



(10) **DE 10 2018 212 160 A1** 2020.01.23

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 212 160.5**

(22) Anmeldetag: **20.07.2018**

(43) Offenlegungstag: **23.01.2020**

(51) Int Cl.: **F02C 7/36 (2006.01)**

F16H 57/08 (2006.01)

F16H 57/025 (2012.01)

(71) Anmelder:
**Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG, 15827
Blankenfelde-Mahlow, DE**

(74) Vertreter:
**Maikowski & Ninnemann Patentanwälte
Partnerschaft mbB, 10707 Berlin, DE**

(72) Erfinder:
**Schwengler, Jonas, Dipl.-Ing., 15827
Blankenfelde-Mahlow, DE; Krüger, David, Dr.-Ing.,
15827 Blankenfelde-Mahlow, DE; Nique, Michael,
Dipl.-Ing., 15827 Blankenfelde-Mahlow, DE**

(56) Ermittelte Stand der Technik:

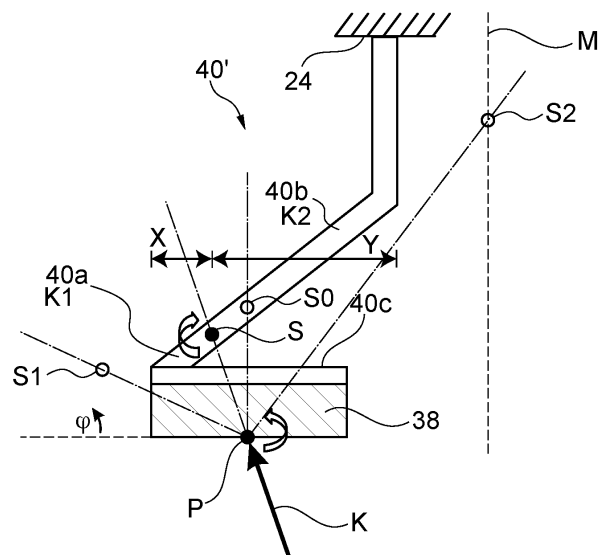
US	2016 / 0 097 330	A1
US	2016 / 0 376 984	A1

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Getriebeanordnung und Verfahren zu deren Herstellung**

(57) Zusammenfassung: Eine Getriebeanordnung für ein Gasturbinentriebwerk (10) umfasst ein Planetengetriebe (30) mit zumindest einem Hohlrad (38) und zumindest einem Planetenrad (32), das beim Abrollen am Hohlrad (38) darauf eine Kraft in Richtung eines Kraftvektors (K) ausübt; und eine Halteinrichtung (40; 40') zur Befestigung des zumindest einen Hohlrades (38) an einer anderen Struktur (24), mit einem ersten Abschnitt (40a), der sich in axialer Richtung auf einer Seite des Kraftvektors (K) und/oder einer geraden Verlängerung davon erstreckt, und mit einem zweiten Abschnitt (40b), der sich in axialer Richtung auf der anderen Seite des Kraftvektors (K) und/oder der geraden Verlängerung davon erstreckt. Ferner werden ein Gasturbinentriebwerk und ein Verfahren zur Herstellung einer Getriebeanordnung bereitgestellt.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Offenbarung bezieht sich auf eine Getriebeanordnung gemäß Anspruch 1, auf ein Gasturbinenriebwerk und auf ein Verfahren zur Herstellung einer Getriebeanordnung gemäß Anspruch 12.

[0002] Zur Übertragung von großen Drehmomenten werden regelmäßig Getriebeanordnungen eingesetzt, die ein Planetengetriebe umfassen, das mittels einer Halteeinrichtung an einer tragenden Struktur montiert ist. Planetengetriebe können als Untersetzungsgetriebe eingesetzt werden, z.B. um mittels einer schnell drehenden Welle eines Gasturbinenriebwerks einen Fan mit einer niedrigeren Drehzahl anzutreiben. Dies ermöglicht einen besonders großen Durchmesser des Fans trotz einer hohen Drehzahl einer die Welle antreibenden Turbine.

[0003] Um den Belastungen im Betrieb dauerhaft standzuhalten, sind insbesondere Planetengetriebe von Gasturbinenriebwerken entsprechend massiv ausgeführt. Allerdings kann ein hohes Gewicht zu einem erhöhten Treibstoffverbrauch führen, wenn das Gasturbinenriebwerk z.B. in einem Flugzeug eingesetzt wird.

[0004] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine verbesserte Getriebeanordnung mit einem Planetengetriebe zu schaffen.

[0005] Gemäß einem Aspekt wird eine Getriebeanordnung für ein Gasturbinenriebwerk bereitgestellt, umfassend ein Planetengetriebe oder Umlaufrädergetriebe und eine Halteeinrichtung. Das Planetengetriebe umfasst zumindest ein Hohlrads und zumindest ein Planetenrad, wobei das Planetenrad beim Abrollen am Hohlrads eine Kraft darauf in Richtung eines Kraftvektors ausübt. Die Halteeinrichtung ist ausgebildet zur Befestigung des zumindest einen Hohlrads an einer anderen Struktur, z.B. einer stationären Stützstruktur des Gasturbinenriebwerks. Dabei ist vorgesehen, dass die Halteeinrichtung einen ersten Abschnitt und einen zweiten Abschnitt umfasst, wobei sich der erste Abschnitt in axialer Richtung auf einer Seite des (resultierenden) Kraftvektors und/oder einer geraden Verlängerung davon erstreckt (insbesondere ausschließlich) und sich der zweite Abschnitt auf der anderen Seite des Kraftvektors und/oder der geraden Verlängerung davon erstreckt (insbesondere ausschließlich). Insbesondere kann vorgesehen sein, dass sich der erste Abschnitt in einer Querschnittsfläche entlang einer Mittelachse des Hohlrads auf der einen Seite des auf die Querschnittsfläche projizierten Kraftvektors und/oder einer geraden Verlängerung davon erstreckt, der zweite Abschnitt auf der anderen Seite.

[0006] Eine derartig ausgebildete Getriebeanordnung ist insbesondere dahingehend verbessert, dass eine besonders ausgeglichene Belastung des Hohlrads durch die Planetenräder möglich ist. Hierdurch werden das Hohlrads und die Planetenräder gleichmäßig belastet und die Zahnbeanspruchung kann verringert werden. Dies ermöglicht eine erhöhte Lebensdauer und/oder ein verringertes Gewicht.

