



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
02.12.2009 Patentblatt 2009/49

(51) Int Cl.:
F04D 25/02^(2006.01) F04D 25/16^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **09006649.9**

(22) Anmeldetag: **16.05.2009**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK TR

- **Khan, Arindam**
46119 Oberhausen (DE)
- **Mohr, Klaus-Dieter**
42113 Wuppertal (DE)
- **Woelk, Gerd-Ulrich, Dr.**
46147 Oberhausen (DE)
- **Jeske, Hans-Otto**
46485 Wesel (DE)

(30) Priorität: **29.05.2008 DE 102008025695**
25.06.2008 DE 102008030103
01.07.2008 DE 102008031116

(71) Anmelder: **MAN TURBO AG**
46145 Oberhausen (DE)

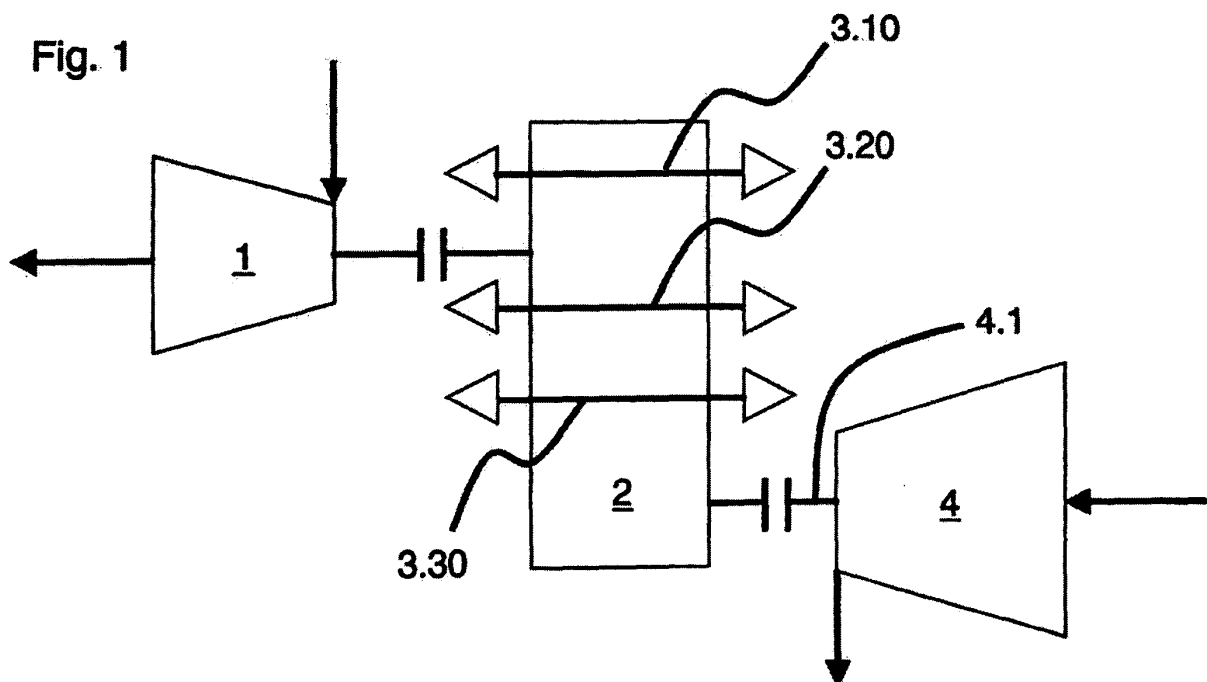
(74) Vertreter: **Sturm, Christoph et al**
Quermann Sturm Weilnau
Patentanwälte
Unter den Eichen 7
65195 Wiesbaden (DE)

(72) Erfinder:
• **Hansen, Ole**
46499 Hamminkeln (DE)

(54) **Getriebeturbomaschine für einen Maschinenstrang, Maschinenstrang mit und Getriebe für Getriebeturbomaschine**

(57) Ein Maschinenstrang umfasst ein Antriebsaggregat, insbesondere eine Dampfturbine (1) mit axialer Abströmung, einen Getriebeturbomaschine (2) und einem weiteren Kompressor (4), wobei der Getriebeturbomaschine (2) mit integriertem Getriebe ein Antriebsritzel

(2.1) zum Antreiben von Turbomaschinenrotoren (3.10,3.20,3.30) über ein Großrad (2.2) und von einem Abtriebsritzel (2.3) eines drehzahluntersetzenden Lastgetriebes zum Antreiben des weiteren Kompressors (4) aufweist.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Getriebeturbomaschine, insbesondere Radialgetriebeturbomaschine, mit Integriertem Lastgetriebe für einen Maschinenstrang, ein integriertes Lastgetriebe für eine solche Getriebeturbomaschine, sowie einen Maschinenstrang mit einer solchen Getriebeturbomaschine und einem weiteren Kompressor, insbesondere einem Hauptkompressor.

[0002] Ein Maschinenstrang weist allgemein ein Antriebsaggregat, beispielsweise eine Dampfturbine, eine Gasturbine oder einen Expander, insbesondere eine Entspannungs- bzw. Restgasturbine, und einen oder mehrere von diesem Antriebsaggregat angetriebene Kompressoren beispielsweise zur Verdichtung von Luft oder anderen Gasen auf.

[0003] Aus betriebsinterner Praxis sind insbesondere Maschinenstränge bekannt, bei denen eine doppeltantreibende Dampfturbine auf einer Seite einen Boosterkompressor mit mehreren Kompressorstufen und auf einer gegenüberliegenden Seite der Dampfturbine einen Hauptkompressor antreibt, der ein Medium ansaugt, verdichtet und den Boosterkompressor mit einem Teilmassenstrom hiervon beschickt, den dieser, beispielsweise auf ein bis drei Druckstufen, weiter verdichtet.

[0004] Hierbei müssen die Drehzahlen von Dampfturbine, Haupt- und Boosterkompressor aufeinander abgestimmt werden. Während aus thermodynamischen Gründen die Drehzahlen der Dampfturbine und der Kompressorstufen des Boosterkompressors relativ hoch sein sollen, liegen sie für den Hauptkompressor- bedingt durch dessen große Durchmesser und die damit verbundenen hohen Fliehkräfte - jedoch niedriger und begrenzen bisher insbesondere die Drehzahl der Dampfturbine, was hinsichtlich ihres Wirkungsgrades und ihrer Baugröße nachteilig ist.

[0005] Daher ist es nach betriebsinterner Praxis bekannt, den Boosterkompressor als Getriebekompressor auszubilden, wie er beispielsweise aus der EP 1 691 081 A2, die einen Getriebekompressor mit einem integrierten Getriebe nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 offenbart, oder der DE 42 41 141 A1 bekannt ist, um seine Kompressorstufen bei höheren Drehzahlen zu betreiben als den Hauptkompressor. Auch in einem aus der DE 2413 674 C2 bekannten dreistufigen Getriebekompressor wird die Antriebsdrehzahl auf höhere Drehzahlen in den Kompressorstufen ins Schnelle übersetzt.

[0006] Beispielsweise aus dem DE-GM 7122098 ist es grundsätzlich auch bekannt, die Drehzahl einer Dampfturbine durch ein separates Stirnradgetriebe vor dem Hauptkompressor zu reduzieren, was jedoch aufgrund des separaten Getriebes nicht nur den Herstellungs- und Montageaufwand, sondern auch die axiale Baulänge des Maschinenstranges und damit Transport- und Gebäudekosten vergrößert.

[0007] Bekannte Maschinenstränge weisen noch weitere Nachteile auf. So erfordert die bisherige Anordnung von Hauptkompressor und Boosterkompressor beidseits der Dampfturbine beispielsweise eine radiale Abströmung aus der Dampfturbine. Dies verschlechtert den Wirkungsgrad. Ist der Dampfturbine ein Kondensator nachgeschaltet, muss dieser mit dem radial abströmenden Dampf beschickte Kondensator in einer Horizontalebene über oder unter der Dampfturbine angeordnet werden, was die Bauhöhe des gesamten Maschinenstranges und damit insbesondere die Kosten für ein diesen aufnehmendes Fundament bzw. Gebäude erheblich vergrößert.

[0008] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, wenigstens einen der vorgenannten Nachteile zu reduzieren und einen Maschinenstrang zu verbessern.

[0009] Diese Aufgabe wird durch ein Integriertes Getriebe mit den Merkmalen des Anspruchs 1, eine Getriebeturbomaschine nach Anspruch 10 bzw. einen Maschinenstrang mit den Merkmalen des Anspruchs 12 oder 18 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0010] Nach einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, ein drehzahluntersetzendes Lastgetriebe, welches zwischen Antriebsaggregat und einem Kompressor angeordnet ist, in ein Getriebe einer Getriebeturbomaschine zu integrieren und so zugleich von dem Kompressor zu separieren.

[0011] Hierzu umfasst eine Getriebeturbomaschine für einen Maschinenstrang ein Antriebsritzel, welches drehfest mit einer Antriebswelle verbunden ist, ein mit dem Antriebsritzel in Eingriff stehendes Großrad und eine oder mehrere, bevorzugt wenigstens zwei, insbesondere drei oder vier Turbomaschinenrotoren. Diese Turbomaschinenrotoren der Getriebeturbomaschine umfassen je eine Turbomaschinenwelle, ein oder mehrere, bevorzugt zwei mit der Turbomaschinenwelle drehfest verbundene Laufräder und ein mit der Turbomaschinenwelle drehfest verbundenes Turbomaschinenritzel, wobei die Turbomaschinenritzel eines oder mehrerer Turbomaschinenrotoren mit dem Großrad in Eingriff stehen.

[0012] Ein Laufrad eines Turbomaschinenrotors kann dabei als Kompressor- oder Expanderlaufrad ausgebildet sein. Insbesondere können zwei oder mehrere Kompressorlaufräder desselben Turbomaschinenrotors und/oder Kompressorlaufräder verschiedener Turbomaschinenrotoren, vorzugsweise als Radialkompressoren ausgebildete, Kompressorstufen der Getriebeturbomaschine bilden, die als Getriebekompressor wirkt. Alternativ können zwei Expanderlaufräder derselben Turbomaschinenrotors und/oder Expanderlaufräder verschiedener Turbomaschinenrotoren, vorzugsweise als Radialexpander ausgebildete, Expanderstufen der Getriebeturbomaschine bilden, die als Getriebeexpander wirkt. Beide Ausführungen können auch kombiniert sein, indem beispielsweise wenigstens ein mit einem oder mehreren Kompressorlaufrädern bestückter Turbomaschinenrotor eine oder mehrere Kompressorstufen bildet und wenigstens

ein mit einem oder mehreren Expanderiaufrädern bestückter anderer Turbomaschinenrotor eine oder mehrere Expanderstufen derselben Getriebeturbomaschine bildet, und/oder indem ein oder mehrere Turbomaschinenrotoren mit je wenigstens einem Kompressor- und je wenigstens einem Expanderlaufrad bestückt sind und somit sowohl eine Kompressor- als auch eine Expanderstufe bilden. Daher werden vorliegend sowohl reine ein- oder mehrstufige Getriebekompressoren mit einer oder mehreren mit wenigstens einem Kompressorlaufrad bestückten Kompressorwellen, reine ein- oder mehrstufige Getriebeexpander mit einer oder mehreren mit wenigstens einem Expanderlaufrad bestückten Expanderwellen, als auch kombinierte Getriebekompressor/expander ("Getriebekompander") verallgemeinernd als Getriebeturbomaschine, ihre mit Kompressor- und/oder Expanderiaufrädern bestückten Rotoren als Turbomaschinenrotor bezeichnet.

