ist elektrisch über einen Umrichter 51' und einen Transformator 35' mit dem
20 Schiffsnetz 5 verbunden. Der Umrichter 51' ist als Gleichspannungs-Zwischenkreisumrichter ausgebildet und besteht aus einem motorseitigen Stromrichter 13' und einem netzseitigen Stromrichter 14'.

25 Während der Umschaltung von Motor- zu Generatorbetrieb speist ein Zwischenkreiskondensator 52' elektrische Energie in das Schiffsnetz 5 ein, derart, dass die Spannung und die Frequenz des Schiffsnetzes 5 jeweils vorgegebene Grenzwerte nicht unterschreiten. Die Zeit für die Umschaltung von Motorbetrieb
30 in Generatorbetrieb und die Dimensionierung des Zwischenkreiskondensators 52' hinsichtlich der in der Zeit der Umschaltung in das Schiffsnetz 5 einspeisbaren Energie sind hierzu aufeinander abgestimmt.

35 Der Erregerstrom I_E' für die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 wird ebenfalls aus dem Schiffsnetz 5 bezogen und über einen Erregerstromrichter 15' gesteuert und geregelt. Die Steuerung und Regelung der Elektromotor-/Generatoreinheit 200

über den Umrichter 51' und den Erregerstromrichter 15' erfolgt durch das Steuer- und Regelsystem 16', welches vorzugsweise in Digitaltechnik ausgeführt ist. Der Stromrichter 13', der weitere Stromrichter 14' und der Erregerstromrichter 15' sind hierbei ebenfalls durch das Steuer- und Regelsystem 16' unabhängig voneinander steuerbar und regelbar.

Die Kühleinheit 130 für die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 wurde hier zur besseren Übersicht nicht dargestellt.

Zusätzlich wandelt ein Abwärmerückgewinnungssystem 20 restliche Wärme der Hauptmaschine 2, die über den energieärmeren, aus der Turbine 500 entweichenden Abgasstrom 510' bereitgestellt wird, in elektrische Energie für das Schiffsnetz 5 um. Hierzu wird Wärme aus dem energieärmeren Abgasstrom 510' über einen Wärmetauscher 21 an einen nicht näher dargestellten Dampfkreislauf übertragen, in den eine Dampfturbine 22 geschaltet ist, die mit einem Turbogenerator 23 gekoppelt ist. Die von dem Turbogenerator 23 erzeugte elektrische Energie wird in das Schiffsnetz 5 eingespeist.

Ein softwaregesteuertes Power Management System 30 sorgt für die bedarfsgerechte Bereitstellung der elektrischen Energie für die verschiedenen Verbraucher 6, 7 und schaltet je nach Anforderung und zur Verfügung stehender Leistung über Schalter 31, 32, 32', 33, 33' einzelne Verbraucher 6, 7, Dieselgeneratorsätze 10, den Turbogenerator 23 bzw. die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 dem Schiffsnetz 5 zu oder ab. Das Power Management System 30 ist hierzu über Steuerleitungen 34, 34' oder andere Verbindungen mit den Schaltern 31, 32, 32', 33', den Dieselgeneratoraggregaten 10, dem Steuer- und Regelsystem 16' sowie einem nicht näher dargestellten Steuer- und Regelsystem des Abwärmerückgewinnungssystems 20 verbunden. Weiterhin ist eine Kommunikationsverbindung 17 zwischen einem nicht näher dargestellten Steuer- und Regelsystem der Hauptmaschine 2 und dem Steuer- und Regelsystem 16' vorhanden, um schnelle Lastwechsel, beispielsweise bei einem Austau-

chen des Propellers 4 aus dem Wasser, möglichst schnell und effizient an das Steuer- und Regelsystem 16' zu melden.

- Vorrangiges Ziel beim Betrieb des Schiffsantriebssystems 1 ist es, die gesamte von der Vorrichtung 100 und vom Abwärmehückgewinnungssystem 20 zur Verfügung stehende elektrische Energie in das Schiffsnetz 5 einzuspeisen. Sobald die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 und/oder der Turbogenerator 23 Energie in das Schiffsnetz einspeist, werden durch das Power Management System 30 die Dieselgeneratorsätze 10 entlastet und, falls möglich, sogar abgeschaltet. Durch diese Maßnahmen können die Brennstoff- und Betriebskosten sowie die Emissionen der Dieselgeneratorsätze 10 deutlich verringert werden.
- Vorteilhaft wird die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 sowohl im Motorbetrieb als auch im Generatorbetrieb drehmomentgeregelt und somit proportional zur aufgenommenen oder abgegeben elektrischen Leistung geregelt.
- Bei hohen Lastanforderungen an die Hauptmaschine wird die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 im Motorbetrieb betrieben und elektrische Energie aus dem Schiffsnetz 5 eingespeist, um die Antriebswelle 300 (vergleiche FIG 1) weiter zu beschleunigen und dadurch die kurzfristig benötigte große Menge an verdichteter Luft möglichst schnell bereitzustellen.

FIG 5 zeigt ein weiteres Einsatzbeispiel für ein erfindungsgemäßes Antriebssystem in Form eines stark schematisierten zweiten Schiffsantriebssystems 1' mit Abwärmerückgewinnung, z.B. für ein großes Containerschiff. Auf Basis eines in DE 10 2006 020 144 A1 offenbarten Schiffsantriebssystems wird ein Antriebssystem 100 gemäß FIG 3 integriert. Gleiche Bezugszeichen wie in den Figuren 1 bis 4 kennzeichnen gleiche Elemente.