[0007] Der erste und der zweite Abschnitt können (insbesondere in Bezug auf die Querschnittsfläche entlang der Mittelachse des Hohlrads) jeweils eine Drehsteifigkeit aufweisen, wobei das Verhältnis dieser Drehsteifigkeiten $1,0 \pm 0,2$ beträgt, insbesondere $1,0 \pm 0,1$ beträgt, insbesondere $1,0 \pm 0,05$, insbesondere 1,0. Die Drehsteifigkeiten können also gleich oder im Wesentlichen gleich sein. Hierdurch ist es möglich, dass eine elastische Verformung des Hohlrads infolge der durch das Planetenrad ausgeübten Kraft nur in radialer Richtung erfolgt, nicht oder nur unwesentlich in axialer Richtung. Dies ermöglicht eine besonders gleichmäßige Belastung.

[0008] Der erste Abschnitt verbindet in einer Ausgestaltung das zumindest eine Hohlrads mit dem zweiten Abschnitt. Der erste Abschnitt ist optional über den zweiten Abschnitt mit der anderen Struktur verbunden oder verbindbar.

[0009] Das Planetengetriebe kann eine Schrägverzahnung aufweisen, insbesondere eine doppelte Schrägverzahnung, z.B. eine Pfeilverzahnung. Alternativ ist jedoch auch eine Geradverzahnung denkbar. Ein schrägverzahntes Hohlrads eines Planetengetriebes erfährt Kräfte, die im Querschnitt zu einem Verkippen des Hohlrads führen könnten. Hierdurch wären die Zähne der Planetenräder und des Hohlrads nicht optimal aufeinander ausgerichtet, woraus eine erhöhte Zahnbelastung folgen könnte. Insbesondere in Kombination mit den gleichen oder im Wesentlichen gleichen Drehsteifigkeiten des ersten und des zweiten Abschnitts der Halteeinrichtung kann einem solchen Verkippen entgegengewirkt werden.

[0010] Optional ist das Planetengetriebe derart doppelt schrägverzahnt, dass Axialkräfte beim Abrollen des zumindest einen Planetenrades am Hohlrads nach außen gerichtet sind. Hierdurch kann z.B. Schmiermittel einfach herausgedrückt werden.

[0011] Die Halteeinrichtung kann zur Lastenentkopplung eine flexible Aufhängung des Hohlrads bereitstellen. Die flexible Aufhängung ermöglicht z.B. bei Lastwechseln eine Bewegbarkeit des Planetengetriebes relativ zur anderen Struktur, z.B. der stationären Stützstruktur des Gasturbinenriebwerks.

[0012] Optional sind der erste und der zweite Abschnitt einstückig miteinander ausgebildet, alternativ dazu mehrstückig und aneinander befestigt.

[0013] Der erste und der zweite Abschnitt können unterschiedliche Materialstärken aufweisen und/oder aus unterschiedlichen Materialien hergestellt sein. Hierdurch ist es möglich (z.B. je nach Lage des Kraftvektors), trotz optional unterschiedlicher Längen des ersten und zweiten Abschnitts, gleiche oder im Wesentlichen gleiche Drehsteifigkeiten zu erzielen.

[0014] Ein Aspekt betrifft ein Triebwerk, insbesondere für ein Luftfahrzeug, umfassend eine Kernwelle, einen Fan mit mehreren Fanschaufeln; und zumindest eine Getriebeanordnung nach einer beliebigen, hierin beschriebenen Ausgestaltung mit einem Planetengetriebe, das von der Kernwelle antreibbar ist, wobei der Fan mittels des Planetengetriebes mit einer niedrigeren Drehzahl als die Kernwelle antreibbar ist. Bei dem Triebwerk handelt es sich z.B. um ein Gasturbinentriebwerk oder um ein elektrisch angetriebenes Triebwerk (z.B. ein e-Fan).

[0015] Ein Aspekt betrifft ein Gasturbinentriebwerk für ein Luftfahrzeug, umfassend ein Kerntriebwerk, das eine Turbine, einen Verdichter und eine die Turbine mit dem Verdichter verbindende Kernwelle umfasst; einen Fan, der stromaufwärts des Kerntriebwerks positioniert ist, wobei der Fan mehrere Fanschaufeln umfasst; und eine Getriebeanordnung nach einer beliebigen, hierin beschriebenen Ausgestaltung, mit einem Planetengetriebe, das von der Kernwelle antreibbar ist, wobei der Fan mittels des Planetengetriebes mit einer niedrigeren Drehzahl als die Kernwelle antreibbar ist.

[0016] Bei dem Gasturbinentriebwerk kann die Turbine eine erste Turbine sein, der Verdichter ein erster Verdichter sein und die Kernwelle eine erste Kernwelle sein. Optional umfasst das Kerntriebwerk ferner eine zweite Turbine, einen zweiten Verdichter und eine zweite Kernwelle, die die zweite Turbine mit dem zweiten Verdichter verbindet, umfasst; und die zweite Turbine, der zweite Verdichter und die zweite Kernwelle dahingehend angeordnet sind, sich mit einer höheren Drehzahl als die erste Kernwelle zu drehen.

[0017] Wie hier an anderer Stelle angeführt wird, kann sich die vorliegende Offenbarung auf ein Gasturbinentriebwerk, z.B. ein Flugzeugtriebwerk, beziehen. Solch ein Gasturbinentriebwerk kann ein Kerntriebwerk umfassen, das eine Turbine, eine Brennvorrichtung, einen Verdichter und eine die Turbine mit dem Verdichter verbindende Kernwelle umfasst. Solch ein Gasturbinentriebwerk kann einen Fan (mit Fanschaufeln) umfassen, der stromaufwärts des Kerntriebwerks positioniert ist.

[0018] Das Gasturbinentriebwerk kann ein Planetengetriebe umfassen, das über die Kernwelle angetrieben wird und dessen Abtrieb den Fan so antreibt, dass er eine niedrigere Drehzahl als die Kernwelle aufweist. Der Eingang für das Planetengetriebe kann

direkt von der Kernwelle oder indirekt über die Kernwelle, beispielsweise über eine Stirnwelle und/oder ein Stirnzahnrad, erfolgen. Die Kernwelle kann mit der Turbine und dem Verdichter starr verbunden sein, so dass sich die Turbine und der Verdichter mit derselben Drehzahl drehen (wobei sich der Fan mit einer niedrigeren Drehzahl dreht).