[0013] Erfindungsgemäß weist die Getriebeturbomaschine nun zusätzlich ein Abtriebsritzel eines drehzahluntersetzenden Lastgetriebes auf, das drehfest mit einer Abtriebswelle zum Antreiben eines mit dieser Abtriebswelle kuppelbaren Kompressorantriebswelle eines weiteren, von der Getriebeturbomaschine getrennten Kompressors, insbesondere eines Hauptkompressors des Maschinenstranges, verbunden ist, der insbesondere als Einwellenkompressor ausgebildet sein kann, vorzugsweise als Axialkompressor, Radialkompressor, ausgeführt beispielsweise mit horizontaler und/oder vertikaler Teilfuge oder als Isothermkompressor, oder als kombinierter Axial-Radialkompressor.

[0014] Dieses Abtriebsritzel steht wie das Großrad, bevorzugt auf einer diesem gegenüberliegenden Seite des Antriebsritzels, mit dem Antriebsritzel in Eingriff. Eine erfindungsgemäße Getriebeturbomaschine kombiniert somit erstmals ein Mehrwellengetriebe einer Getriebeturbomaschine und ein Lastgetriebe für einen hiervon getrennten Kompressor.

[0015] Ein integriertes Getriebe, eine Getriebeturbomaschine mit einem solchen integrierten Getriebe bzw. ein Maschinenstrang nach diesem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung weist eine Reihe von Vorteilen auf: durch das drehzahluntersetzende Lastgetriebe können ein Antriebsaggregat, beispielsweise eine Dampfturbine, eine Gasturbine oder ein Expander, insbesondere eine Entspannungs- bzw. Restgasturbine, welches die Abtriebswelle antreibt, ein weiterer Kompressor, insbesondere ein Hauptkompressor, und die Turbomaschinenrotoren der Getriebeturbomaschine jeweils in für sie günstigen Drehzahlbereichen betrieben werden.

[0016] Beispielsweise kann das drehzahluntersetzende Lastgetriebe eine Drehzahl des Antriebsritzels mit einem Übersetzungsverhältnis auf eine Drehzahl des Abtriebsritzels reduzieren, welches im Bereich von 1,25 bis 1,45, vorzugsweise im Bereich von 1,3 bis 1,4 und insbesondere im Bereich zwischen 1,32 bis 1,38 liegt. Ein Übersetzungsverhältnis ist vorliegend in fachüblicher Weise als betragsmäßiger Quotient von Antriebs- zu Abtriebsdrehzahl, hier also von Antriebsritzelndrehzahl dividiert durch Abtriebsritzelndrehzahl, definiert, so dass auch eine Drehrichtungsumkehr durch ein positives Übersetzungsverhältnis beschrieben wird. Ein Turbomaschinenritzel kann entsprechend mit dem Antriebsritzel ein Übersetzungsverhältnis aufweisen, welches im Bereich von 0,28 bis 0,54, vorzugsweise im Bereich von 0,30 bis 0,52 und insbesondere im Bereich zwischen 0,32 bis 0,50 liegt, wobei das Übersetzungsverhältnis sich aus dem Betrag des Quotienten von Antriebsritzelndrehzahl dividiert durch Turbomaschinenritzelndrehzahl ergibt.

[0017] Dadurch kann in einer Ausführung beispielsweise eine Dampfturbine bei einer Nenndrehzahl in einem Bereich von 4000 bis 7000 Umdrehungen pro Minute (U/min) betrieben werden, die Turbomaschinenrotoren eines als Getriebeturbomaschine ausgebildeten Boosterkompressors bei einer Nenndrehzahl in einem Bereich von 10000 bis 17000 U/min, und ein als Einwellenkompressor ausgebildeter Hauptkompressor bei einer Nenndrehzahl in einem Bereich von 2000 bis 6000 U/min. Dies erhöht den Wirkungsgrad der Dampfturbine, die zudem vorteilhaft kleiner bauen kann.

[0018] Antriebs- und Abtriebsritzel bilden dabei ein Lastgetriebe, über das ein Großteil der von dem Antriebsaggregat zugeführten Leistung, die bei Dampfturbinen beispielsweise im Bereich von 40 bis 80 MW liegen kann, auf den weiteren Kompressor übertragen werden kann, der beispielsweise mit einer Leistung im Bereich zwischen 30 bis 50 MW beaufschlagt wird. Bevorzugt wird wenigstens die Hälfte, besonders bevorzugt wenigstens 60% der Leistung von der Abtriebswelle auf die Abtriebswelle übertragen. Das Großrad verteilt die verbleibende Differenzleistung entsprechend auf die mit ihm in Eingriff stehenden Turbomaschinenrotoren. Vorteilhaft können daher die Verzahnungsbreiten der Turbomaschinenritzei und des Großrades geringer ausgebildet sein und betragen bevorzugt höchstens das 0,91-fache der Verzahnungsbreite des Antriebsritzels.

[0019] Als weiterer signifikanter Vorteil ist zur Reduzierung der Antriebsaggregatsdrehzahl auf die Drehzahl des weiteren Kompressors auch kein separates Getriebe mehr erforderlich, was Fertigungs- und Montageaufwand sowie Bauraum spart.

[0020] Der weitere Kompressor ist bevorzugt in einem von einem Gehäuse der Getriebeturbomaschine getrennten Gehäuse aufgenommen. Hierdurch kann insbesondere vorteilhaft eine schwingungsmäßige Entkoppelung zwischen der Getriebeturbomaschine und dem weiteren Kompressor erreicht werden. Hierzu ist der weitere Kompressor vorzugsweise in axialer Richtung von der Getriebeturbomaschine beabstandet, was insbesondere auch dann von Vorteil ist, wenn der weitere Kompressor als Hauptkompressor groß baut.

[0021] Durch die erfindungsgemäße Integration eines drehzahluntersetzenden Lastgetriebes eines weiteren Kompressors, insbesondere eines Hauptkompressors, in eine Getriebeturbomaschine ist das Lastgetriebe nicht im Gehäuse des weiteren bzw. Hauptkompressors aufgenommen, was schwingungstechnisch vorteilhaft sein kann.

[0022] Wie vorstehend ausgeführt, kann die Getriebeturbomaschine eine oder mehrere Expanderstufen aufweisen,

indem ein oder mehrere Turbomaschinenrotoren mit je wenigstens einem, zwei oder mehr Expanderlaufrädern bestückt sind. Hierdurch kann beispielsweise vorteilhaft ein Abfallmedium des im Maschinenstrang umgesetzten Prozesses und/oder das zuvor im Hauptkompressor verdichtete Prozessmedium, vorzugsweise einen Teilmassenstrom hiervon, entspannt und dessen Enthalpie zum Antrieb des weiteren Kompressors und/oder von Kompressorstufen der Getriebeturbomaschine genutzt werden. Zusätzlich oder alternativ kann die Getriebeturbomaschine, die dann als Boosterkompressor des Maschinenstranges wirkt, eine oder mehrere Kompressorstufen aufweisen, indem ein oder mehrere Turbomaschinenrotoren mit je wenigstens einem, zwei oder mehr Kompressorlaufrädern bestückt sind. Hierdurch kann beispielsweise das im weiteren Kompressor verdichtete Medium, vorzugsweise ein Teilmassenstrom aus dem Hauptkompressor, weiter komprimiert werden, um zum Beispiel nach Rückkühlung und Entspannung als Kühlmittel zu fungieren. Zusätzlich oder alternativ können in Kompressorstufen der Getriebeturbomaschine auch andere Medien, die den weiteren Kompressor nicht durchströmen, verdichtet werden. Die Getriebeturbomaschine kann also gleichermaßen als Arbeits- und/oder Kraftmaschine wirken, wobei die Turbomaschinenwellen ein Drehmoment auf ein Laufrad ausüben bzw. von diesem mit einem Drehmoment beaufschlagt werden.

[0023] Zusätzlich oder alternativ kann eine das Antriebsaggregat unterstützende und/oder von dem Antriebsaggregat antreibbare Elektromaschine, insbesondere ein Motor, ein Generator oder ein Motor/Generator, vorgesehen sein, dessen Elektromaschineneingangswelle mit dem Antriebsritzel, dem Großrad, dem Abtriebsritzel oder einem Turbomaschinenritzel in Eingriff steht oder mit der Antriebs-, der Abtriebswelle, der Welle des Großrades oder einem Turbinenrotor gekuppelt bzw. drehfest verbunden ist. Auf diese Weise kann beispielsweise zusätzliches Antriebsdrehmoment durch einen Elektromotor in die Getriebeturbomaschine eingeleitet oder dort zur Verfügung stehende mechanische Leistung in einem Generator in elektrische Leistung umgewandelt und beispielsweise gespeichert, dem Maschinenstrang zur Verfügung gestellt oder in ein Stromnetz eingespeist werden.

[0024] Wird der Boosterkompressor von einem Medium durchströmt, das zuvor im Hauptkompressor verdichtet wurde, so können aufgrund der höheren Drücke und insbesondere bei Durchströmung mit nur einem Teilmassenstrom aus dem Hauptkompressor die durchströmten Querschnitte und damit Gehäuse-, Laufrad- bzw. Beschauelungsdurchmesser der Getriebeturbomaschine kleiner ausgebildet werden als bei dem weiteren Kompressor. Vorzugsweise weist ein kleinster durchströmter Querschnitt des weiteren Kompressors daher wenigstens das 1,05-fache, vorzugsweise wenigstens das 1,1-fache und insbesondere wenigstens das 1,2-fache des kleinsten durchströmten Querschnitts der Getriebeturbomaschine auf.

[0025] Unter einer drehfesten Verbindung, beispielsweise zwischen Antriebsritzel und Antriebswelle, Turbomaschinenritzel und Turbomaschinenwelle oder Abtriebsritzel und Abtriebswelle, wird vorliegend sowohl eine lösbare Verbindung, die beispielsweise eine Keilwelle und/oder Schrauben umfassen kann, als auch eine unlösbare Verbindung, insbesondere eine Schweißverbindung oder eine integrale Ausbildung, beispielsweise als einstückiges Ur- und/oder Umformteil verstanden.

[0026] Eine Kupplung zwischen der Abtriebswelle und der damit kuppelbaren, getrennten Kompressorantriebswelle kann beispielsweise über eine Flanschverbindung, eine Kupplung zum Ausgleich von Axial- und/oder Winkelversatz, und/oder eine schaltbare oder selbstschaltende Kupplung, etwa eine Überlastkupplung realisiert sein. Insofern werden insbesondere sowohl lösbar als auch unlösbar miteinander verbundene Abtriebswellen und Kompressorantriebswellen als kuppelbar bezeichnet. Vorteilhafterweise kann eine Kupplung zwischen Abtriebswelle und Kompressorantriebswelle Drehschwingungen, Axialstöße oder dergleichen dämpfen.

[0027] Ein In-Eingriff-Stehen umfasst im Sinne der vorliegenden Erfindung einerseits einen direkten Eingriff, i.e. ein Kämmen von Verzahnungen, beispielsweise einfachen oder Doppelschrägverzahnungen, der beiden miteinander in Eingriff stehenden Elemente miteinander. Gleichermäßen ist hiervon jedoch auch ein indirekter Eingriff unter Zwischenschaltung von einem oder mehreren Getriebestufen, insbesondere Stirnrad- und/oder Planetengetriebestufen umfasst, wie es beispielsweise aus der DE 42 41 141 A1 bekannt ist, deren Offenbarung diesbezüglich ausdrücklich in die vorliegende Beschreibung aufgenommen wird.