35

Das Antriebssystem des Schiffsantriebssystems 1' weist eine als langsam laufenden Zweitaktdieselmotor ausgebildete Haupt-

maschine 2 auf, die über eine Propellerwelle 3 mit einem Schiffspropeller 4 zum Antrieb des Schiffes verbunden ist.

Ein elektrisches Schiffsnetz 5 dient auch hier wieder zur
5 Energieversorgung elektrischer Geräte und Systeme an Bord des Schiffes. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen kritischen Verbrauchern 6, deren Abschaltung zu einem Blackout an Bord des Schiffes führt, und unkritischer Verbraucher 7 (z.B. Hotellast), die nicht zu einem Blackout führen. Aus Gründen der
10 Übersichtlichkeit ist in FIG 5 jeweils nur ein einziger kritischer Verbraucher 6 und ein einziger unkritischer Verbraucher 7 dargestellt. In der Praxis werden jeweils eine größere Anzahl derartiger Verbraucher 6, 7 aus dem Schiffsnetz 5 mit Strom versorgt.

15 Zur Energieerzeugung für das Schiffsnetz 5 sind mehrere Generatoren 8 vorgesehen, die jeweils von einer schneller als die Hauptmaschine 2 laufenden Hilfsmaschine 9 angetrieben werden. Bei den Hilfsmaschinen 9 handelt es sich üblicherweise um
20 schnell laufende Viertakt-Dieselmotoren mit einer Leistung von beispielsweise bis zu 5 MW. Üblicherweise sind jeweils ein Generator 8 und ein Dieselmotor 9 zu einem Dieselgeneratoraggregat 10 zusammengefasst.

25 Ein Wellengenerator/-motor 11 ist mechanisch mit der Propellerwelle 3 gekoppelt und elektrisch über einen Umrichter 51 und einen Transformator 35 mit dem Schiffsnetz 5 verbunden. Der Umrichter 51 ist als Gleichspannungs-Zwischenkreisumrichter ausgebildet und besteht aus einem motorseitigen
30 Stromrichter 13 und einem netzseitigen Stromrichter 14.

Während der Umschaltung von Motor- zu Generatorbetrieb speist ein Zwischenkreiskondensator 52 elektrische Energie in das Schiffsnetz 5 ein, derart, dass die Spannung und die Frequenz
35 des Schiffsnetzes 5 jeweils vorgegebene Grenzwerte nicht unterschreiten. Die Zeit für die Umschaltung von Motorbetrieb in Generatorbetrieb und die Dimensionierung des Zwischenkreiskondensators 52 hinsichtlich der in der Zeit der Um-

schaltung in das Schiffsnetz 5 einspeisbaren Energie sind hierzu aufeinander abgestimmt.

Der Wellenmotor/-generator 11 ist als langsam laufende Syn-
5 chronmaschine ausgebildet und wirkt vorzugsweise direkt ohne zwischengeschaltetes Getriebe auf die Propellerwelle 3. Der Wellenmotor/-generator 11 kann aber auch über ein Getriebe an der Propellerwelle 3 angekuppelt oder mit der Kurbelwelle der Hauptmaschine 2 gekuppelt sein, und zwar an dem Ende, das von
10 der Propellerwelle 3 abliegt.

Der Erregerstrom I_E für den Wellengenerator/-motor 11 wird ebenfalls aus dem Schiffsnetz 5 bezogen und über einen Erregerstromrichter 15 gesteuert und geregelt.

15 Durch Steuerung und Regelung des elektrischen Energieflusses durch den Umrichter 51 und des Erregerstromes I_E kann der Wellengenerator/-motor 11 entweder als Motor oder als Generator betrieben werden. Im Motorbetrieb wird dann elektrische
20 Energie aus dem Schiffsnetz 5 in mechanische Energie zum Antrieb des Schiffspropellers 4 umgewandelt. Leistungsreserven im Schiffsnetz 5 können somit zur Vergrößerung der Antriebsleistung des Schiffes verwendet werden, wodurch entweder die Schiffsgeschwindigkeit erhöht oder bei gleich bleibender
25 Schiffsgeschwindigkeit die Hauptmaschine 2 entlastet werden kann. Im Generatorbetrieb wird mechanische Energie der Propellerwelle 3 in elektrische Energie für das Schiffsnetz 5 umgewandelt. Hierdurch können Leistungsreserven der Hauptmaschine 2 zur Erzeugung von Energie für das Schiffsnetz 5 ver-
30 wendet werden. Bevorzugt beträgt die Nennleistung des Wellenmotors/-generators 11 hierzu wenigstens 5 % der Nennleistung der Hauptmaschine 2.

Die Steuerung und Regelung des Wellengenerators/-motors über
35 den Umrichter 51 und einen Erregerstromrichter 15 erfolgt durch ein gemeinsames, vorzugsweise in Digitaltechnik ausgeführtes, Steuer- und Regelsystem 16. Der Stromrichter 13, der Stromrichter 14 und der Erregerstromrichter 15 sind hierbei

durch das Steuer- und Regelsystem 16 unabhängig voneinander steuerbar und regelbar.

5 Hierfür erfasst das Steuer- und Regelsystem 16 über nicht näher dargestellte Messeinrichtungen die Drehzahl des Wellengenerators/-motors, die Motorspannung, Motorfrequenz, Zwischenkreisstrom, Netzspannung und Netzfrequenz.