[0019] Das Gasturbinentriebwerk, das hier beschrieben und/oder beansprucht wird, kann eine beliebige geeignete allgemeine Architektur aufweisen. Beispielsweise kann das Gasturbinentriebwerk eine beliebige gewünschte Anzahl an Wellen aufweisen, die Turbinen und Verdichter verbinden, beispielsweise eine, zwei oder drei Wellen. Lediglich beispielhaft kann die mit der Kernwelle verbundene Turbine eine erste Turbine sein, der mit der Kernwelle verbundene Verdichter kann ein erster Verdichter sein und die Kernwelle kann eine erste Kernwelle sein. Das Kerntriebwerk kann ferner eine zweite Turbine, einen zweiten Verdichter und eine zweite Kernwelle, die die zweite Turbine mit dem zweiten Verdichter verbindet, umfassen. Die zweite Turbine, der zweite Verdichter und die zweite Kernwelle können dahingehend angeordnet sein, sich mit einer höheren Drehzahl als die erste Kernwelle zu drehen.

[0020] Bei einer solchen Anordnung kann der zweite Verdichter axial stromabwärts des ersten Verdichters positioniert sein. Der zweite Verdichter kann dahingehend angeordnet sein, eine Strömung von dem ersten Verdichter aufzunehmen (beispielsweise direkt aufzunehmen, beispielsweise über einen generell ringförmigen Kanal).

[0021] Das Planetengetriebe kann dahingehend ausgebildet sein, dass es von der Kernwelle angetrieben wird, die dazu konfiguriert ist, sich (beispielsweise im Gebrauch) mit der niedrigsten Drehzahl zu drehen (beispielsweise die erste Kernwelle in dem obigen Beispiel). Beispielsweise kann das Planetengetriebe dahingehend ausgebildet sein, dass es lediglich von der Kernwelle angetrieben wird, die dazu konfiguriert ist, sich (beispielsweise im Gebrauch) mit der niedrigsten Drehzahl zu drehen (beispielsweise nur von der ersten Kernwelle und nicht der zweiten Kernwelle bei dem obigen Beispiel). Alternativ dazu kann das Planetengetriebe dahingehend ausgebildet sein, dass es von einer oder mehreren Wellen angetrieben wird, beispielsweise der ersten und/oder der zweiten Welle in dem obigen Beispiel.

[0022] Bei einem Gasturbinentriebwerk, das hier beschrieben und/oder beansprucht wird, kann eine Brennvorrichtung axial stromabwärts des Fans und des Verdichters (oder der Verdichter) vorgesehen sein. Beispielsweise kann die Brennvorrichtung direkt stromabwärts des zweiten Verdichters (beispielsweise an dessen Ausgang) liegen, wenn ein zweiter Verdichter vorgesehen ist. Als ein weiteres

Beispiel kann die Strömung am Ausgang des Verdichters dem Einlass der zweiten Turbine zugeführt werden, wenn eine zweite Turbine vorgesehen ist. Die Brennvorrichtung kann stromaufwärts der Turbine (der Turbinen) vorgesehen sein.

[0023] Der oder jeder Verdichter (beispielsweise der erste Verdichter und der zweite Verdichter gemäß obiger Beschreibung) kann eine beliebige Anzahl an Stufen, beispielsweise mehrere Stufen, umfassen. Jede Stufe kann eine Reihe von Rotorscheaufeln und eine Reihe von Statorschaufeln umfassen, bei denen es sich um variable Statorschaufeln handeln kann (d.h. der Anstellwinkel kann variabel sein). Die Reihe von Rotorscheaufeln und die Reihe von Statorschaufeln können axial zueinander versetzt sein.

[0024] Die oder jede Turbine (beispielsweise die erste Turbine und die zweite Turbine gemäß obiger Beschreibung) kann eine beliebige Anzahl an Stufen, beispielsweise mehrere Stufen, umfassen. Jede Stufe kann eine Reihe von Rotorscheaufeln und eine Reihe von Statorschaufeln umfassen. Die Reihe von Rotorscheaufeln und die Reihe von Statorschaufeln können axial zueinander versetzt sein.

[0025] Jede Fanschaufel kann eine radiale Spannweite aufweisen, die sich von einem Fuß (oder einer Nabe) an einer radial innenliegenden, von Gas überströmten Stelle oder sich von einer Position einer Spannweite von 0 % zu einer Spitze mit einer Spannweite von 100 % erstreckt. Das Verhältnis des Radius der Fanschaufel an der Nabe zu dem Radius der Fanschaufel an der Spitze kann bei weniger als (oder in der Größenordnung von): 0,4, 0,39, 0,38, 0,37, 0,36, 0,35, 0,34, 0,33, 0,32, 0,31, 0,3, 0,29, 0,28, 0,27, 0,26 oder 0,25 liegen. Das Verhältnis des Radius der Fanschaufel an der Nabe zu dem Radius der Fanschaufel an der Spitze kann in einem abgeschlossenen Bereich liegen, der von zwei Werten im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h. die Werte können obere oder untere Grenzen bilden). Diese Verhältnisse können allgemein hin als das Nabe-Spitze-Verhältnis bezeichnet werden. Der Radius an der Nabe und der Radius an der Spitze können beide an der vorderen Kante (oder der axial am weitesten vorne liegenden Kante) der Schaufel gemessen werden. Das Nabe-Spitze-Verhältnis bezieht sich natürlich auf den von Gas überströmten Abschnitt der Fanschaufel, d. h. den Abschnitt, der sich radial außerhalb jeglicher Plattform befindet.