[0028] Weist eine Getriebeturbomaschine nach dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung zwei oder mehr Turbomaschinenrotoren auf, können alle Turbomaschinenritzel mit dem Großrad in Eingriff stehen, was eine gleichmäßigere Beaufschlagung der Großrades sowie eine schmalere bauende Getriebeturbomaschine ermöglicht. Gleichermäßen können jedoch auch ein oder mehrere Turbomaschinenritzel mit dem Abtriebsritzel in Eingriff stehen. Hierdurch vergrößert sich der Abstand dieser Turbomaschinenrotoren zu den durch das Großrad angetriebenen, was die konstruktive Gestaltungsfreiheit der einzelnen Turbomaschinenrotoren bzw. der durch sie gebildeten Kompressor- und/oder Expanderstufen vorteilhaft erhöht.

[0029] In einer bevorzugten Ausführung sind eine Drehachse des Antriebsritzels, eine Drehachse des Großrades und eine Drehachse des Abtriebsritzels in einer gemeinsamen, vorzugsweise im Wesentlichen horizontalen, Ebene angeordnet. Dies verringert vorteilhaft die Bauhöhe der Getriebeturbomaschine senkrecht zu dieser Ebene. Die Drehachse eines mit dem Großrad in Eingriff stehenden Turbomaschinenritzels und/oder die Drehachse eines mit dem Abtriebsritzel in Eingriff stehenden Turbomaschinenritzels kann ebenfalls in dieser Ebene angeordnet sein und so die Bauhöhe weiter reduzieren. Stehen weitere Turbomaschinenritzel mit dem Großrad in Eingriff, so sind ihre Drehachsen bevorzugt in

einer weiteren gemeinsamen Ebene angeordnet, die parallel zu der Ebene ist, in welcher die Drehachse des Großrades liegt.

[0030] Bevorzugt weist eine Getriebeturbomaschine ein mehrteiliges Gehäuse auf, welches das Antriebsritzel, das Großrad, das Abtriebsritzel und die Turbomaschinenritzel aufnimmt. Insbesondere, wenn die Drehachsen, wie vorstehend ausgeführt, in einer oder zwei zueinander parallelen, vorzugsweise horizontalen Ebenen liegen, ist es bevorzugt, dass dieses Gehäuse in dieser Ebene bzw. diesen Ebenen geteilt ist. Dies vereinfacht die Montage und Wartung.

[0031] Vorzugsweise sind das Abtriebsritzel und das Großrad in derselben Transversalebene des Antriebsritzels angeordnet. Hierdurch baut der Getriebeturbomaschine vorteilhaft axial besonders kurz. Gleichmaßen können Großrad und Abtriebsritzel auch in axial versetzten Ebenen angeordnet sein, wobei das Großrad oder das Antriebsritzel dann vorteilhafterweise zweistufig ausgebildet ist und zwei verschiedene Teilkreisdurchmesser zum Eingriff mit Antriebs- und Turbomaschinenritzeln (bei zweistufigem Großrad) bzw. zum Eingriff mit Großrad und Abtriebsritzel (bei zweistufigem Antriebsritzel) aufweist. Eine solche Anordnung kann insbesondere in der Ebene der Drehachsen von Antriebsritzel und Großrad schmaler bauen.

[0032] Bevorzugt sind nicht alle, sondern nur einige von dem Antriebsritzel, dem Großrad, den Turbomaschinenritzeln und dem Abtriebsritzel axial in einem Gehäuse der Getriebeturbomaschine gelagert, das hierzu beispielsweise zwei bis sechs Axiallager aufweist. Die übrigen von dem Antriebsritzel, dem Großrad, den Turbomaschinenritzeln und dem Abtriebsritzel können sich dann axial an diesen axial in dem Gehäuse der Getriebeturbomaschine gelagerten Elementen, insbesondere über Druckkämme, abstützen, wie sie aus der DE 42 41 141 A1 bekannt sind, deren Offenbarung diesbezüglich ausdrücklich in die vorliegende Beschreibung aufgenommen wird. Hierdurch kann mit baulich geringerem Aufwand der Axial Schub der Laufräder bzw. des Antriebsaggregates aufgenommen werden.

[0033] Besonders vorteilhaft kann in einem erfindungsgemäßen Maschinenstrang der weitere Kompressor auf der dem Antriebsaggregat gegenüberliegenden Seite der Getriebeturbomaschine angeordnet werden. Insbesondere auf diese Weise wird es möglich, das Antriebsaggregat, das somit auf der der Getriebeturbomaschine gegenüberliegenden Seite frei ist, als Dampfturbine mit axialer Abströmung auszubilden. Hierdurch wird im Gegensatz zu herkömmlichen Maschinensträngen mit Dampfturbinen mit radialer Abströmung nicht nur der Wirkungsgrad verbessert. Es kann auch ein der Dampfturbine nachgeschalteter Kondensator im Wesentlichen auf derselben horizontalen Ebene angeordnet werden, was die Bauhöhe eines solchen Maschinenstranges deutlich reduziert. Daher ist nach einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung bei einem Maschinenstrang mit einer Getriebeturbomaschine und einem weiteren Kompressor, insbesondere einem Hauptkompressor, eine Dampfturbine mit axialer Abströmung als Antriebsaggregat vorgesehen. Der vorstehend erläuterte erste und zweite Aspekt der vorliegenden Erfindung nach Anspruch 1, 10 und 12 bzw. 18 lösen jeweils die eingangs genannte Aufgabe, einen Maschinenstrang zu verbessern. Besonders vorteilhaft sind beide Aspekte miteinander kombiniert, dies ist jedoch nicht zwingend.

[0034] Im Folgenden werden daher beide Aspekte gemeinsam anhand von Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung erläutert, welche von beiden Aspekten Gebrauch macht, wobei ausdrücklich betont wird, dass die vorliegende Erfindung notwendig nur wenigstens die Merkmale des ersten oder zweiten Aspekts aufweist. Weitere Merkmale und Vorteile beider Aspekte ergeben sich dementsprechend aus den Unteransprüchen und diesen Ausführungsbeispielen. Hierzu zeigt, teilweise schematisiert:

Fig. 1: einen Maschinenstrang mit einer Getriebeturbomaschine mit integriertem Getriebe nach einer ersten Ausführung der vorliegenden Erfindung in einer Draufsicht von oben;

Fig. 2: einen Maschinenstrang mit einer Getriebeturbomaschine mit integriertem Getriebe nach einer zweiten Ausführung der vorliegenden Erfindung in einer Draufsicht von oben;

Fig. 3A: eine Getriebeanordnung der Getriebeturbomaschine nach Fig. 1 in axialer Ansicht;

Fig. 3B: die Getriebeanordnung nach Fig. 3A in der Draufsicht von oben;

Fig. 4A: eine Getriebeanordnung der Getriebeturbomaschine nach Fig. 2 in axialer Ansicht;

Fig. 4B: die Getriebeanordnung nach Fig. 4A in der Draufsicht von oben;

Fig. 5: eine Getriebeanordnung einer Getriebeturbomaschine mit integriertem Getriebe nach einer dritten Ausführung der vorliegenden Erfindung in der Draufsicht von oben;

Fig. 6: eine Getriebeanordnung einer Getriebeturbomaschine mit integriertem Getriebe nach einer vierten Ausführung der vorliegenden Erfindung in der Draufsicht von oben; und

Fig. 7: eine Getriebeanordnung einer Getriebeturbomaschine mit integriertem Getriebe nach einer fünften Ausführung der vorliegenden Erfindung in der Draufsicht von oben.

[0035] Fig. 1, 3 zeigen die wesentlichen Elemente eines Maschinenstranges nach einer ersten Ausführung der vorliegenden Erfindung, bei dem der erste und zweite Aspekt der vorliegende Erfindung gemeinsam verwirklicht sind.

[0036] Zunächst Bezug nehmend auf Fig. 1 ist mit 4 ein als axial ansaugender Einwellenkompressor ausgebildeter Hauptkompressor bezeichnet, der in der durch einen Pfeil angedeuteten Weise Luft ansaugt und auf beispielsweise 7 bar verdichtet.

[0037] Ein Teilmassenstrom dieser komprimierten Luft wird dann in nicht näher dargestellter Weise einem ersten Turbomaschinenrotor 3.10 eines Boosterkompressors zugeführt, welcher als nachfolgend näher erläuterte Getriebeturbomaschine 2 ausgebildet ist.

[0038] Die erste Turbomaschinenrotor 3.10 umfasst dabei zwei durch Dreiecke angedeutete Kompressorlaufräder 3.12, 3.13 (Fig. 3B), die auf einer gemeinsamen Turbomaschinenwelle sitzen und in nicht dargestellten Spiralgehäusen umlaufen, um die vom Hauptkompressor zugeführte Luft weiter zu verdichten und bildet so zwei Kompressorstufen des Boosterkompressors 2. Aus diesen wird die Luft dann in nicht näher dargestellter Weise einem zweiten Turbomaschinenrotor 3.20 des Boosterkompressors 2 zugeführt, dessen ebenfalls als Dreiecke angedeutete zwei Kompressorlaufräder 3.22, 3.23 (Fig. 3B) einen kleineren Durchmesser aufweisen und schneller drehen als die Laufräder des ersten Turbomaschinenrotors 3.10, um die Luft weiter zu verdichten und so zwei weitere Kompressorstufen des Boosterkompressors 2 bilden. Die darin weiter verdichtete Luft wird dann in wiederum nicht näher dargestellter Weise einem dritten Turbomaschinenrotor 3.30 des Boosterkompressors 2 zugeführt, deren zwei Kompressorlaufräder 3.32, 3.33 (Fig. 3B) einen abermals kleineren Durchmesser aufweisen und schneller drehen als die Laufräder des zweiten Turbomaschinenrotors 3.20, um die Luft schließlich auf einen gewünschten Enddruck von 75 bar zu verdichten und so zwei weitere Kompressorstufen des damit insgesamt sechsstufigen Boosterkompressors 2 bilden. Im Übrigen sind drei Turbomaschinenrotoren 3.10, 3.20 und 3.30 des Boosterkompressors 2 jedoch baulich analog ausgebildet.

[0039] Wie in Fig. 3A, 3B in axialer bzw. Draufsicht von oben näher dargestellt, ist mit den Turbomaschinenwellen der drei Turbomaschinenrotoren 3.10, 3.20 und 3.30, auf denen die Laufräder 3.12 und 3.13, 3.22 und 3.23 bzw. 3.32 und 3.33 sitzen, je ein Turbomaschinenritzel 3.11, 3.21 bzw. 3.31 drehfest verbunden, beispielsweise auf die Turbomaschinenwelle aufgeschnitten oder als separates Ritzel über eine Welle-Nabe-Verbindung an ihr befestigt. Alle drei Turbomaschinenritzel 3.11, 3.21 und 3.31 kämmen mit einem gemeinsamen Großrad 2.2 des somit als Mehrwellenkompressor ausgebildeten Boosterkompressors 2. Um dabei die unterschiedlichen Drehzahlen der drei Turbomaschinenrotoren zu realisieren, weist das Turbomaschinenritzel 3.11 des ersten, am langsamsten drehenden Turbomaschinenrotors 3.10 den größten Durchmesser auf, das Turbomaschinenritzel 3.31 des dritten, am schnellsten drehenden Turbomaschinenrotors 3.30 den kleinsten Durchmesser. Selbstverständlich sind in Abwandlung des Ausführungsbeispiels auch mehr, beispielsweise vier oder fünf Turbomaschinenrotoren mit je einem, zwei oder mehr Laufrädern möglich.

[0040] Das Großrad 2.2 wird seinerseits von einem Antriebsritzel 2.1 kleineren Durchmessers angetrieben, das in nicht näher dargestellter Weise drehfest mit einer Antriebswelle einer Dampfturbine 1 (Fig. 1) oder einem anderen Antriebsaggregat, beispielsweise einer Gasturbine oder einem Expander, verbunden ist, so dass die Turbinendrehzahl auf die Turbomaschinenwellen der drei Turbomaschinenrotoren mit verschiedenen Übersetzungsverhältnissen ins Schnelle übersetzt wird.