10 Der Turbine 500 einer Vorrichtung 100 wird der heiße Abgasstrom 510, der aus dem hier nicht im Detail dargestellten Verbrennungssystem der Hauptmaschine 2 strömt, zugeführt. Der vom Verdichter 400 daraufhin bereitgestellte verdichtete Luftstrom 410' wird dem Verbrennungssystem der Hauptmaschine 2 zugeführt und dort zusammen mit dem Brennstoffstrom 900 zu
15 dem heißen Abgas verbrannt.

Die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 ist elektrisch über einen weiteren Umrichter 51' und einen weiteren Transformator 35' mit dem Schiffsnetz 5 verbunden. Der Erregerstrom I_E ' für
20 die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 wird ebenfalls aus dem Schiffsnetz 5 bezogen und über einen weiteren Erregerstromrichter 15' gesteuert und geregelt.

Die Steuerung und Regelung der Elektromotor-/Generatoreinheit
25 200 über den weiteren Umrichter 51' und den weiteren Erregerstromrichter 15' erfolgt durch ein weiteres Steuer- und Regelsystem 16'. Der weitere Umrichter 51' ist wie der Umrichter 51 ausgebildet und umfasst weitere Stromrichter 13', 14'. Der weitere Stromrichter 13', der weitere Stromrichter 14'
30 und der weitere Erregerstromrichter 15' sind hierbei ebenfalls durch das Steuer- und Regelsystem 16' unabhängig voneinander steuerbar und regelbar.

Weiterhin ist eine Kommunikationsverbindung 17 zwischen einem
35 nicht näher dargestellten Steuer- und Regelsystem der Hauptmaschine 2 und dem Steuer- und Regelsystem 16' vorhanden, um schnelle Lastwechsel, beispielsweise bei einem Austauschen des

Propellers 4 aus dem Wasser, möglichst schnell und effizient an das Steuer- und Regelsystem 16' zu melden.

5 Eine weitere Kommunikationsleitung 17' verbindet die beiden Steuer- und Regelsysteme 16, 16', um hier einen direkten und effizienten gegenseitigen Eingriff zu ermöglichen.

10 Die Kühleinheit 130 für die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 wurde auch hier zur besseren Übersicht nicht dargestellt.

Zusätzlich wandelt ein Abwärmerückgewinnungssystem 20 restliche Wärme der Hauptmaschine 2, die über den energieärmeren, aus der Turbine 500 entweichenden Abgasstrom 510' bereitgestellt wird, in elektrische Energie für das Schiffsnetz 5 um.
15 Hierzu wird Wärme aus dem energieärmeren Abgasstrom 510' über einen Wärmetauscher 21 an einen nicht näher dargestellten Dampfkreislauf übertragen, in den eine Dampfturbine 22 geschaltet ist, die mit einem Turbogenerator 23 gekoppelt ist. Die von dem Turbogenerator 23 erzeugte elektrische Energie
20 wird in das Schiffsnetz 5 eingespeist.

Ein softwaregesteuertes Power Management System 30 sorgt für die bedarfsgerechte Bereitstellung der elektrischen Energie für die verschiedenen Verbraucher 6, 7 und schaltet je nach
25 Anforderung und zur Verfügung stehender Leistung über Schalter 31, 32, 32', 33, 33' einzelne Verbraucher 6, 7, Dieselgeneratorsätze 10, den Turbogenerator 23, den Wellengenerator/-motor 11 bzw. die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 dem Schiffsnetz 5 zu oder ab. Das Power Management System 30 ist
30 hierzu über Steuerleitungen 34, 34' oder andere Verbindungen mit den Schaltern 31, 32, 32', 33, 33', den Dieselgeneratoraggregaten 10, dem Steuer- und Regelsystem 16, dem Steuer- und Regelsystem 16' sowie einem nicht näher dargestellten Steuer- und Regelsystem des Abwärmerückgewinnungssystems 20
35 verbunden.

Vorrangiges Ziel beim Betrieb des Schiffsantriebssystems 1 ist es, die gesamte von der Vorrichtung 100 und vom Abwärme-

rückgewinnungssystem 20 zur Verfügung stehende elektrische Energie in das Schiffsnetz 5 einzuspeisen. Sobald die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 und/oder der Turbogenerator 23 Energie in das Schiffsnetz einspeist, werden durch das Power Management System 30 die Dieselgeneratorsätze 10 entlastet und, falls möglich, sogar abgeschaltet. Durch diese Maßnahmen können die Brennstoff- und Betriebskosten sowie die Emissionen der Dieselgeneratorsätze 10 deutlich verringert werden.

Erzeugt die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 und/oder das Abwärmerückgewinnungssystem 20 sogar mehr Energie, als für die elektrischen Schiffsverbraucher 6, 7 benötigt wird, so wird mit diesem Energieüberschuss der Wellengenerator-/motor 11 im Motorbetrieb betrieben und somit eine zusätzliche Antriebskraft auf die Propellerwelle 3 gegeben. In diesem Betriebsfall speist somit nur die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 und/oder das Abwärmerückgewinnungssystem 20 elektrische Energie in das Schiffsnetz ein; die Dieselgeneratorsätze 10 sind dagegen abgeschaltet.