[0026] Der Radius des Fans kann zwischen der Mittellinie des Triebwerks und der Spitze der Fanschaufel an ihrer vorderen Kante gemessen werden. Der Durchmesser des Fans (der allgemein das Doppelte des Radius des Fans sein kann) kann größer als (oder in der Größenordnung von): 250 cm (etwa 100 Inch), 260 cm, 270 cm (etwa 105 Inch), 280 cm (etwa 110 Inch), 290 cm (etwa 115 Inch), 300 cm (et-

wa 120 Inch), 310 cm, 320 cm (etwa 125 Inch), 330 cm (etwa 130 Inch), 340 cm (etwa 135 Inch), 350 cm, 360 cm (etwa 140 Inch), 370 cm (etwa 145 Inch), 380 cm (etwa 150 Inch) oder 390 cm (etwa 155 Inch) sein (liegen). Der Fandurchmesser kann in einem abgeschlossenen Bereich liegen, der von zwei der Werte im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h. die Werte können obere oder untere Grenzen bilden).

[0027] Die Drehzahl des Fans kann im Betrieb variieren. Allgemein ist die Drehzahl geringer für Fans mit einem größeren Durchmesser. Lediglich als ein nicht einschränkendes Beispiel kann die Drehzahl des Fans bei Konstantgeschwindigkeitsbedingungen weniger als 2500 U/min, beispielsweise weniger als 2300 U/min, betragen. Lediglich als ein weiteres nicht einschränkendes Beispiel kann auch die Drehzahl des Fans bei Konstantgeschwindigkeitsbedingungen für ein Triebwerk mit einem Fandurchmesser im Bereich von 250 cm bis 300 cm (beispielsweise 250 cm bis 280 cm) im Bereich von 1700 U/min bis 2500 U/min, beispielsweise im Bereich von 1800 U/min bis 2300 U/min, beispielsweise im Bereich von 1900 U/min bis 2100 U/min, liegen. Lediglich als ein weiteres nicht einschränkendes Beispiel kann die Drehzahl des Fans bei Konstantgeschwindigkeitsbedingungen für ein Triebwerk mit einem Fandurchmesser im Bereich von 320 cm bis 380 cm in dem Bereich von 1200 U/min bis 2000 U/min, beispielsweise in dem Bereich von 1300 U/min bis 1800 U/min, beispielsweise in dem Bereich von 1400 U/min bis 1600 U/min, liegen.

[0028] Im Gebrauch des Gasturbinentriebwerks dreht sich der Fan (mit zugehörigen Fanschaufeln) um eine Drehachse. Diese Drehung führt dazu, dass sich die Spitze der Fanschaufel mit einer Geschwindigkeit U_{Spitze} bewegt. Die von den Fanschaufeln an der Strömung verrichtete Arbeit resultiert in einem Anstieg der Enthalpie dH der Strömung. Eine Fanspitzenbelastung kann als dH/U_{Spitze}^2 definiert werden, wobei dH der Enthalpieanstieg (beispielsweise der durchschnittliche 1-D-Enthalpieanstieg) über den Fan hinweg ist und U_{Spitze} die (Translations-) Geschwindigkeit der Fanspitze, beispielsweise an der vorderen Kante der Spitze, ist (die als Fanspitzenradius am vorderen Rand multipliziert mit der Winkelgeschwindigkeit definiert werden kann). Die Fanspitzenbelastung bei Konstantgeschwindigkeitsbedingungen kann mehr als (oder in der Größenordnung von): 0,3, 0,31, 0,32, 0,33, 0,34, 0,35, 0,36, 0,37, 0,38, 0,39 oder 0,4 betragen (liegen) (wobei alle Einheiten in diesem Abschnitt $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}/(\text{ms}^{-1})^2$ sind). Die Fanspitzenbelastung kann in einem abgeschlossenen Bereich liegen, der von zwei der Werte im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h. die Werte können obere oder untere Grenzen bilden).

[0029] Gasturbinentriebwerke gemäß der vorliegenden Offenbarung können ein beliebiges gewünschtes Bypassverhältnis aufweisen, wobei das Bypass-

verhältnis als das Verhältnis des Massendurchsatzes der Strömung durch den Bypasskanal zu dem Massendurchsatz der Strömung durch den Kern bei Konstantgeschwindigkeitsbedingungen definiert wird. Bei einigen Anordnungen kann das Bypassverhältnis mehr als (oder in der Größenordnung von): 10, 10,5, 11, 11,5, 12, 12,5, 13, 13,5, 14, 14,5, 15, 15,5, 16, 16,5 oder 17 betragen (liegen). Das Bypassverhältnis kann in einem abgeschlossenen Bereich liegen, der von zwei der Werte im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h. die Werte können obere oder untere Grenzen bilden). Der Bypasskanal kann im Wesentlichen ringförmig sein. Der Bypasskanal kann sich radial außerhalb des Kerntriebwerks befinden. Die radial äußere Fläche des Bypasskanals kann durch eine Triebwerksgondel und/oder ein Fangehäuse definiert werden.

[0030] Das Gesamtdruckverhältnis eines Gasturbinentriebwerks, das hier beschrieben und/oder beansprucht wird, kann als das Verhältnis des Staudrucks stromaufwärts des Fans zu dem Staudruck am Ausgang des Höchstdruckverdichters (vor dem Eingang in die Brennvorrichtung) definiert werden. Als ein nicht einschränkendes Beispiel kann das Gesamtdruckverhältnis eines Gasturbinentriebwerks, das hier beschrieben und/oder beansprucht wird, bei Konstantgeschwindigkeit mehr als (oder in der Größenordnung von): 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 betragen (liegen). Das Gesamtdruckverhältnis kann in einem abgeschlossenen Bereich liegen, der von zwei der Werte im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h. die Werte können obere oder untere Grenzen bilden).

[0031] Der spezifische Schub eines Triebwerks kann als der Nettoschub des Triebwerks dividiert durch den Gesamtmassenstrom durch das Triebwerk hindurch definiert werden. Bei Konstantgeschwindigkeitsbedingungen kann der spezifische Schub eines Triebwerks, das hier beschrieben und/oder beansprucht wird, weniger als (oder in der Größenordnung von): 110 N kg⁻¹ s, 105 Nkg⁻¹s, 100 Nkg⁻¹s, 95 Nkg⁻¹s, 90 Nkg⁻¹s, 85 Nkg⁻¹s oder 80 Nkg⁻¹s betragen (liegen). Der spezifische Schub kann in einem abgeschlossenen Bereich liegen, der von zwei der Werte im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h. die Werte können obere oder untere Grenzen bilden). Solche Triebwerke können im Vergleich zu herkömmlichen Gasturbinentriebwerken besonders effizient sein.