[0041] Nach dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist in derselben horizontalen Ebene, in der auch die Drehachsen des Antriebsritzels 2.1, des Großrades 2.2 und des Turbomaschinenritzels 3.11 angeordnet sind, auch die Drehachse eines Abtriebsritzels 2.3 angeordnet, welches mit den Antriebsritzel 2.1 auf der dem Großrad 2.2 gegenüberliegenden Seite in Eingriff steht. Antriebsritzel 2.1, Großrad 2.2 und Abtriebsritzel 2.3 sind dabei in derselben Transversalebene (Zeichenebene der Fig. 3A) angeordnet, so dass dieselbe Verzahnung des Antriebsritzels 2.1 sowohl mit dem Großrad 2.2 als auch dem Abtriebsritzel 2.3 kämmt. Wie in Fig. 3B schematisch angedeutet, ist aufgrund der unterschiedlichen Drehmomentflüsse die Verzahnungsbreite der Turbomaschinenritzel 3.11, 3.21, 3.31 geringer als diejenige des An- und Abtriebsritzels 2.1, 2.3.

[0042] Der Durchmesser des Abtriebsritzels 2.3 ist größer als der Durchmesser des Antriebsritzels 2.1, so dass die Drehzahl der Dampfturbine 1, die das auf ihrer Antriebswelle sitzende Antriebsritzel 2.1 antreibt, auf die Abtriebswelle mit dem Abtriebsritzel 2.3 ins Langsame untersetzt wird. Die Abtriebswelle mit dem Abtriebsritzel 2.3 ist durch eine in Fig. 1 angedeutete Kupplung mit einer Kompressorantriebswelle 4.1 des als Einwellenkompressor ausgebildeten Hauptkompressors 4 (Fig. 1) verbunden, so dass die Turbine diesen mit einer Untersetzung ins Langsame antreibt. An- und Abtriebsritzel 2.1, 2.3 bilden somit ein drehzahluntersetzendes Lastgetriebe, über das der Großteil der Turbinenleistung auf den Hauptkompressor 4 übertragen wird.

[0043] Aufgrund der Unter- bzw. Übersetzung der Turbinen- bzw. Antriebsritzelndrehzahl auf die langsamere Abtriebsritzelndrehzahl bzw. schnellere Turbomaschinenritzelndrehzahlen können Dampfturbine 1, Boosterkompressor 2 und Hauptkompressor 4 gleichzeitig in optimalen Drehzahlbereichen betrieben werden. Insbesondere kann die Drehzahl der Dampfturbine 1 bei geringerer Hauptkompressor-Drehzahl höher sein, was den Wirkungsgrad der Dampfturbine 1

verbessert und die Verwendung kleinerer, schneller drehender Dampfturbinen erlaubt. Aufgrund der Ausbildung als integrales Getriebe ist hierzu vorteilhaft kein separates Lastgetriebe erforderlich, Maschinenstrang und Fundament können baulich kompakter gehalten werden.

[0044] An- und Abtriebsritzel 2.1, 2.3, das Großrad 2.2 sowie die mit diesem in Eingriff stehenden Turbomaschinenritzel 3.11, 3.21 und 3.31 sind in einem gemeinsamen Gehäuse (nicht dargestellt) aufgenommen. Dieses dreiteilige Gehäuse ist in der in Fig. 3A strichpunktiert angedeuteten Ebene, in der die Drehachsen von An- und Abtriebsritzel 2.1, 2.3, Großrad 2.2 und Turbomaschinenritzel 3.11 liegen, horizontal geteilt, so dass diese auf einfache Weise in einem ersten, unteren Gehäuseteil montiert werden können, auf welches ein zweites, mittleres Gehäuseteil aufgesetzt wird.

[0045] Die Drehachsen der Turbomaschinenritzel 3.21, 3.31 des zweiten und dritten Turbomaschinenrotors 3.20 bzw. 3.30 liegen in einer in Fig. 3A strichpunktiert angedeuteten weiteren horizontalen Ebene, die zu der Ebene parallel ist, in der die Drehachsen von An- und Abtriebsritzel 2.1, 2.3, Großrad 2.2 und Turbomaschinenritzel 3.11 liegen. Das Gehäuse ist auch in dieser Ebene horizontal geteilt, so dass nach Aufsetzen des mittleren Gehäuseteils die Turbomaschinenritzel 3.21, 3.31 auf einfache Weise in dem mittleren Gehäuseteil montiert werden können, auf welches ein drittes, oberes Gehäuseteil aufgesetzt wird. Durch die Anordnung beider Turbomaschinenritzel 3.21, 3.31 in der weiteren horizontalen Ebene vertikal oberhalb der Ebene von An-, Abtriebsritzel- und Großradachse ist vorteilhaft kein Bauraum unterhalb des Großrades 2.2 zur Anordnung von Turbomaschinenrotoren erforderlich.

[0046] Der Hauptkompressor 4 weist ein von dem Boosterkompressor 2 getrenntes Gehäuse auf und ist mit diesem nur über die Kompressorantriebswelle 4.1 verbunden. Damit können die beiden Gehäuse von Haupt- und Boosterkompressor, die beispielsweise auf einem nicht dargestellten Beton- oder Metallfundament ruhen, schwingungstechnisch vorteilhaft weitgehend entkoppelt werden.

[0047] Wie insbesondere in Fig. 1 erkennbar, treibt die Dampfturbine 1 den Boosterkompressor 2 und den auf der ihr gegenüberliegenden Seite angeordneten Hauptkompressor 4 mit nur einer Antriebswelle an. Im Gegensatz zu den bisherigen doppeltantreibenden Turbinen weist eine solche Dampfturbine mit nur einem Wellenende vorteilhaft andere eigenfrequenzen bzw. kritische Drehzahlen auf - insbesondere kann der Bereich zwischen benachbarten Eigenfrequenzen bzw. kritischer Drehzahlen, von denen im Betrieb ein ausreichender Abstand gehalten werden soll, um Resonanzprobleme zu vermeiden, vorteilhaft vergrößert und so der zulässige Betriebsbereich erweitert werden.

[0048] Die Anordnung von Boosterkompressor 2 und Hauptkompressor 4 auf derselben Seite der Dampfturbine 1 ermöglicht eine in Fig. 1 durch einen Pfeil angedeutete axiale Abströmung aus der Dampfturbine 1 auf die Hauptkompressor 4 und Boosterkompressor 2 gegenüberliegende Seite (nach links in Fig. 1) gemäß des zweiten Aspekts der vorliegenden Erfindung. Hierdurch verbessert sich der Wirkungsgrad der Dampfturbine 1 vorteilhaft.

[0049] Der axiale Abdampf aus der Dampfturbine 1 strömt in einen dieser nachgeschalteten Kondensator (nicht dargestellt). Im Gegensatz zu herkömmlichen Maschinensträngen, bei denen Boosterkompressor und Hauptkompressor beidseits der Dampfturbine angeordnet sind, was eine radiale Abströmung und somit eine Anordnung eines nachgeschalteten Kondensators in vertikaler Richtung über oder unter der Ebene der Dampfturbine und dementsprechend einen zweigeschossigen Fundamentaufbau mit entsprechender vertikaler Bauhöhe bedingt, kann der Kondensator eines Maschinenstrangs nach dem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung aufgrund der axialen Abströmung der Dampfturbine 1 im Wesentlichen auf derselben horizontalen Ebene wie diese angeordnet werden. Dies ermöglicht vorteilhaft einen eingeschossigen Aufbau des Maschinenstranges, was aufgrund des kompakteren Fundaments und der geringeren Bau- und damit Gebäudehöhe zu erheblichen Kosteneinsparungen führt. Hierzu trägt auch die Anordnung der Drehachsen von An-, Abtriebsritzel, Großrad und Turbomaschinenritzel in derselben bzw. einer hierzu parallelen weiteren, vertikal oberhalb angeordneten horizontalen Ebene vorteilhaft bei.

[0050] Die Fig. 2, 4 zeigen in Fig. 1, 3 entsprechender Darstellung die wesentlichen Elemente eines Maschinenstranges nach einer zweiten Ausführung der vorliegenden Erfindung, die im Wesentlichen mit der ersten Ausführung übereinstimmt und bei der ebenfalls der erste und zweite Aspekt der vorliegenden Erfindung gemeinsam verwirklicht sind. Mit der ersten Ausführung übereinstimmende Elemente sind mit identischen Bezugszeichen bezeichnet, so dass insoweit auf die vorstehenden Erläuterungen zu der im Wesentlichen baugleichen ersten Ausführung verwiesen und nachfolgend lediglich auf die Unterschiede zwischen erster und zweiter Ausführung eingegangen wird.

[0051] Wie in Fig. 2 durch einen Pfeil angedeutet, saugt der Hauptkompressor 4 in der zweiten Ausführung radial an. Der Boosterkompressor 2 der zweiten Ausführung unterscheidet sich von dem Boosterkompressor 2 der ersten Ausführung in der Anordnung des zweiten und dritten Turbomaschinenrotors 3.20, 3.30. Während die Drehachsen ihrer Turbomaschinenritzel 3.21, 3.31, wie in Fig. 3A dargestellt, in einer gemeinsamen weiteren horizontalen Ebene liegen, die zur Ebene der Drehachsen von An-, Abtriebsritzel und Großrad parallel ist, stehen bei der zweiten Ausführung nach Fig. 4 nur die Turbomaschinenritzel 3.11, 3.21 des ersten und zweiten Turbomaschinenrotors 3.10, 3.20 mit dem Großrad 2.2 in Eingriff, wobei die Turbomaschinenritzel 3.11, 3.21 des ersten und zweiten Turbomaschinenrotors 3.10, 3.20 und das Antriebsritzel 2.1 in Umfangsrichtung um vorzugsweise jeweils 90° versetzt in Eingriff mit dem Großrad 2.2 stehen, i.e. die Drehachse des zweiten Turbomaschinenritzels 3.21 horizontal zwischen den Drehachsen des Antriebsritzels 2.1 und des Turbomaschinenritzels 3.11 des ersten Turbomaschinenrotors und vertikal oberhalb der gemeinsamen horizontalen Ebene von An-, Abtriebsritzel 2.1, 2.3, Großrad 2.2 und Turbomaschinenritzel 3.11 liegt. In dieser gemein-

samen horizontalen Ebene der Drehachsen von An-, Abtriebsritzel 2.1, 2.3, Großrad 2.2 und Turbomaschinenritzel 3.11 liegt die Drehachse des Turbomaschinenritzels 3.31 des dritten Turbomaschinenrotors 3.30, das auf der dem Antriebsritzel 2.1 gegenüberliegenden Seite des Abtriebsritzels 2.3 mit diesem In Eingriff steht, so dass es von dem Antriebsritzel 2.1 nicht über das Großrad 2.2, sondern über Abtriebsritzel 2.3 angetrieben wird.

5 **[0052]** Wie bei der ersten Ausführung kann durch die Zwischenschaltung von Großrad 2.2 bzw. Abtriebsritzel 2.3 die Drehrichtung der Antriebswelle in den Turbomaschinenwellen beibehalten, In de Abtriebswelle hingegen umgekehrt werden. Sofern es vorteilhaft ist, kann natürlich der Drehsinn durch Zwischenschaltung weiterer Getriebestufen zwischen An-, Abtriebsritzel, Großrad und/oder Turbomaschinenritzeln auch anders orientiert werden. Insbesondere ist es möglich, die Turbomaschinenritzel als Hohlräder eines Planetengetriebes auszubilden, welches die Turbomaschinenwelle antreibt, wie dies in der DE 42 41 141 A1 beschrieben ist, deren Offenbarung insoweit ausdrücklich in die vorliegende Beschreibung aufgenommen wird.