Ein ungeplanter Ausfall der Energieerzeugung durch die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 und/oder das Abwärmerückgewinnungssystem 20, z.B. im Fall einer Störung, würde somit jedoch zu einem Einbruch der Spannung und Frequenz des Schiffsnetzes 5 mit der Folge einer Sicherheitsabschaltung der kritischen und unkritischen Verbraucher 6, 7 und somit zu einem Blackout des Schiffes führen, da es einige Sekunden dauert, bis die Dieselgeneratorsätze 10 gestartet und zur Energieversorgung für das Schiffsnetz 5 zur Verfügung stehen.

Um dies zu vermeiden, wird der Wellengenerator/-motor 11 innerhalb von weniger als 1 Sekunde nach Störungssignalisierung von Motorbetrieb in Generatorbetrieb umgeschaltet. Während der Umschaltzeit wird der Energiebedarf des Schiffsnetzes 5 aus der im Zwischenkreiskondensator 52, 52' gespeicherten Energie gespeist. Diese übernimmt kurzzeitig die Energieversorgung für die kritischen Verbraucher 6 und speist hierfür Energie in das Schiffsnetz 5 ein, und zwar derart, dass Span-

nung und Frequenz des Schiffsnetzes 5 einen jeweils vorgegebenen Grenzwert nicht unterschreiten. Die Grenzwerte sind hierbei so gewählt, dass eine Sicherheitsabschaltung der kritischen Schiffsverbraucher 6, die zu einem Blackout des Schiffes führen könnte, vermieden wird. Die Umschaltzeit und die Energieabgabefähigkeit der Zwischenkreiskondensatoren 52, 52' während der Umschaltzeit sind hierfür aufeinander abgestimmt.

10 Eine kurze Umschaltzeit ist zum einen dadurch erzielbar, dass die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 und/oder das Abwärmerrückgewinnungssystem 20 dem Steuer- und Regelsystem 16, 16' die Störung über eine direkte Leitungsverbindung 36, d.h. unter Umgehung des softwaregesteuerten Power Management Systems 30, signalisiert. Verzögerungen in der Signalübertragung durch die Software des Power Management Systems 30 können hierdurch vermieden werden.

Das Steuer- und Regelsystem 16 weist hierzu einen Signaleingang auf, der über die Leitungsverbindung 36, d.h. durch eine „harte“ Verdrahtung, direkt mit einem Signalgeber der Elektromotor-/Generatoreinheit 200 und des Abwärmerückgewinnungssystems 20 für eine Störauslösung verbunden ist. Im Ausführungsbeispiel ist der Signalgeber ein nicht näher dargestellter potenzialfreier Hilfskontakt des Schalters 32, 32' der bei einer Störung geöffnet wird, um die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 und/oder den Turbogenerators 23 vom Schiffsnetz 5 zu trennen.

30 Weiterhin ist eine derart kurze Umschaltzeit dadurch erzielbar, dass die Ansteuerung der Stromrichter 13, 13', 14, 14' und des Erregerstromrichters 15, 15' bei der Umschaltung von Motorbetrieb zu Generatorbetrieb ohne Impulsabschaltungen, d.h. alleine durch Veränderung der Einschaltzeitpunkte und somit Einschaltdauern der Stromrichterventile erfolgt. Bei Verwendung von Thyristoren als Stromrichterventilen werden hierbei üblicherweise nur die Einschaltzeitpunkte über den sogenannten Steuerwinkel α gesteuert. Bei Verwendung von

GTOs, IGBTs oder IGCTs können sowohl die Einschalt- als auch die Ausschaltzeitpunkte gesteuert werden.

Eine derartige Ansteuerung der Stromrichterventile ohne Impulsabschaltung ist dadurch möglich, dass das Steuer- und Regelsystem 16 den Wellengenerator/-motor 11 über den Umrichter 51 und Stromrichter 15 bzw. das Steuer- und Regelsystem 16' die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 über den Umrichter 51' und den Stromrichter 15' im Motorbetrieb und Generatorbetrieb mit der gleichen Regelungsart regelt. Impulsabschaltungen beim Übergang vom Motorbetrieb zu Generatorbetrieb und die damit einhergehenden Verzögerungen, wie sie bei unterschiedlichen Regelungsarten für Motor- und Generatorbetrieb notwendig wären, können dadurch vermieden werden.

Vorteilhaft wird der Wellengenerator/-motor 11 wie auch die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 sowohl im Motorbetrieb als auch im Generatorbetrieb drehmomentgeregelt und somit proportional zu aufgenommenen oder abgegeben elektrischen Leistung, da sich die Drehzahl relativ langsam ändert.

Bei hohen Lastanforderungen an die Hauptmaschine wird die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 im Motorbetrieb betrieben und elektrische Energie aus dem Schiffsnetz 5 eingespeist, um die Antriebswelle 300 (vergleiche FIG 1) weiter zu beschleunigen und dadurch die kurzfristig benötigte große Menge an verdichteter Luft möglichst schnell bereitzustellen.

FIG 6 zeigt ein weiteres Einsatzbeispiel für ein erfindungsgemäßes Antriebssystem in Form eines stark schematisierten dritten Schiffsantriebssystems 1'' mit Abwärmerückgewinnung, z.B. für ein großes Containerschiff. Auf Basis eines in DE 10 2006 020 144 A1 offenbarten Schiffsantriebssystems wird ein Antriebssystem 100 gemäß FIG 3 integriert. Gleiche Bezugszeichen wie in den Figuren 1 bis 5 kennzeichnen gleiche Elemente.