[0032] Ein Gasturbinentriebwerk, das hier beschrieben und/oder beansprucht wird, kann einen beliebigen gewünschten Höchstschub aufweisen. Lediglich als ein nicht einschränkendes Beispiel kann eine Gasturbine, die hier beschrieben und/oder beansprucht wird, zur Erzeugung eines Höchstschubs von mindestens (oder in der Größenordnung von): 160 kN, 170 kN, 180 kN, 190 kN, 200 kN, 250 kN, 300 kN, 350 kN, 400 kN, 450 kN, 500 kN oder 550kN in

der Lage sein. Der Höchstschub kann in einem abgeschlossenen Bereich liegen, der von zwei der Werte im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h. die Werte können obere oder untere Grenzen bilden). Der Schub, auf den oben Bezug genommen wird, kann der Nettohöchstschub bei standardmäßigen atmosphärischen Bedingungen auf Meereshöhe plus 15 °C (Umgebungsdruck 101,3 kPa, Temperatur 30 °C) bei statischem Triebwerk sein.

[0033] Im Gebrauch kann die Temperatur der Strömung am Eingang der Hochdruckturbine besonders hoch sein. Diese Temperatur, die als TET bezeichnet werden kann, kann an dem Ausgang zur Brennvorrichtung, beispielsweise unmittelbar stromaufwärts der ersten Turbinenschaufel, die wiederum als eine Düsenleitschaufel bezeichnet werden kann, gemessen werden. Bei Konstantgeschwindigkeit kann die TET mindestens (oder in der Größenordnung von): 1400 K, 1450 K, 1500 K, 1550 K, 1600 K oder 1650 K betragen (liegen). Die TET bei Konstantgeschwindigkeit kann in einem abgeschlossenen Bereich liegen, der von zwei der Werte im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h. die Werte können obere oder untere Grenzen bilden). Die maximale TET im Gebrauch des Triebwerks kann beispielsweise mindestens (oder in der Größenordnung von): 1700 K, 1750 K, 1800 K, 1850 K, 1900 K, 1950 K oder 2000 K betragen (liegen). Die maximale TET kann in einem abgeschlossenen Bereich liegen, der von zwei der Werte im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h. die Werte können obere oder untere Grenzen bilden). Die maximale TET kann beispielsweise bei einer Bedingung von hohem Schub, beispielsweise bei einer MTO-Bedingung (MTO - Maximum Take-Off thrust - maximaler Startschub), auftreten.

[0034] Eine Fanschaufel und/oder ein Blattabschnitt (aerofoil) einer Fanschaufel, die hier beschrieben und/oder beansprucht wird, kann aus einem beliebigen geeigneten Material oder einer Kombination aus Materialien hergestellt werden. Beispielsweise kann zumindest ein Teil der Fanschaufel und/oder des Blatts zumindest zum Teil aus einem Verbundstoff, beispielsweise einem Metallmatrix-Verbundstoff und/oder einem Verbundstoff mit organischer Matrix, wie z. B. Kohlefaser, hergestellt werden. Als ein weiteres Beispiel kann zumindest ein Teil der Fanschaufel und/oder des Blatts zumindest zum Teil aus einem Metall, wie z. B. einem auf Titan basierendem Metall oder einem auf Aluminium basierendem Material (wie z. B. einer Aluminium-Lithium-Legierung) oder einem auf Stahl basierendem Material hergestellt werden. Die Fanschaufel kann mindestens zwei Bereiche umfassen, die unter Verwendung verschiedener Materialien hergestellt werden. Beispielsweise kann die Fanschaufel eine vordere Schutzkante aufweisen, die unter Verwendung eines Materials hergestellt wird, das dem Aufschlagen (beispielsweise von Vögeln, Eis oder anderem Material) besser widersteht.

hen kann als der Rest der Schaufel. Solch eine vordere Kante kann beispielsweise unter Verwendung von Titan oder einer auf Titan basierenden Legierung hergestellt werden. Somit kann die Fanschaukel lediglich als ein Beispiel einen auf Kohlefaser oder Aluminium basierenden Körper (wie z. B. eine Aluminium-Lithium-Legierung) mit einem vorderen Rand aus Titan aufweisen.

[0035] Ein Fan, der hier beschrieben und/oder beansprucht wird, kann einen mittleren Abschnitt umfassen, von dem sich die Fanschaukeln, beispielsweise in einer radialen Richtung, erstrecken können. Die Fanschaukeln können auf beliebige gewünschte Art und Weise an dem mittleren Abschnitt angebracht sein. Beispielsweise kann jede Fanschaukel eine Fixierungsvorrichtung umfassen, die mit einem entsprechenden Schlitz in der Nabe (oder Scheibe) in Eingriff gelangen kann. Lediglich als ein Beispiel kann solch eine Fixierungsvorrichtung in Form eines Schwalbenschwanzes vorliegen, der zur Fixierung der Fanschaukel an der Nabe/Scheibe in einen entsprechenden Schlitz in der Nabe/Scheibe eingesteckt und/oder damit in Eingriff gebracht werden kann. Als ein weiteres Beispiel können die Fanschaukeln integral mit einem mittleren Abschnitt ausgebildet sein. Solch eine Anordnung kann als eine Blik oder ein Bling bezeichnet werden. Ein beliebiges geeignetes Verfahren kann zur Herstellung solch einer Blik oder solch eines Bling verwendet werden. Beispielsweise kann zumindest ein Teil der Fanschaukeln aus einem Block maschinell herausgearbeitet werden und/oder mindestens ein Teil der Fanschaukeln kann durch Schweißen, wie z. B. lineares Reibschweißen, an der Nabe/Scheibe angebracht werden.

[0036] Die Gasturbinentriebwerke, die hier beschrieben und/oder beansprucht werden, können oder können nicht mit einer VAN (Variable Area Nozzle - Düse mit variablem Querschnitt) versehen sein. Solch eine Düse mit variablem Querschnitt kann im Betrieb eine Variation des Ausgangsquerschnitts des Bypasskanals erlauben. Die allgemeinen Prinzipien der vorliegenden Offenbarung können auf Triebwerke mit oder ohne eine VAN zutreffen.

[0037] Der Fan einer Gasturbine, die hier beschrieben und/oder beansprucht wird, kann eine beliebige gewünschte Anzahl an Fanschaukeln, beispielsweise 16, 18, 20 oder 22 Fanschaukeln, aufweisen.