10 **[0053]** Fig. 5 zeigt in Fig. 3B, 4B entsprechender Darstellung die wesentlichen Elemente einer Getriebeanordnung einer Getriebeturbomaschine mit integriertem Getriebe nach einer dritten Ausführung der vorliegenden Erfindung, die im Wesentlichen mit der ersten und zweiten Ausführung übereinstimmt und bei der ebenfalls der erste und zweite Aspekt der vorliegenden Erfindung gemeinsam verwirklicht sind. Mit der ersten und zweiten Ausführung übereinstimmende Elemente sind mit identischen Bezugszeichen bezeichnet, so dass insoweit auf die vorstehenden Erläuterungen zu der Im Wesentlichen baugleichen ersten und zweiten Ausführung verwiesen und nachfolgend lediglich auf die Unterschiede zwischen erster, zweiter und dritter Ausführung eingegangen wird.

15 **[0054]** Bei der dritten Ausführung ist der erste Turbomaschinenrotor 3.10 durch eine Elektromaschineneingangswelle 5.1 ersetzt, die über eine Kupplung mit einer Elektromaschine 5, beispielsweise einem Elektromotor oder Generator, verbunden ist. Die Elektromaschineneingangswelle 5.1 weist ein Elektromaschinenritzel 2.4 auf, welches anstelle des Turbomaschinenritzels 3.11 mit dem Großrad 2.2 In Eingriff steht. Durch entsprechende Wahl der Übersetzungsverhältnisse zwischen Elektromaschinenritzel 2.4 und Großrad 2.2 kann beispielsweise eine höhere Drehzahl des Antriebsritzels 2.1 auf eine niedrigere Drehzahl des Elektromaschinenritzels unteretzt werden, die - in Abhängigkeit von einer Netzfrequenz - beispielsweise 3000 oder 3600 U/min beträgt.

20 **[0055]** Ist die Elektromaschine 5 als Generator oder Motor/Generator ausgebildet, kann so mechanische Leistung der Dampfturbine 1, die nicht zum Antrieb des Hauptkompressors 4 und der Kompressorstufen der Getriebeturbomaschine 2 benötigt wird, in elektrische Energie umgewandelt und beispielsweise in ein Stromversorgungsnetz eingespeist werden.

25 **[0056]** Ist die Elektromaschine 5 als Motor oder Motor/Generator ausgebildet, kann umgekehrt zusätzliches Drehmoment zum Antrieb des Hauptkompressors 4 und der Kompressorstufen der Getriebeturbomaschine 2 in die Getriebeturbomaschine 2 eingespeist werden.

30 **[0057]** Hierzu ist als weiterer Unterschied zur vorstehend erläuterten ersten und zweiten Ausführung bei der dritten Ausführung nach Fig. 5 ein Laufrad des dritten Turbomaschinenrotors 3.30 als Expanderlaufrad 3.34 ausgebildet, das andere wie bei der ersten und zweiten Ausführung als Kompressorlaufrad 3.33, was in Fig. 5 durch gleichsinnige Dreiecke angedeutet ist. Die Getriebeturbomaschine 2 weist damit fünf Kompressorstufen und eine Expanderstufe auf und wirkt zugleich als Arbeits- und als Kraftmaschine (Kompander). Während in den Kompressorstufen ein Teilmassenstrom der im Hauptkompressor 4 verdichteten Luft weiter verdichtet wird, kann in der Expanderstufe des Expanderlaufrads 3.34 ein Medium, beispielsweise ein im Prozess anfallendes Restgas, entspannt und so zusätzliches Drehmoment zum Antrieb des Hauptkompressors 4 und der Kompressorstufen der Getriebeturbomaschine 2 in die Getriebeturbomaschine 2 eingespeist werden.

35 **[0058]** Fig. 6 zeigt in Fig. 5 entsprechender Darstellung die wesentlichen Elemente einer Getriebeanordnung einer Getriebeturbomaschine mit integriertem Getriebe nach einer vierten Ausführung der vorliegenden Erfindung, die im Wesentlichen mit der dritten Ausführung übereinstimmt und bei der ebenfalls der erste und zweite Aspekt der vorliegenden Erfindung gemeinsam verwirklicht sind. Mit der dritten Ausführung übereinstimmende Elemente sind mit identischen Bezugszeichen bezeichnet, so dass insoweit auf die vorstehenden Erläuterungen zu der im Wesentlichen baugleichen dritten Ausführung verwiesen und nachfolgend lediglich auf die Unterschiede zwischen dritter und vierter Ausführung eingegangen wird.

40 **[0059]** Während bei der dritten Ausführung die Turbomaschinenritzel 3.21, 3.31 des zweiten und dritten Turbomaschinenrotors 3.20, 3.30 beide mit dem Großrad 2.2 kämmen und ihre Drehachsen hierzu in einer gemeinsamen horizontalen Ebene angeordnet sind, in der auch eine Teilungs- bzw. Trennfuge des Gehäuses der Getriebeturbomaschine 2 liegt, steht in der vierten Ausführung nur das Turbomaschinenritzel 3.21 des Turbomaschinenrotors 3.20 mit dem Großrad 2.2 in Eingriff, während das Turbomaschinenritzel 3.31 des Turbomaschinenrotors 3.30, der ein Kompressorlaufrad 3.33 und ein Expanderlaufrad 3.34 trägt, mit dem Abtriebsritzel 2.3 in Eingriff steht, wie dies auch bei der zweiten Ausführung (vgl. Fig. 4B) der Fall ist.

45 **[0060]** Fig. 7 zeigt in Fig. 6 entsprechender Darstellung die wesentlichen Elemente einer Getriebeanordnung einer Getriebeturbomaschine mit integriertem Getriebe nach einer fünften Ausführung der vorliegenden Erfindung, die im Wesentlichen mit der vierten Ausführung übereinstimmt und bei der ebenfalls der erste und zweite Aspekt der vorliegenden Erfindung gemeinsam verwirklicht sind. Mit der vierten Ausführung übereinstimmende Elemente sind mit iden-

tischen Bezugszeichen bezeichnet, so dass Insoweit auf die vorstehenden Erläuterungen zu der im Wesentlichen baugleichen vierten Ausführung verwiesen und nachfolgend lediglich auf die Unterschiede zwischen vierter und fünfter Ausführung eingegangen wird.

[0061] Zusätzlich zu dem Turbomaschinenrotor 3.20, dessen Turbomaschinenritzel 3.21 mit dem Großrad 2.2 in Eingriff steht, und dem Turbomaschinenrotor 3.30, dessen Turbomaschinenritzel 3.31 mit dem Abtriebsritzel 2.3 in Eingriff steht, ist bei der fünften Ausführung nach Fig. 7 ein weiterer Turbomaschinenrotor 3.10 mit zwei Kompressoraufrädern 3.12, 3.13 vorgesehen, dessen Turbomaschinenritzel 3.11 auf der dem Großrad 2.2 gegenüberliegenden Seite mit dem Elektromaschinenritzel 2.4 in Eingriff steht.

[0062] Als weiterer Unterschied zur vorstehend erläuterten vierten Ausführung sind bei der fünften Ausführung nach Fig. 7 beide Laufräder 3.34, 3.35 des dritten Turbomaschinenrotors 3.30 als Expanderlaufräder ausgebildet, was in Fig. 7 durch gegenüber den Kompressorlaufrädern 3.12, 3.13, 3.21 und 3.22 gegensinnige Dreiecke angedeutet ist. Die Getriebeturbomaschine 2 weist damit vier Kompressorstufen und zwei Expanderstufen auf und wirkt ebenfalls als Kompan- der. Während In den Kompressorstufen ein Teilmassenstrom der im Hauptkompressor 4 verdichteten Luft weiter verdichtet wird, kann in den Expanderstufen ein Medium, beispielsweise ein im Prozess anfallendes Restgas, entspannt und so zusätzliches Drehmoment zum Antrieb des Hauptkompressors 4 und der Kompressorstufen der Getriebeturbo- maschine 2 in die Getriebeturbomaschine 2 eingespeist werden.

[0063] Wie bei der zweiten Ausführung nach Fig. 2, 4 liegen die Drehachsen der Turbomaschinenritzei 3.11, 3.31, des Elektromaschinenritzels 2.4, des Großrades 2.2, des Antriebsritzels 2.1 und des Abtriebsritzels 2.3 bevorzugt alle in derselben horizontalen Teilungsebene des Gehäuses der Getriebeturbomaschine 2.

[0064] Wie auch bei den vorstehend beschriebenen Ausführungen können einige oder alle Kompressorlaufräder der Getriebeturbomaschine 2 Medium, vorzugsweise einen Teilmassenstrom hiervon, verdichten, das den Hauptkompressor durchströmt hat, oder ein anderes Medium, beispielsweise ein weiteres Prozessgas. Die Getriebeturbomaschine 2 kann mit ihren verschiedenen Kompressorlaufrädern auch unterschiedlichen Medien verdichten.

[0065] Wie bei den vorigen Ausführungen können Dampfturbine, Hauptkompressor und die Turbomaschinenrotoren der Getriebeturbomaschine jeweils in optimalen Drehzahlbereichen betrieben werden, die durch entsprechende Wahl der Übersetzungen im Getriebe der Getriebeturbomaschine 2 und dem Lastgetriebe 2.1, 2.3 aufeinander abgestimmt werden können. Insbesondere kann die Dampfturbine aufgrund der Kopplung mit dem langsamer drehenden Haupt- kompressor 4 über das drehzahluntersetzende Lastgetriebe schneller drehen, so dass sich ihr Wirkungsgrad verbessert und kleinere Dampfturbinenbaugrößen verwendet werden können.

[0066] Durch die Integration des Lastgetriebes in den Getriebeturbomaschine 2 ist vorteilhaft kein separates Lastge- triebe erforderlich, was zu einem kompakteren Maschinenstrang und geringerem Herstellungs- und Montageaufwand führt. Aufgrund des hiervon getrennten Hauptkompressorgehäuses ist eine teilweise schwingungstechnische Entkopp- lung von Hauptkompressor und Getriebeturbomaschine möglich.

[0067] Aufgrund der axialen Abströmung der Dampfturbine, die nur zu einer, der Abströmung abgewandten Seite hin abtreibt, ist es möglich, einen nachgeschalteten Kondensator im Wesentlichen auf derselben horizontalen Ebene wie die Dampfturbine 1 anzuordnen, was im Gegensatz zu herkömmlichen zweigeschossigen Maschinensträngen, bei denen der Kondensator vertikal unterhalb der radial abströmenden Dampfturbine angeordnet ist, vorteilhaft einen eingeschos- sige Maschinenstrangaufbau und somit kompaktere Fundamente und Gebäude zur Aufnahme eines solchen Stranges ermöglicht.

[0068] Vorstehend wurde die Erfindung anhand eines Maschinenstranges mit einer Dampfturbine als Antriebsaggregat erläutert. Gleichmaßen können jedoch auch andere Strömungsmaschinen, insbesondere eine Gasturbine oder ein Expander wie eine Entspannungs- oder Restgasturbine eingesetzt werden.