Das Antriebssystem des Schiffsantriebssystems 1'' weist eine als langsam laufenden Zweitaktdieselmotor ausgebildete Hauptmaschine 2 auf, die über eine Propellerwelle 3 einen Schiffspropeller 4 zum Antrieb des Schiffes aufweist.

5

Ein elektrisches Schiffsnetz 5 dient zur Energieversorgung elektrischer Geräte und Systeme an Bord des Schiffes. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen kritischen Verbrauchern 6, deren Abschaltung zu einem Blackout an Bord des Schiffes führt, und unkritischer Verbrauchern 7 (z.B. Hotellast), die nicht zu einem Blackout führen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist in FIG 4 jeweils nur ein einziger kritischer Verbraucher 6 und ein einziger unkritischer Verbraucher 7 dargestellt. In der Praxis werden jeweils eine größere Anzahl derartiger Verbraucher 6, 7 aus dem Schiffsnetz 5 mit Strom versorgt.

Zur Energieerzeugung für das Schiffsnetz 5 sind mehrere Generatoren 8 vorgesehen, die jeweils von einer schneller als die Hauptmaschine 2 laufenden Hilfsmaschine 9 angetrieben werden. Bei den Hilfsmaschinen 9 handelt es sich üblicherweise um schnell laufende Viertakt-Dieselmotoren mit einer Leistung von beispielsweise bis zu 5 MW. Üblicherweise sind jeweils ein Generator 8 und ein Dieselmotor 9 zu einem Dieselgeneratoraggregat 10 zusammengefasst.

25

Ein Wellengenerator/-motor 11 ist mechanisch mit der Propellerwelle 3 gekoppelt und elektrisch über einen Umrichter 51 und einen Transformator 35 mit dem Schiffsnetz 5 verbunden. Der Umrichter 51 ist als Gleichspannungs-Zwischenkreisumrichter ausgebildet und besteht aus einem motorseitigen Stromrichter 13 und einem netzseitigen Stromrichter 14.

Während der Umschaltung von Motor- zu Generatorbetrieb speist der Zwischenkreiskondensator 52 elektrische Energie in das Schiffsnetz 5 ein, derart, dass die Spannung und die Frequenz des Schiffsnetzes 5 jeweils vorgegebene Grenzwerte nicht unterschreiten. Die Zeit für die Umschaltung von Motorbetrieb in Generatorbetrieb und die Dimensionierung des Zwischen-

35

kreiskondensators 52 hinsichtlich der in der Zeit der Umschaltung in das Schiffsnetz 5 einspeisbaren Energie sind hierzu aufeinander abgestimmt.

5 Der Wellenmotor/-generator 11 ist als langsam laufende Synchronmaschine ausgebildet und wirkt vorzugsweise direkt ohne zwischengeschaltetes Getriebe auf die Propellerwelle 3. Der Wellenmotor/-generator 11 kann aber auch über ein Getriebe an der Propellerwelle 3 angekuppelt oder mit der Kurbelwelle der
10 Hauptmaschine 2 gekuppelt sein, und zwar an dem Ende, das von der Propellerwelle 3 abliegt.

Der Erregerstrom I_E für den Wellengenerator/-motor 11 wird ebenfalls aus dem Schiffsnetz 5 bezogen und über einen Erregerstromrichter 15 gesteuert und geregelt.
15

Durch Steuerung und Regelung des elektrischen Energieflusses durch den Umrichter 51 und des Erregerstromes I_E kann der Wellengenerator/-motor 11 entweder als Motor oder als Generator betrieben werden. Im Motorbetrieb wird dann elektrische
20 Energie aus dem Schiffsnetz 5 in mechanische Energie zum Antrieb des Schiffspropellers 4 umgewandelt. Leistungsreserven im Schiffsnetz 5 können somit zur Vergrößerung der Antriebsleistung des Schiffes verwendet werden, wodurch entweder die
25 Schiffsgeschwindigkeit erhöht oder bei gleich bleibender Schiffsgeschwindigkeit die Hauptmaschine 2 entlastet werden kann. Im Generatorbetrieb wird mechanische Energie der Propellerwelle 3 in elektrische Energie für das Schiffsnetz 5 umgewandelt. Hierdurch können Leistungsreserven der Hauptma-
30 schine 2 zur Erzeugung von Energie für das Schiffsnetz 5 verwendet werden. Bevorzugt beträgt die Nennleistung des Wellenmotors/-generators 11 hierzu wenigstens 5 % der Nennleistung der Hauptmaschine 2.

35 Die Steuerung und Regelung des Wellengenerators/-motors über den Umrichter 51 und einen Erregerstromrichter 15 erfolgt durch ein gemeinsames, vorzugsweise in Digitaltechnik ausgeführtes, Steuer- und Regelsystem 16. Der Stromrichter 13, der

Stromrichter 14 und der Erregerstromrichter 15 sind hierbei durch das Steuer- und Regelsystem 16 unabhängig voneinander steuerbar und regelbar.

- 5 Hierfür erfasst das Steuer- und Regelsystem 16 über nicht näher dargestellte Messeinrichtungen die Drehzahl des Wellengenerators/-motors, die Motorspannung, Motorfrequenz, Zwischenkreisstrom, Netzspannung und Netzfrequenz.
- 10 Der Turbine 500 einer Vorrichtung 100 wird der heiße Abgasstrom 510, der aus dem hier nicht im Detail dargestellten Verbrennungssystem der Hauptmaschine 2 strömt, zugeführt. Der vom Verdichter 400 daraufhin bereitgestellte verdichtete Luftstrom 410' wird dem Verbrennungssystem der Hauptmaschine
- 15 2 zugeführt und dort zusammen mit dem Brennstoffstrom 900 zu dem heißen Abgas verbrannt.