[0038] Gemäß der hier erfolgenden Verwendung können Konstantgeschwindigkeitsbedingungen die Konstantgeschwindigkeitsbedingungen eines Luftfahrzeugs, an dem das Gasturbinentriebwerk angebracht ist, bedeuten. Solche Konstantgeschwindigkeitsbedingungen können herkömmlicherweise als die Bedingungen während des mittleren Teils des Flugs definiert werden, beispielsweise die Bedingun-

gen, denen das Luftfahrzeug und/oder das Triebwerk zwischen (hinsichtlich Zeit und/oder Entfernung) dem Ende des Steigflugs und dem Beginn des Sinkflugs ausgesetzt wird bzw. werden.

[0039] Lediglich als ein Beispiel kann die Vorwärtsgeschwindigkeit bei der Konstantgeschwindigkeitsbedingung bei einem beliebigen Punkt im Bereich von Mach 0,7 bis 0,9, beispielsweise 0,75 bis 0,85, beispielsweise 0,76 bis 0,84, beispielsweise 0,77 bis 0,83, beispielsweise 0,78 bis 0,82, beispielsweise 0,79 bis 0,81, beispielsweise in der Größenordnung von Mach 0,8, in der Größenordnung von Mach 0,85 oder in dem Bereich von 0,8 bis 0,85 liegen. Eine beliebige Geschwindigkeit innerhalb dieser Bereiche kann die Konstantgeschwindigkeitsbedingung sein. Bei einigen Luftfahrzeugen können die Konstantgeschwindigkeitsbedingung außerhalb dieser Bereiche, beispielsweise unter Mach 0,7 oder über Mach 0,9, liegen.

[0040] Lediglich als ein Beispiel können die Konstantgeschwindigkeitsbedingungen standardmäßigen atmosphärischen Bedingungen bei einer Höhe entsprechen, die im Bereich von 10.000 m bis 15.000 m, beispielsweise im Bereich von 10.000 m bis 12.000 m, beispielsweise im Bereich von 10.400 m bis 11.600 m (etwa 38.000 Fuß) beispielsweise im Bereich von 10.500 m bis 11.500 m, beispielsweise im Bereich von 10.600 m bis 11.400 m, beispielsweise im Bereich von 10.700 m (etwa 35.000 Fuß) bis 11.300 m, beispielsweise im Bereich von 10.800 m bis 11.200 m, beispielsweise im Bereich von 10.900 m bis 11.100 m, beispielsweise in der Größenordnung von 11.000 m, liegt. Die Konstantgeschwindigkeitsbedingungen können standardmäßigen atmosphärischen Bedingungen bei einer beliebigen gegebenen Höhe in diesen Bereichen entsprechen.

[0041] Lediglich als ein Beispiel können die Konstantgeschwindigkeitsbedingungen Folgendem entsprechen: einer Vorwärts-Mach-Zahl von 0,8; einem Druck von 23.000 Pa und einer Temperatur von -55 °C.

[0042] So wie sie hier durchweg verwendet werden, können „Konstantgeschwindigkeit“ oder „Konstantgeschwindigkeitsbedingungen“ den aerodynamischen Auslegungspunkt bedeuten. Solch ein aerodynamischer Auslegungspunkt (oder ADP - Aerodynamic Design Point) kann den Bedingungen (darunter beispielsweise die Mach-Zahl, Umgebungsbedingungen und Schubanforderung), für die der Fanbetrieb ausgelegt ist, entsprechen. Dies kann beispielsweise die Bedingungen, bei denen der Fan (oder das Gasturbinentriebwerk) konstruktionsgemäß den optimalen Wirkungsgrad aufweist, bedeuten.

[0043] Im Betrieb kann ein Gasturbinentriebwerk, das hier beschrieben und/oder beansprucht wird, bei den Konstantgeschwindigkeitsbedingungen, die hier an anderer Stelle definiert werden, betrieben werden. Solche Konstantgeschwindigkeitsbedingungen können von den Konstantgeschwindigkeitsbedingungen (beispielsweise den Bedingungen während des mittleren Teils des Fluges) eines Luftfahrzeugs, an dem mindestens ein (beispielsweise zwei oder vier) Gasturbinentriebwerk(e) zur Bereitstellung von Schubkraft befestigt sein kann, bestimmt werden.

[0044] Gemäß einem Aspekt wird ein Verfahren zur Herstellung einer Getriebeanordnung für ein Gasturbinentriebwerk bereitgestellt, insbesondere einer Getriebeanordnung nach einer beliebigen, hierin beschriebenen Ausgestaltung. Das Verfahren umfasst die folgenden Schritte (optional, aber nicht zwingend in dieser Reihenfolge): Bereitstellen eines Planetengetriebes mit zumindest einem Hohlrad und zumindest einem Planetenrad, das beim Abrollen am Hohlrad darauf eine Kraft in Richtung eines Kraftvektors ausübt; und Montieren einer Halteeinrichtung zur Befestigung des zumindest einen Hohlrades an einer anderen Struktur derart am zumindest einen Hohlrad, dass sich ein erster Abschnitt der Halteeinrichtung in axialer Richtung auf einer Seite des Kraftvektors und/oder einer geraden Verlängerung davon erstreckt, und ein zweiter Abschnitt der Halteeinrichtung sich in axialer Richtung auf der anderen Seite des Kraftvektors und/oder der geraden Verlängerung davon erstreckt.

[0045] Optional umfasst das Verfahren ferner folgenden Schritt: Ermitteln einer Geometrie, insbesondere von Materialstärken, und/oder von Materialeigenschaften des ersten und des zweiten Abschnitts in einer Optimierungsprozedur. Hierbei können z.B. Lage und Abstand zwischen dem Hohlrad und der anderen Struktur und/oder auf das zumindest eine Planetenrad einwirkende Drehmomente vorgegeben werden.

[0046] Optional umfasst die Optimierungsprozedur einen FEM-Algorithmus. Dies ermöglicht eine besonders effiziente Berechnung und präzise Resultate.

[0047] In einer Ausgestaltung erfolgt die Optimierungsprozedur iterativ.