Bezugszeichenliste

[0069]

1	Dampfturbine
2	Boosterkompressor
2.1	Antriebsritzel
2.2	Großrad
2.3	Abtriebsritzel
2.4	Elektromaschinenritzel
3.10, 3.20, 3.30	Turbomaschinenrotor
3.11, 3.21, 3.31	Turbomaschinenritzel
3.12, 3.13, 3.22, 3.23, 3.32, 3.33	Kompressorlaufrad
3.34, 3.35	Expanderlaufrad
4	Einweilenkompressor (Hauptkompressor)

4.1	Kompressorantriebswelle
5	Elektromaschine
5.1	Elektromaschinenwelle

5

Patentansprüche

1. Integriertes Getriebe für eine Getriebeturbomaschine (2) eines Maschinenstranges, mit einem Antriebsritzel (2.1), welches drehfest mit einer Antriebswelle verbunden ist; einem mit dem Antriebsritzel in Eingriff stehenden Großrad (2.2); und wenigstens einem Turbomaschinenrotor (3.10, 3.20, 3.30) mit einer Turbomaschinenwelle zur Drehmomentübertragung mit wenigstens einem Laufrad (3.12, 3.13, 3.22, 3.23, 3.32, 3.33, 3.34) der Getriebeturbomaschine, und einem mit der Turbomaschinenwelle drehfest verbundenen Turbomaschinenritzel (3.11, 3.21, 3.31), welches mit dem Großrad in Eingriff steht;
- dadurch gekennzeichnet, dass** ein Abtriebsritzel (2.3) eines drehzahluntersetzenden Lastgetriebes mit dem Antriebsritzel (2.1) in Eingriff steht, das drehfest mit einer Abtriebswelle zum Antreiben einer mit der Abtriebswelle kuppelbaren Kompressorantriebswelle (4.1) eines weiteren, von der Getriebeturbomaschine getrennten Kompressors (4), insbesondere eines Hauptkompressors des Maschinenstranges, verbunden ist.
2. Integriertes Getriebe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** es wenigstens zwei, insbesondere drei oder vier Turbomaschinenrotoren (3.10, 3.20, 3.30) mit je einer Turbomaschinenwelle und einem mit dieser Turbomaschinenwelle drehfest verbundenen Turbomaschinenritzel (3.11, 3.21, 3.31) aufweist, wobei ein Turbomaschinenritzel (3.11, 3.21, 3.31) wenigstens eines Turbomaschinenrotors (3.10, 3.20, 3.30) mit dem Großrad (2.2) in Eingriff steht und/oder ein Turbomaschinenritzel (3.31) eines Turbomaschinenrotors (3.30) mit dem Abtriebsritzel (2.3) in Eingriff steht.
3. Integriertes Getriebe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Drehachse des Antriebsritzels (2.1), des Großrades (2.2), wenigstens eines Turbomaschinenritzels (3.11; 3.21, 3.31) und des Abtriebsritzels (2.3) im Wesentlichen in einer gemeinsamen Ebene angeordnet sind.
4. Integriertes Getriebe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Großrad (2.2) und das Abtriebsritzel (2.3) in einer gemeinsamen Transversalebene des Antriebsritzels (2.1) angeordnet sind.
5. Integriertes Getriebe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** es ein mehrteiliges Gehäuse aufweist, welches das Antriebsritzel (2.1), das Großrad (2.2), das Abtriebsritzel (2.3) und das wenigstens eine Turbomaschinenritzel (3.11, 3.21, 3.31) aufnimmt, wobei das Gehäuse in einer Ebene, in der eine Drehachse des Antriebsritzels, des Großrades, eines Turbomaschinenritzels und/oder des Abtriebsritzels angeordnet sind, geteilt ist.
6. Integriertes Getriebe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens eines von dem Antriebsritzel, dem Großrad, den Turbomaschinenritzeln und dem Abtriebsritzel axial in einem Gehäuse der Getriebeturbomaschine gelagert ist und wenigstens ein anderes von dem Antriebsritzel, dem Großrad, den Turbomaschinenritzeln und dem Abtriebsritzel sich axial an dem einen, axial in dem Gehäuse der Getriebeturbomaschine gelagerten von dem Antriebsritzel, dem Großrad, den Turbomaschinenritzeln und dem Abtriebsritzel, insbesondere über einen Druckkamm, abstützt.
7. Integriertes Getriebe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das drehzahluntersetzende Lastgetriebe eine Drehzahl des Antriebsritzels (2.1) mit einem Übersetzungsverhältnis ($i_{2.1/2.3}$) auf eine Drehzahl des Abtriebsritzels (2.3) reduziert, welches im Bereich von 1,25 bis 1,45, vorzugsweise im Bereich von 1,3 bis 1,4 und insbesondere im Bereich zwischen 1,32 bis 1,38 liegt, wobei das Übersetzungsverhältnis ($i_{2.1/2.3}$) als Quotient von Antriebsritzelndrehzahl dividiert durch Abtriebsritzelndrehzahl definiert ist.
8. Integriertes Getriebe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Turbomaschinenritzel (3.11, 3.21, 3.31) mit dem Antriebsritzel (2.1) ein Übersetzungsverhältnis ($i_{2.1/3.n1}$) aufweist, welches im Bereich von 0,28 bis 0,54, vorzugsweise im Bereich von 0,30 bis 0,52 und insbesondere im Bereich zwischen 0,32 bis 0,50 liegt, wobei das Übersetzungsverhältnis ($i_{2.1/3.n1}$) als Quotient von Antriebsritzelndrehzahl dividiert durch

Turbomaschinenritzdrehzahl definiert ist.

- 5
9. Integriertes Getriebe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Verzahnungsbreite des Antriebsritzels (2.1) wenigstens das 1,1-fache der Verzahnungsbreite des Großrades (2.2) beträgt.
10. Getriebeturbomaschine (2) für einen Maschinenstrang mit einem integrierten Getriebe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mit einer Turbomaschinenwelle eines Turbomaschinenrotors (3.10, 3.20, 3.30) wenigstens ein Laufrad (3.12, 3.13, 3.22, 3.23, 3.32, 3.33, 3.34) einer Kompressor- oder Expanderstufe der Getriebeturbomaschine drehfest verbunden ist.
- 10
11. Getriebeturbomaschine nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** mit wenigstens einer Turbomaschinenwelle eines Turbomaschinenrotors (3.10, 3.20, 3.30) ein Laufrad (3.12, 3.22, 3.32) einer Kompressor- oder Expanderstufe der Getriebeturbomaschine und ein weiteres Laufrad (3.13, 3.23, 3.33, 3.34) einer Kompressor- oder Expanderstufe der Getriebeturbomaschine drehfest verbunden ist.
- 15
12. Maschinenstrang mit einem Antriebsaggregat, insbesondere einer Dampfturbine (1), einer Gasturbine oder einem Expander, mit einer Getriebeturbomaschine (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche 10 bis 11, und mit einem weiteren, von der Getriebeturbomaschine getrennten Kompressor (4), insbesondere einem Hauptkompressor, der in axialer Richtung von der Getriebeturbomaschine (2) beabstandet ist.
- 20
13. Maschinenstrang nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** der weitere Kompressor ein, insbesondere als Axialkompressor, Radialkompressor, vorzugsweise mit horizontaler und/oder vertikaler Trennfuge, Radial-Isotermkompressor oder kombinierter Axial-Radialkompressor ausgebildeter Einwellenkompressor ist.
- 25
14. Maschinenstrang nach einem der vorhergehenden Ansprüche 12 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** der weitere Kompressor (4) in einem von einem Gehäuse der Getriebeturbomaschine (2) getrennten Gehäuse aufgenommen ist.
- 30
15. Maschinenstrang nach einem der vorhergehenden Ansprüche 12 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Getriebeturbomaschine als Boosterkompressor mit wenigstens einer Kompressorstufe ausgebildet ist, dem höchstens ein Teilmassenstrom von von dem Hauptkompressor komprimiertem Medium und/oder ein nicht von dem Hauptkompressor komprimiertes Medium zugeführt wird.
- 35
16. Maschinenstrang nach einem der vorhergehenden Ansprüche 12 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein kleinster durchströmter Querschnitt des weiteren Kompressors wenigstens das 1,05-fache, vorzugsweise wenigstens das 1,1-fache und insbesondere wenigstens das 1,2-fache des kleinsten durchströmten Querschnitts der Getriebeturbomaschine aufweist.
- 40
17. Maschinenstrang nach einem der Ansprüche 12 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** der weitere Kompressor (4) auf der dem Antriebsaggregat (1) gegenüberliegenden Seite der Getriebeturbomaschine (2) angeordnet ist.
- 45
18. Maschinenstrang, insbesondere nach einem der Ansprüche 12 bis 17, mit einer Dampfturbine (1), einer Getriebeturbomaschine (2), und einem separaten weiteren Kompressor (4), insbesondere einem Hauptkompressor, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dampfturbine (1) eine axiale Abströmung aufweist.
- 50
19. Maschinenstrang nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dampfturbine und ein der Dampfturbine nachgeschalteter Kondensator im Wesentlichen auf derselben horizontalen Ebene angeordnet sind.
- 55
20. Maschinenstrang nach einem der Ansprüche 12 bis 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Nennbetrieb wenigstens 50%, vorzugsweise wenigstens 60% der Leistung von der Antriebswelle auf die Antriebswelle übertragen werden.
21. Maschinenstrang nach einem der Ansprüche 12 bis 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** er eine antreibende Elektromaschine (5), insbesondere einen Motor oder einen Motor/Generator, und/oder eine antreibbare Elektromaschine, insbesondere einen Generator oder einen Motor/Generator, mit einer Elektromaschineneingangswelle (5.1) aufweist, die mit dem Antriebsritzel (2.1), dem Großrad (2.2), dem Abtriebsritzel (2.3) oder einem Turbomaschinenritzel (3.11) in Eingriff steht, drehfest verbunden oder gekuppelt ist.
22. Maschinenstrang nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Elektromaschineneingangswelle (5.1)

EP 2 128 448 A2

ein Elektromaschinenritzel (2.4) aufweist, das mit dem Großrad (2.2) und/oder einem Turbomaschinenritzel (3.31) eines Turbomaschinenrotors in Eingriff steht.

- 5
23. Maschinenstrang nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Drehachse des Antriebsritzels (2.1), des Großrades (2.2), wenigstens eines Turbomaschinenritzels (3.11, 3.31), des Abtriebsritzels (2.3) und des Elektromaschinenritzels (2.4) im Wesentlichen in einer gemeinsamen Ebene angeordnet sind.
- 10
24. Maschinenstrang nach einem der vorhergehenden Ansprüche 22 bis 23, **dadurch gekennzeichnet, dass** es ein mehrteiliges Gehäuse aufweist, welches das Antriebsritzel (2.1), das Großrad (2.2), das Abtriebsritzel (2.3), wenigstens ein Turbomaschinenritzel (3.11, 3.21, 3.31) und das Elektromaschinenritzel (2.4) aufnimmt, wobei das Gehäuse in einer Ebene, in der eine Drehachse des Antriebsritzels, des Großrades, eines Turbomaschinenritzels, des Elektromaschinenritzels und/oder des Abtriebsritzels angeordnet sind, geteilt ist.
- 15
25. Maschinenstrang nach einem der vorhergehenden Ansprüche 22 bis 24, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens eines von dem Antriebsritzel, dem Großrad, den Turbomaschinenritzeln, dem Elektromaschinenritzel und dem Abtriebsritzel axial in einem Gehäuse der Getriebeturbomaschine gelagert ist und wenigstens ein anderes von dem Antriebsritzel, dem Großrad, den Turbomaschinenritzeln, dem Elektromaschinenritzel und dem Abtriebsritzel sich axial an dem einen, axial in dem Gehäuse der Getriebeturbomaschine gelagerten von dem Antriebsritzel, dem Großrad, den Turbomaschinenritzeln, dem Elektromaschinenritzel und dem Abtriebsritzel, insbesondere über einen Druckkamm, abstützt.
- 20