- Die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 ist elektrisch über einen weiteren Umrichter 51' und einen weiteren Transformator
- 20 35' mit dem Schiffsnetz 5 verbunden. Der Erregerstrom I_E' für die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 wird ebenfalls aus dem Schiffsnetz 5 bezogen und über einen weiteren Erregerstromrichter 15' gesteuert und geregelt. Die Steuerung und Regelung der Elektromotor-/Generatoreinheit 200 über den weiteren
- 25 Umrichter 51' und den weiteren Erregerstromrichter 15' erfolgt ebenfalls durch das Steuer- und Regelsystem 16. Der weitere Umrichter 51' ist wie der Umrichter 51 ausgebildet und umfasst weitere Stromrichter 13' Stromrichter 14'. Der weitere Stromrichter 13', der weitere Stromrichter 14' und
- 30 der weitere Erregerstromrichter 15' sind hierbei ebenfalls durch das Steuer- und Regelsystem 16 unabhängig voneinander steuerbar und regelbar.

- Die Kühleinheit 130 für die Elektromotor-/Generatoreinheit
- 35 200 wurde hier zur besseren Übersicht nicht dargestellt.

Zusätzlich wandelt ein Abwärmerückgewinnungssystem 20 restliche Wärme der Hauptmaschine 2, die über den energieärmeren,

aus der Turbine 500 entweichenden Abgasstrom 510' bereitgestellt wird, in elektrische Energie für das Schiffsnetz 5 um. Hierzu wird Wärme aus dem energieärmeren Abgasstrom 510' über einen Wärmetauscher 21 an einen nicht näher dargestellten Dampfkreislauf übertragen, in den eine Dampfturbine 22 geschaltet ist, die mit einem Turbogenerator 23 gekoppelt ist. Die von dem Turbogenerator 23 erzeugte elektrische Energie wird in das Schiffsnetz 5 eingespeist.

Ein softwaregesteuertes Power Management System 30 sorgt für die bedarfsgerechte Bereitstellung der elektrischen Energie für die verschiedenen Verbraucher 6, 7 und schaltet je nach Anforderung und zur Verfügung stehender Leistung über Schalter 31, 32, 32', 33, 33' einzelne Verbraucher 6, 7, Dieselgeneratorsätze 10, den Turbogenerator 23, den Wellengenerator/-motor 11 bzw. die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 dem Schiffsnetz 5 zu oder ab. Das Power Management System 30 ist hierzu über Steuerleitungen 34 oder andere Kommunikationsverbindungen mit den Schaltern 31, 32, 32', 33, 33', den Dieselgeneratoraggregaten 10, dem Steuer- und Regelsystem 16 sowie einem nicht näher dargestellten Steuer- und Regelsystem des Abwärmerückgewinnungssystems 20 verbunden.

Vorrangiges Ziel beim Betrieb des Schiffsantriebssystems 1 ist es, die gesamte von der Vorrichtung 100 und vom Abwärmerückgewinnungssystem 20 zur Verfügung stehende elektrische Energie in das Schiffsnetz 5 einzuspeisen. Sobald die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 und/oder der Turbogenerator 23 Energie in das Schiffsnetz einspeist, werden durch das Power Management System 30 die Dieselgeneratorsätze 10 entlastet und, falls möglich, sogar abgeschaltet. Durch diese Maßnahmen können die Brennstoff- und Betriebskosten sowie die Emissionen der Dieselgeneratorsätze 10 deutlich verringert werden.

Erzeugt die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 und/oder das Abwärmerückgewinnungssystem 20 sogar mehr Energie, als für die elektrischen Schiffsverbraucher 6, 7 benötigt wird, so wird mit diesem Energieüberschuss der Wellengenerator/-motor

11 im Motorbetrieb betrieben und somit eine zusätzliche Antriebskraft auf die Propellerwelle 3 gegeben. In diesem Betriebsfall speist somit nur die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 und/oder das Abwärmerückgewinnungssystem 20 elektrische Energie in das Schiffsnetz ein; die Dieselgeneratorsätze 10 sind dagegen abgeschaltet.

Ein ungeplanter Ausfall der Energieerzeugung durch die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 und/oder das Abwärmerückgewinnungssystem 20, z.B. im Fall einer Störung, würde somit jedoch zu einem Einbruch der Spannung und Frequenz des Schiffsnetzes 5 mit der Folge einer Sicherheitsabschaltung der kritischen und unkritischen Verbraucher 6, 7 und somit zu einem Blackout des Schiffes führen, da es einige Sekunden dauert, bis die Dieselgeneratorsätze 10 gestartet und zur Energieversorgung für das Schiffsnetz 5 zur Verfügung stehen.