[0048] Für den Fachmann ist verständlich, dass ein Merkmal oder Parameter, das bzw. der in Bezug auf einen der obigen Aspekte beschrieben wird, bei einem beliebigen anderen Aspekt angewendet werden kann, sofern sie sich nicht gegenseitig ausschließen. Des Weiteren kann ein beliebiges Merkmal oder ein beliebiger Parameter, das bzw. der hier beschrieben wird, bei einem beliebigen Aspekt angewendet werden und/oder mit einem beliebigen anderen Merkmal oder Parameter, das bzw. der hier beschrieben wird,

kombiniert werden, sofern sie sich nicht gegenseitig ausschließen.

[0049] Es werden nun beispielhaft Ausführungsformen mit Bezug auf die Figuren beschrieben; in den Figuren zeigen:

Fig. 1 eine Seitenschnittansicht eines Gasturbinentriebwerks;

Fig. 2 eine Seitenschnittgroßansicht eines stromaufwärtigen Abschnitts des Gasturbinentriebwerks mit einer Getriebeanordnung mit einem Planetengetriebe;

Fig. 3 das Planetengetriebe des Gasturbinentriebwerks mit einem Hohlrad, mehreren Planetenrädern und einem Sonnenrad;

Fig. 4 eine Schnittansicht des Hohlrades des Planetengetriebes und einer Halteeinrichtung;

Fig. 5 Verformungen der Halteeinrichtung gemäß **Fig. 4** infolge einer Krafteinwirkung durch ein Planetenrad;

Fig. 6A und **Fig. 6B** Ansichten der Verzahnung des Hohlrades des Planetengetriebes; und

Fig. 7 ein Verfahren zur Herstellung einer Getriebeanordnung.

[0050] **Fig. 1** stellt ein Gasturbinentriebwerk **10** mit einer Hauptdrehachse **9** dar. Das Gasturbinentriebwerk **10** umfasst einen Lufterlass **12** und ein Fan **23**, der zwei Luftströme erzeugt: einen Kernluftstrom **A** und einen Bypassluftstrom **B**. Das Gasturbinentriebwerk **10** umfasst einen Kern **11**, der den Kernluftstrom **A** aufnimmt. Das Kerntriebwerk **11** umfasst in Axialströmungsreihenfolge einen Niederdruckverdichter **14**, einen Hochdruckverdichter **15**, eine Verbrennungseinrichtung **16**, eine Hochdruckturbinen **17**, eine Niederdruckturbinen **19** und eine Kernschubdüse **20**. Eine Triebwerksgondel **21** umgibt das Gasturbinentriebwerk **10** und definiert einen Bypasskanal **22** und eine Bypassschubdüse **18**. Der Bypassluftstrom **B** strömt durch den Bypasskanal **22**. Der Fan **23** ist über eine Welle **26** und ein epizyklisches Planetengetriebe **30** an der Niederdruckturbinen **19** angebracht und wird durch diese angetrieben.

[0051] Im Betrieb wird der Kernluftstrom **A** durch den Niederdruckverdichter **14** beschleunigt und verdichtet und in den Hochdruckverdichter **15** geleitet, wo eine weitere Verdichtung erfolgt. Die aus dem Hochdruckverdichter **15** ausgestoßene verdichtete Luft wird in die Verbrennungseinrichtung **16** geleitet, wo sie mit Kraftstoff vermischt wird und das Gemisch verbrannt wird. Die resultierenden heißen Verbrennungsprodukte breiten sich dann durch die Hochdruck- und die Niederdruckturbinen **17**, **19** aus und treiben diese dadurch an, bevor sie zur Bereitstellung einer gewissen Schubkraft durch die Düse **20** ausgestoßen werden. Die Hochdruckturbinen **17** treibt den

Hochdruckverdichter **15** durch eine geeignete Verbindungswelle **27** an. Der Fan **23** stellt allgemein den Hauptteil der Schubkraft bereit. Das epizyklische Planetengetriebe **30** ist ein Untersetzungsgetriebe.

[0052] Es wird angemerkt, dass die Begriffe „Niederdruckturbine“ und „Niederdruckverdichter“, so wie sie hier verwendet werden, so aufgefasst werden können, dass sie die Turbinenstufe mit dem niedrigsten Druck bzw. die Verdichterstufe mit dem niedrigsten Druck (d. h. dass sie nicht den Fan **23** umfassen) und/oder die Turbinen- und Verdichterstufe, die durch die verbindende Welle **26** mit der niedrigsten Drehzahl in dem Triebwerk (d. h. dass sie nicht die Getriebeausgangswelle, die den Fan **23** antreibt, umfasst) miteinander verbunden sind, bedeuten. In einigen Schriften können die „Niederdruckturbine“ und der „Niederdruckverdichter“, auf die hier Bezug genommen wird, alternativ dazu als die „Mitteldruckturbine“ und „Mitteldruckverdichter“ bekannt sein. Bei der Verwendung derartiger alternativer Nomenklatur kann der Fan **23** als eine erste Verdichtungsstufe oder Verdichtungsstufe mit dem niedrigsten Druck bezeichnet werden.

[0053] Die Geometrie des Gasturbinenriebwerks **10** und Komponenten davon wird bzw. werden durch ein herkömmliches Achsensystem definiert, das eine axiale Richtung (die auf die Drehachse **9** ausgerichtet ist), eine radiale Richtung (in der Richtung von unten nach oben in **Fig. 1**) und eine Umfangsrichtung (senkrecht zu der Ansicht in **Fig. 1**) umfasst. Die axiale, die radiale und die Umfangsrichtung (Tangentialrichtung) verlaufen senkrecht zueinander.

[0054] Eine beispielhafte Anordnung für ein Getriebe-Fan-Gasturbinenriebwerk **10** wird in **Fig. 2** gezeigt. Die Niederdruckturbine **19** (siehe **Fig. 1**) treibt die Welle **26** an, die mit einem Sonnenrad **28** des epizyklischen Planetengetriebes **30** (oder im Allgemeinen eines Umlaufrädergetriebes) gekoppelt ist. Mehrere Planetenräder **32**, die durch einen Planetenträger **34** miteinander gekoppelt sind, befinden sich von dem Sonnenrad **28** radial außen und kämmt damit. Der Planetenträger **34** führt die Planetenräder **32** so, dass sie synchron um das Sonnenrad **28** kreisen, während er ermöglicht, dass sich jedes Planetenrad **32** um seine eigene Achse drehen kann.