25

30

35

40

45

50

55

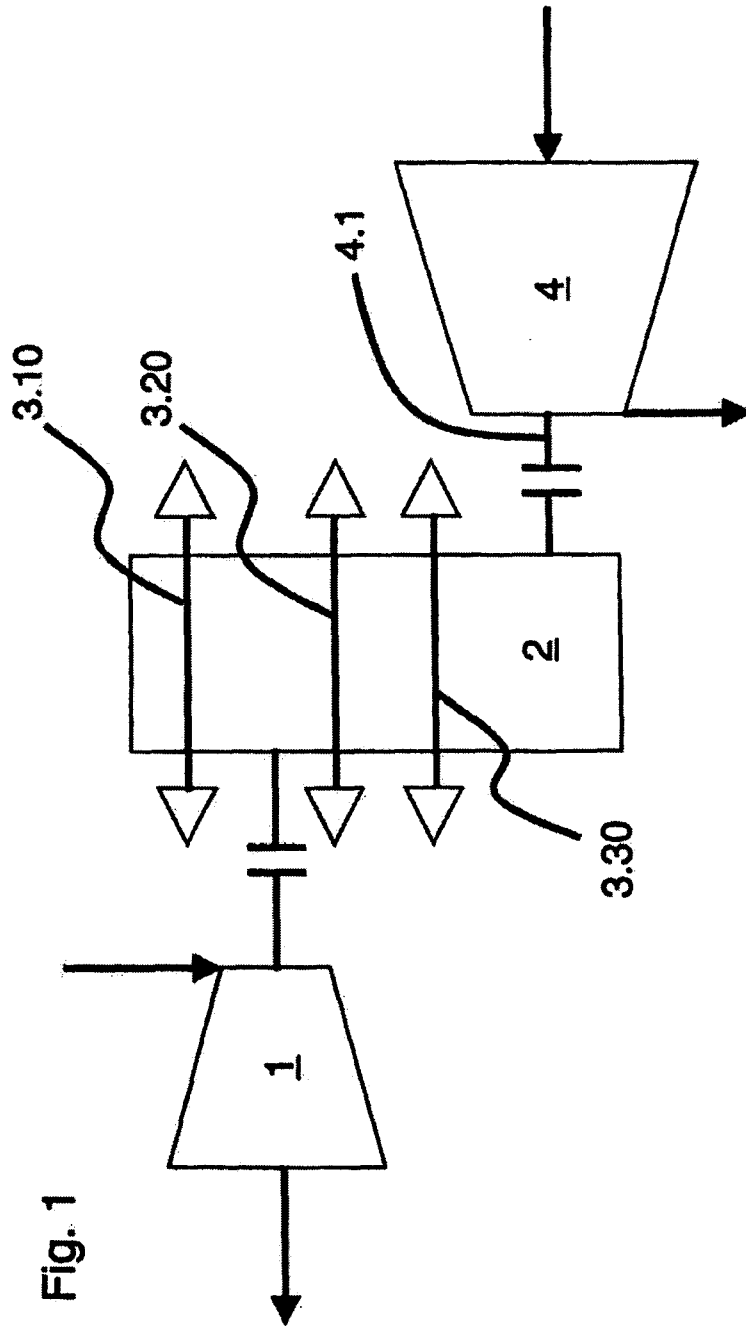


Fig. 1

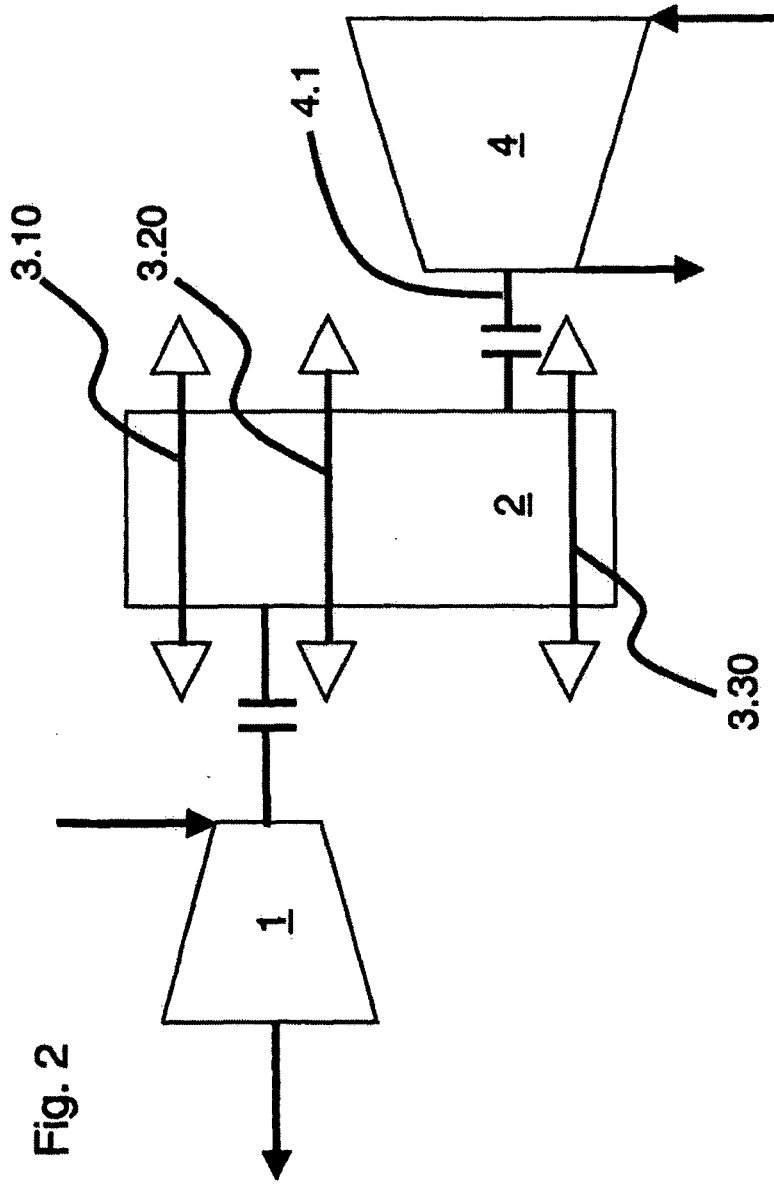


Fig. 2

Fig. 3A

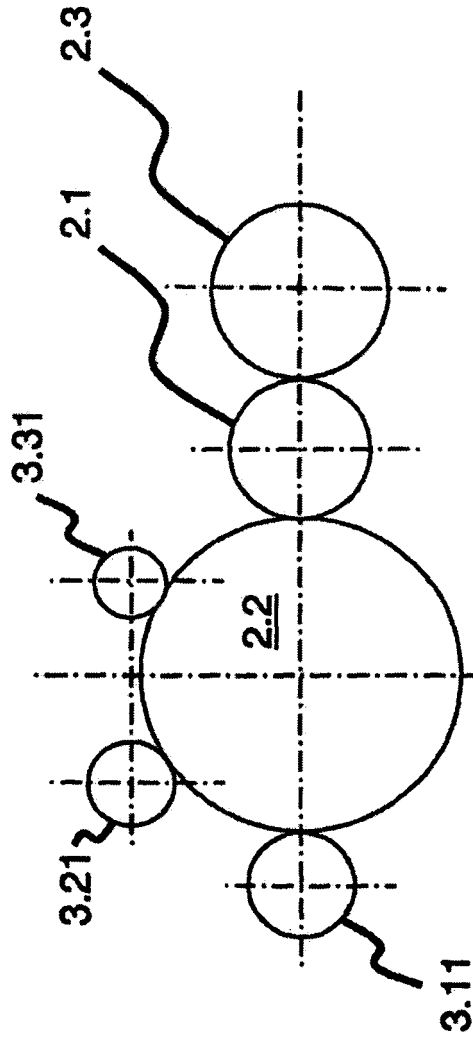
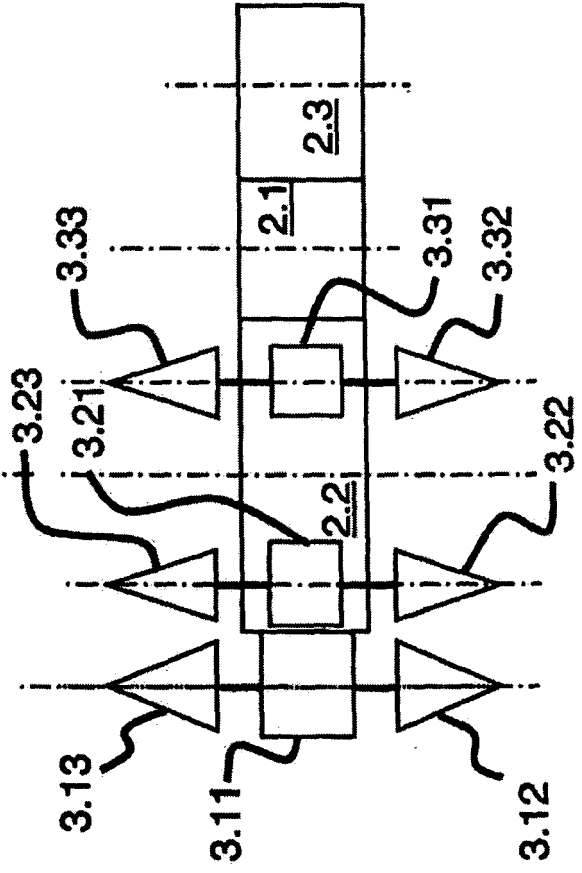
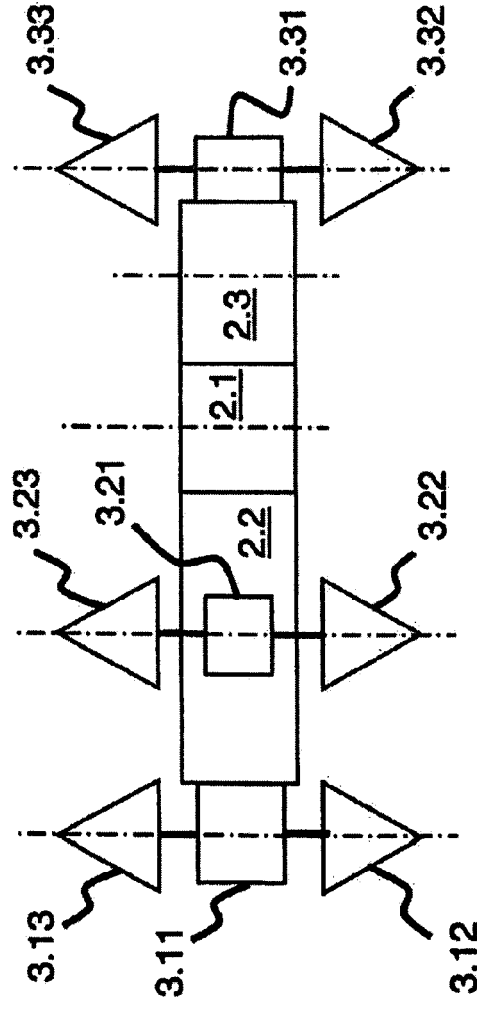
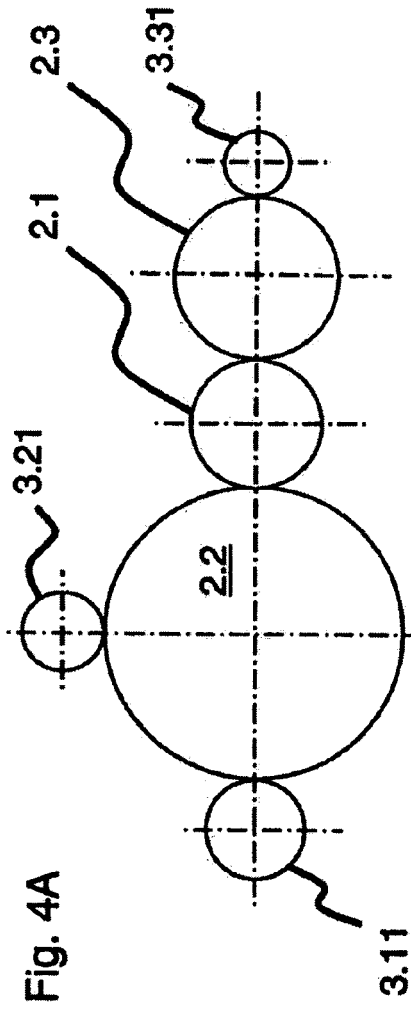