Um dies zu vermeiden, wird der Wellengenerator/-motor innerhalb von weniger als 1 Sekunde nach Störungssignalisierung von Motorbetrieb in Generatorbetrieb umgeschaltet. Während der Umschaltzeit wird der Energiebedarf des Schiffsnetzes 5 aus der im Zwischenkreiskondensator 52, 52' gespeicherten Energie gespeist. Diese übernimmt kurzzeitig die Energieversorgung für die kritischen Verbraucher 6 und speist hierfür Energie in das Schiffsnetz 5 ein, und zwar derart, dass Spannung und Frequenz des Schiffsnetzes 5 einen jeweils vorgegebenen Grenzwert nicht unterschreiten. Die Grenzwerte sind hierbei so gewählt, dass eine Sicherheitsabschaltung der kritischen Schiffsverbraucher 6, die zu einem Blackout des Schiffes führen könnte, vermieden wird. Die Umschaltzeit und die Energieabgabefähigkeit der Zwischenkreiskondensatoren 52, 52' während der Umschaltzeit sind hierfür aufeinander abgestimmt.

35 Eine kurze Umschaltzeit ist zum einen dadurch erzielbar, dass die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 und/oder das Abwärmerückgewinnungssystem 20 dem Steuer- und Regelsystem 16 die Störung über eine direkte Leitungsverbindung 36, d.h. unter

Umgehung des softwaregesteuerten Power Management Systems 30, signalisiert. Verzögerungen in der Signalübertragung durch die Software des Power Management Systems 30 können hierdurch vermieden werden.

5

Das Steuer- und Regelsystem 16 weist hierzu einen Signaleingang auf, der über die Leitungsverbindung 36, d.h. durch eine „harte“ Verdrahtung, direkt mit einem Signalgeber der Elektromotor-/Generatoreinheit 200 und des Abwärmerückgewinnungssystems 20 für eine Störauslösung verbunden ist. Im Ausführungsbeispiel ist der Signalgeber ein nicht näher dargestellter potenzialfreier Hilfskontakt des Schalters 32, 32' der bei einer Störung geöffnet wird, um die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 und/oder den Turbogenerators 23 vom Schiffnetz 5 zu trennen.

Weiterhin ist eine derart kurze Umschaltzeit dadurch erzielbar, dass die Ansteuerung der Stromrichter 13, 13', 14, 14' und des Erregerstromrichters 15, 15' bei der Umschaltung von Motorbetrieb zu Generatorbetrieb ohne Impulsabschaltungen, d.h. alleine durch Veränderung der Einschaltzeitpunkte und somit Einschaltdauern der Stromrichterventile erfolgt. Bei Verwendung von Thyristoren als Stromrichterventilen werden hierbei üblicherweise nur die Einschaltzeitpunkte über den sogenannten Steuerwinkel α gesteuert. Bei Verwendung von GTOs, IGBTs oder IGCTs können sowohl die Einschalt- als auch die Ausschaltzeitpunkte gesteuert werden.

Eine derartige Ansteuerung der Stromrichterventile ohne Impulsabschaltung ist dadurch möglich, dass das Steuer- und Regelsystem 16 den Wellengenerator/-motor 11 über den Umrichter 51 und Stromrichter 15 bzw. die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 über den Umrichter 51' und den Stromrichter 15' im Motorbetrieb und Generatorbetrieb mit der gleichen Regelungsart regelt. Impulsabschaltungen beim Übergang vom Motorbetrieb zu Generatorbetrieb und die damit einhergehenden Verzögerungen, wie sie bei unterschiedlichen Regelungsarten für

Motor- und Generatorbetrieb notwendig wären, können dadurch vermieden werden.

Vorteilhaft wird der Wellengenerator/-motor 11 wie auch die
5 Elektromotor-/Generatoreinheit 200 sowohl im Motorbetrieb als auch im Generatorbetrieb drehmomentgeregelt und somit proportional zu aufgenommenen oder abgegeben elektrischen Leistung, da sich die Drehzahl relativ langsam ändert.

10 Bei hohen Lastanforderungen an die Hauptmaschine wird die Elektromotor-/Generatoreinheit 200 im Motorbetrieb betrieben und elektrische Energie aus dem Schiffsnetz 5 eingespeist, um die Antriebswelle 300 (vergleiche FIG 1) weiter zu beschleunigen und dadurch die kurzfristig benötigte große Menge an
15 verdichteter Luft möglichst schnell bereitzustellen.

Eine Vorrichtung 100 könnte dabei nicht nur, wie in den Figuren 4 bis 6 gezeigt, den Abgasstrom der Hauptmaschine 2 verwerten. Auch die Abgasströme der Hilfsmaschinen 9 können
20 - einzeln oder zusammengefasst - mindestens einer weiteren Vorrichtung 100 zugeführt werden, um im Generatorbetrieb der jeweiligen Elektromotor-/Generatoreinheit elektrische Energie bereitzustellen, die ins Schiffsnetz 5 eingespeist werden kann, oder im Motorbetrieb auf Lastwechsel an den Hilfsma-
25 schinen 9 reagieren zu können und die von einer Hilfsmaschine 9 benötigte Menge an verdichteter Luft kurzfristig bereitzustellen.

Weiterhin kann anstelle des Zwischenkreiskondensators 52, 52'
30 auch ein Gleichstromzwischenkreis zum Einsatz kommen, wie in einer Ausführungsform gemäß der DE 10 2006 020 144 A1 aufgezeigt.