Fig. 3B





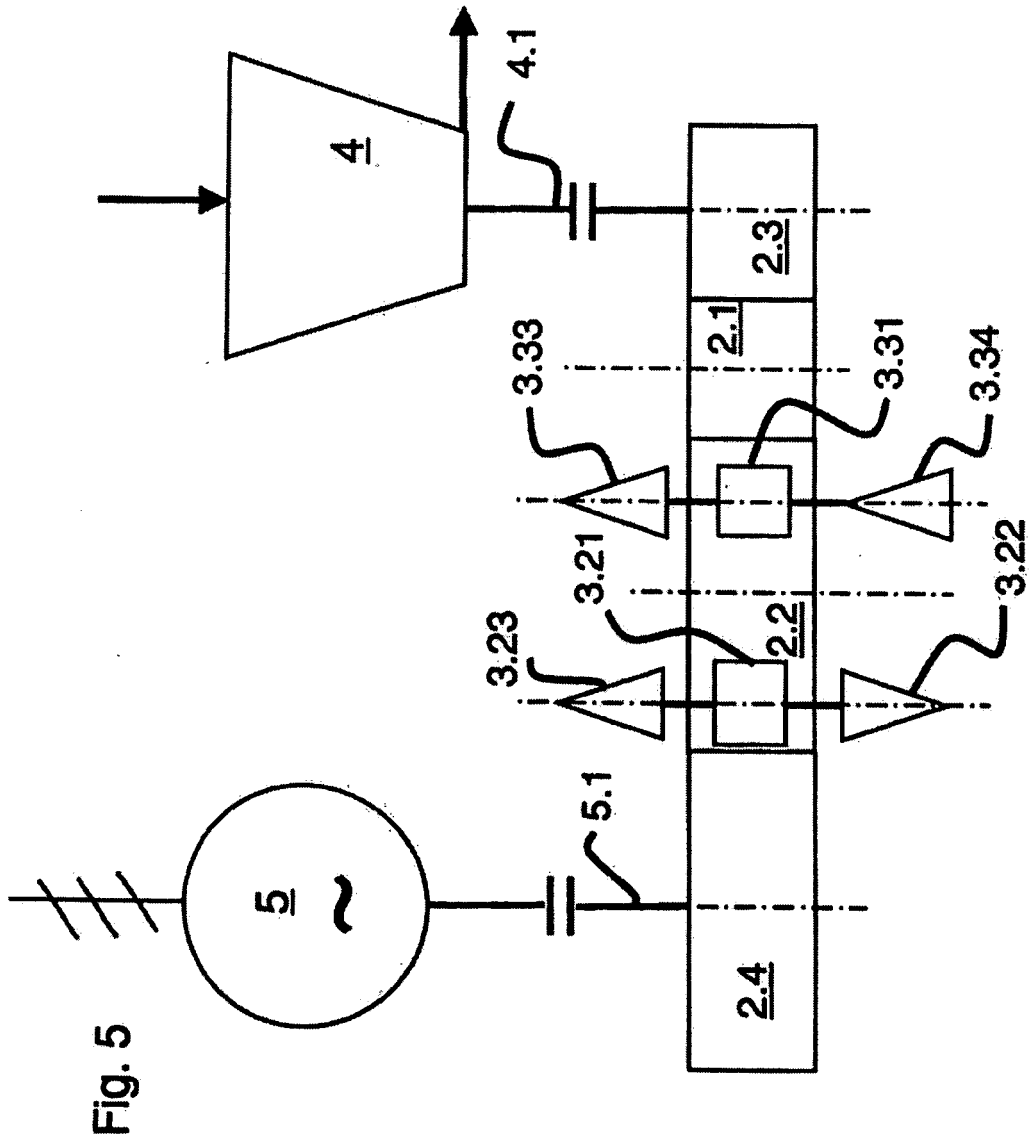


Fig. 5

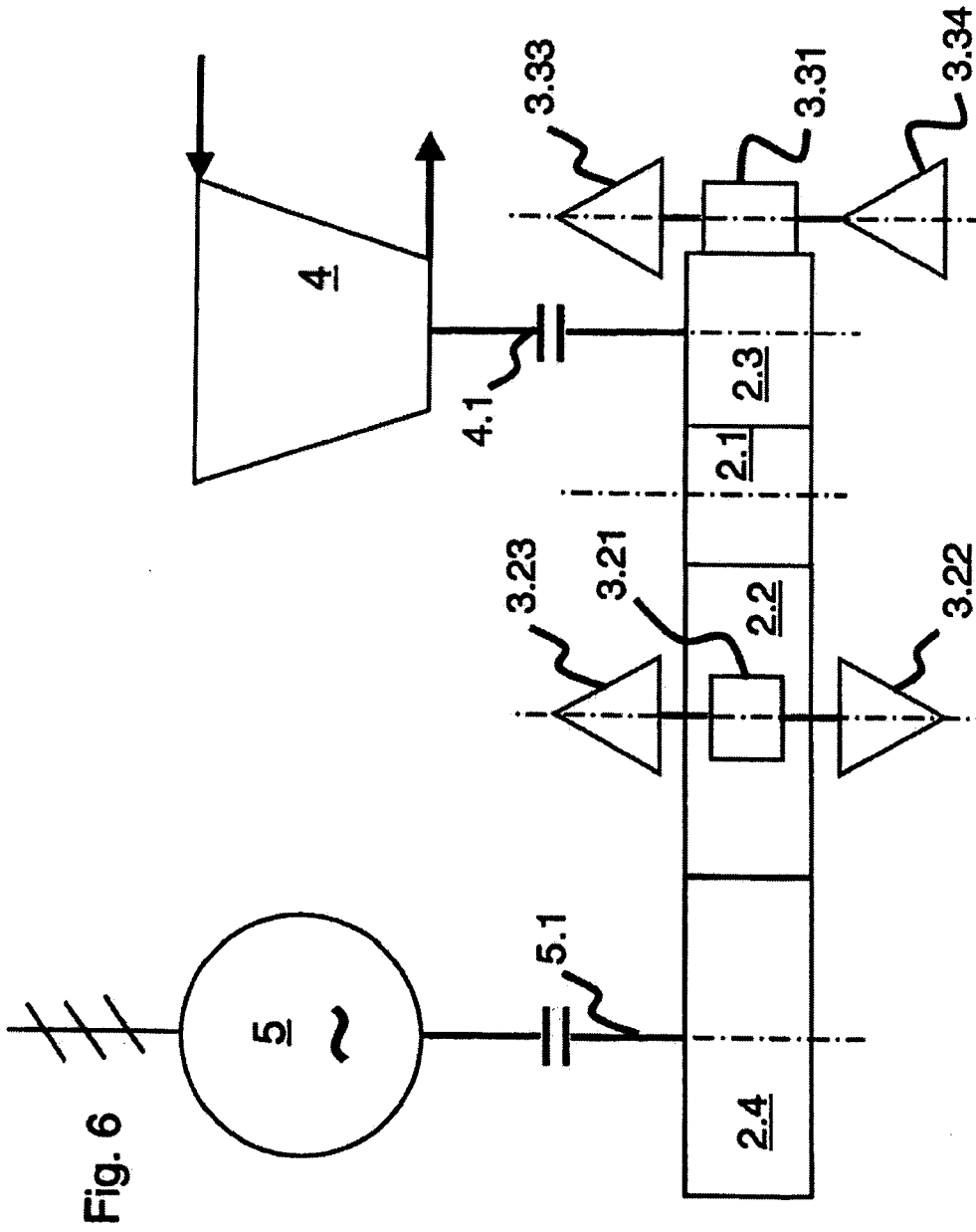


Fig. 6

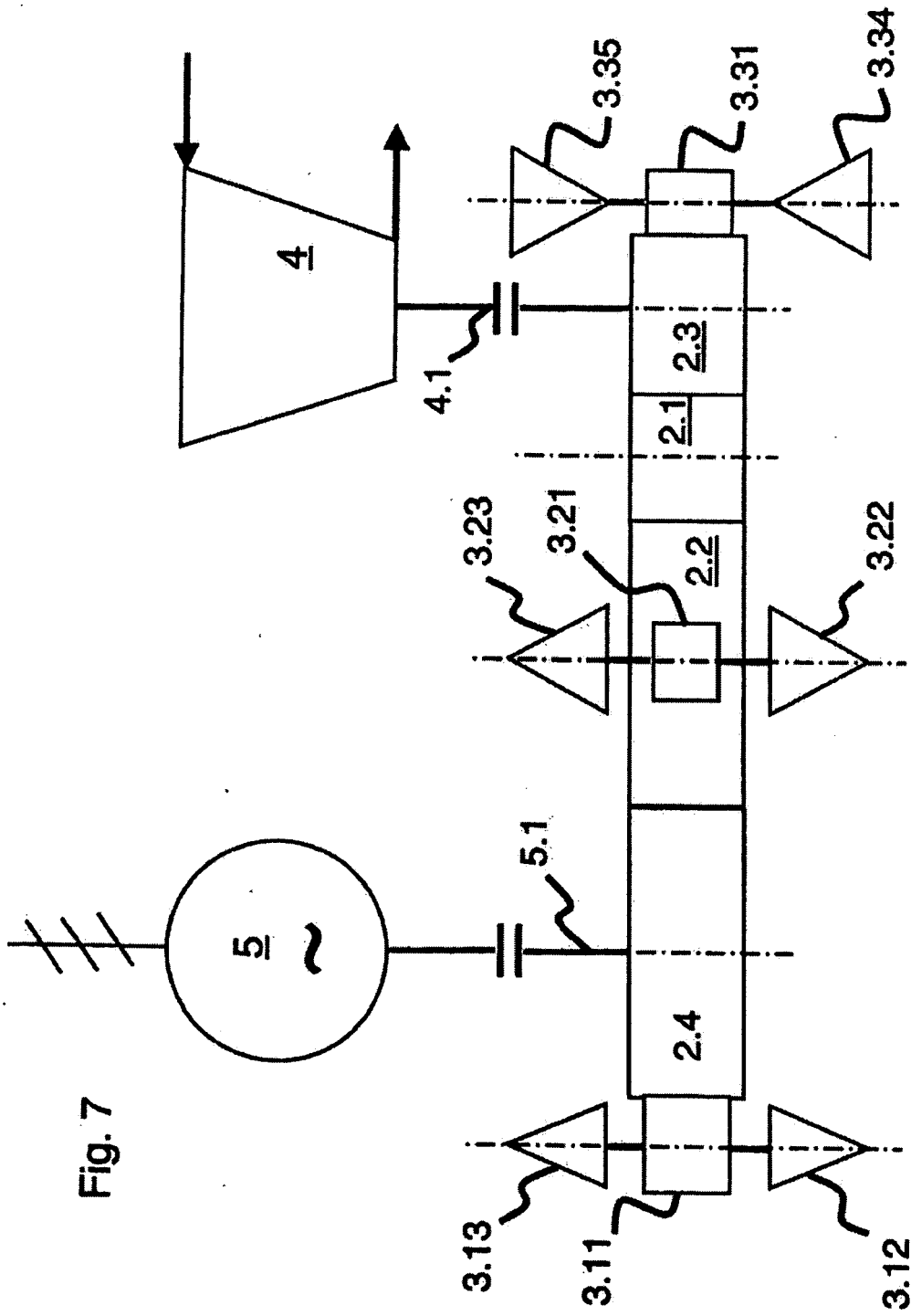


Fig. 7

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1691081 A2 [0005]
- DE 4241141 A1 [0005] [0027] [0032] [0052]
- DE 2413674 C2 [0005]
- DE GM7122098 [0006]