Patentansprüche

1. Vorrichtung (100) umfassend

- eine von einem Motorbetrieb in einen Generatorbetrieb und
5 umgekehrt umschaltbare Elektromotor-/Generatoreinheit (200)
mit einem Stator (200a) und einem Rotor (200b), welcher ei-
ne Rotordrehachse (200c) aufweist, sowie eine konzentrisch
zur Rotordrehachse (200c) angeordnete und mit dem Rotor
(200b) verbundene Antriebswelle (300),
- 10 - einen Verdichter (400) mit einem rotierbaren Verdichterrad
(400a) zur Verdichtung von Luft (410), wobei das
Verdichterrad (400a) auf der konzentrisch zur Rotorachse
(200c) angeordneten Antriebswelle (300) auf einer Seite des
Rotors (200b) montiert ist, und
- 15 - eine Turbine (500), welche ein von einem Abgasstrom (510)
antreibbares Turbinenrad (500a) umfasst, das auf der kon-
zentrisch zur Rotorachse (200c) angeordneten Antriebswelle
(300) auf einer dem Verdichterrad (400a) gegenüberliegenden
Seite des Rotors (200b) montiert ist, und
- 20 wobei der Verdichter (400) und die Turbine (500) durch min-
destens eine Entkopplungsanordnung (600a, 600b) voneinander
entkoppelt angeordnet sind,
wobei mindestens zwei Entkopplungsanordnungen (600a, 600b)
vorhanden sind, wobei eine erste Entkopplungsanordnung (600a)
- 25 der Entkopplungsanordnungen (600a, 600b) zwischen dem Ver-
dichter (400) und der Elektromotor-/Generatoreinheit (200)
angeordnet ist und eine zweite Entkopplungsanordnung (600b)
zwischen der Turbine (500) und der Elektromotor-/Generator-
einheit (200) angeordnet ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1,

wobei die Elektromotor-/Generatoreinheit (200) elektrisch mit
einem Umrichter (51') verbunden ist und wobei der Umrichter
(51') elektrisch mit einem Transformator (35') verbunden ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder Anspruch 2,

wobei mindestens eine Kühleinheit (130) zur Kühlung der
Elektromotor-/Generatoreinheit (200) vorhanden ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3,
wobei es sich bei der Elektromotor-/Generatoreinheit (200) um
eine auf Hochtemperatursupraleitung basierende Maschine han-
delt und die mindestens eine Kühleinheit (130) zur Kühlung
der Maschine vorgesehen ist.

5. Antriebssystem (110), insbesondere für Schiffe, umfassend
- mindestens eine Vorrichtung (100) nach einem der Ansprüche
1 bis 4,

- mindestens ein Verbrennungssystem (800) zur Verbrennung ei-
nes Brennstoffstroms (900) und eines verdichteten Luft-
stroms (410') unter Erzeugung eines Abgasstroms (510) zur
Einspeisung in die Turbine(n) (500) der mindestens einen
Vorrichtung (100) und zum Antrieb des jeweiligen
Verdichterrads (500a),

- eine Luftzuführeinrichtung (411) zur Zuführung
unverdichteter Luft (410) zum Verdichter (400) der mindes-
tens einen Vorrichtung (100), und

- eine Speiseeinrichtung (412) zur Überführung eines mittels
des Verdichterrads (400a) aus der unverdichteten Luft (410)
gebildeten verdichteten Luftstroms (410') zum mindestens
einen Verbrennungssystem (800).

6. Antriebssystem nach Anspruch 5,
wobei es sich bei dem Verbrennungssystem (800) um einen Ver-
brennungsmotor handelt.

7. Antriebssystem nach Anspruch 5 oder Anspruch 6,

wobei das Verbrennungssystem (800) einen Teil einer Haupt-
oder Hilfsmaschine (2, 9) bildet.

8. Schiff umfassend ein Antriebssystem (110) nach einem der
Ansprüche 5 bis 7 sowie ein elektrisches Schiffsnetz (5), wo-
bei die Elektromotor-/Generatoreinheit (200) der mindestens
einen Vorrichtung (100) mit dem Schiffsnetz (5) derart ver-
bunden ist, dass im Generatorbetrieb eine Einspeisung von

Energie ins Schiffsnetz (5) erfolgt und im Motorbetrieb eine Entnahme von Energie aus dem Schiffnetz (5) erfolgt.

9. Verfahren zum Betreiben eines Antriebssystems (110) nach
5 einem der Ansprüche 5 bis 7, umfassend folgende Schritte:
Erzeugen eines Abgasstroms (510) mittels des Verbrennungs-
systems (800), indem ein Brennstoffstrom (900) und ein ver-
dichteter Luftstrom (410') miteinander verbrannt werden;
Betreiben der Elektromotor-/Generatoreinheit (200) der min-
10 destens einen Vorrichtung (100) im Generatorbetrieb unter Er-
zeugung elektrischer Energie, wobei die Turbine (500) mit ei-
nem Abgasstrom (510) gespeist und das Turbinenrad (500a) und
damit gleichzeitig das Verdichterrad (400a) unter Bildung des
verdichteten Luftstroms (410') angetrieben wird;
15 Einspeisen einer mittels der Elektromotor-/Generatoreinheit
(200) erzeugten elektrischen Energie in ein elektrisches
Netz, insbesondere ein Schiffsnetz (5).

10. Verfahren nach Anspruch 9,
20 wobei im Falle einer spontanen Lastanforderung an das Ver-
brennungssystem (800) eine Umschaltung von dem Generatorbe-
trieb in einen Motorbetrieb erfolgt, wobei der Elektromotor-
/Generatoreinheit (200) elektrische Energie zugeführt wird,
wobei die Antriebswelle (300) beschleunigt wird, und wobei
25 eine erhöhte Menge an verdichteter Luft (410') gebildet wird.