[0055] Der Planetenträger **34** umfasst vorliegend einen Lagerstift **34a**, der durch eine vordere Planetenträgerplatte **34b** und eine hintere Planetenträgerplatte **34c** eingefasst ist. Der Planetenträger **34** ist mittels eines Kalottenlagers **35** und einer darin aufgenommenen sphärischen Lagereinheit (zum Ausgleich von Kippbewegungen) mit einem Gestänge **36** verbunden. Über das Gestänge **36** ist der Planetenträger **34** mit dem Fan **23** dahingehend gekoppelt, seine Drehung um die Triebwerksachse **9** anzutreiben.

Das Gestänge **36** ist somit dazu ausgebildet, Drehmoment zu übertragen.

[0056] Ein Außenrad oder Hohlrad **38** befindet sich von den Planetenrädern **32** radial außen und kämmt damit. Vorliegend umfasst das Planetengetriebe **30** zwei Hohlräder **38**. Jedes der beiden Hohlräder **38** befindet sich von den Planetenrädern **32** radial außen und kämmt damit, vorliegend mit zwei axial beabstandeten, verzahnten Abschnitten der einzelnen Planetenräder **32**.

[0057] Die beiden Hohlräder **38** sind in axialer Richtung voneinander beabstandet. Die Hohlräder **38** sind über eine Halteeinrichtung **40** drehfest mit einer anderen Struktur, nämlich einer stationären Stützstruktur **24** des Gasturbinenriebwerks **10** gekoppelt. Die stationäre Stützstruktur **24** ist z.B. fest mit der Triebwerksgondel **21** verbunden. Die Halteeinrichtung **40** dient als Hohlradträger.

[0058] Das Planetengetriebe **30** und die Halteeinrichtung **40** bilden gemeinsam eine Getriebeanordnung.

[0059] Die Halteeinrichtung **40** ist z.B. ringförmig ausgebildet und umgibt die Hohlräder **38** an ihrem jeweiligen Außenumfang. Durch diese Ausgestaltung der Halteeinrichtung **40** sind die Hohlräder **38** in Umfangsrichtung um die Hauptdrehachse **9** nicht (oder nur unwesentlich) bewegbar, also wie bereits erwähnt drehfest an der stationären Stützstruktur **24** montiert. In Bezug auf die radiale und/oder axiale Richtung stellt die Halteeinrichtung **40** eine flexible Aufhängung der Hohlräder **38** bereit. Somit sind die Hohlräder **38** durch einwirkende Kräfte relativ zur stationären Stützstruktur **24** radial und/oder axial bewegbar. In radialer und/oder axialer Richtung sind die Hohlräder **38** relativ zur stationären Stützstruktur **24** wesentlich stärker bewegbar als in Umfangsrichtung. Hierdurch können Belastungen im Betrieb des Gasturbinenriebwerks **10** abgefangen werden, z.B. infolge von Lastwechseln oder einer thermischen Ausdehnung oder Kontraktion einzelner Bauteile. Das Planetengetriebe **30** ist durch die Halteeinrichtung **40** lastenentkoppelt.

[0060] Das Planetengetriebe **30** ist schräg verzahnt. Vorliegend sind die beiden Hohlräder **38** (und entsprechend die jeweils damit kämmenden Abschnitte der Planetenräder **32**) in entgegengesetzter Richtung schräg verzahnt. Dabei sind die Zähne so ausgerichtet, dass sie sich während des Abrollens im Betrieb des Gasturbinenriebwerks **10** zuerst axial innenliegend berühren und der Zahnkontakt axial nach außen verläuft (nicht aufeinander zu). Hierdurch kann Schmieröl in einfacher Weise abgeführt werden.

[0061] Wie anhand von **Fig. 2** veranschaulicht, ist die Halteeinrichtung **40** vorliegend zweiteilig ausge-

führt. An jedem der beiden Teile **T1**, **T2** ist dabei eines der beiden Hohlräder **38** montiert. Hierzu ist an jedem der Hohlräder **38** ein außen umlaufender Flansch ausgebildet, der an einem Flansch eines Teils **T1**, **T2** der Halteeinrichtung **40** befestigt, konkret damit verschraubt ist. Die beiden Teile **T1**, **T2** der Halteeinrichtung **40** sind im gezeigten Beispiel baugleich ausgebildet (und spiegelverkehrt zueinander angeordnet). Beide Teile **T1**, **T2** der Halteeinrichtung **40** sind mittels aneinander anliegenden Flanschen an einem Flansch der stationären Stützstruktur **24** montiert, konkret damit verschraubt.

[0062] Im Betrieb des Gasturbinenriebwerks **10** üben die Planetenräder **32** Kräfte auf die Hohlräder **38** aus, die aufgrund der schrägen Verzahnung eine axiale Komponente aufweisen. Die Richtungen der daraus folgenden Kraftvektoren **K** sind in **Fig. 2** mit gestrichelten Pfeilen veranschaulicht und weisen in axialer Richtung voneinander weg. Anhand von **Fig. 2** ist zu erkennen, dass jedes der beiden Teile der Halteeinrichtung **40** einen (ersten) Abschnitt aufweist, der (in der die Mittelachse des jeweiligen Hohlrades **38** umfassenden Querschnittsebene) in axialer Richtung (in Bezug auf die Mittelachse des Hohlrades **38**, die hier mit der Hauptdrehachse **9** zusammenfällt) auf einer Seite des Kraftvektors **K** oder einer geraden Verlängerung davon angeordnet ist, und einen zweiten Abschnitt, der in der axialen Richtung auf der anderen Seite des Kraftvektors **K** oder der geraden Verlängerung davon angeordnet ist. Diese Ausbildung erlaubt eine besonders ausgeglichene Lagerung der Hohlräder **38**.

[0063] Das Planetengetriebe **30** wird in **Fig. 3** beispielhaft genauer gezeigt. Das Sonnenrad **28**, die Planetenräder **32** und die Hohlräder **38** umfassen jeweils Zähne an ihrem Umfang, um ein Kämmen mit den anderen Zahnrädern zu ermöglichen. Jedoch werden der Übersichtlichkeit halber lediglich beispielhafte Abschnitte der Zähne in **Fig. 3** dargestellt. Obgleich drei Planetenräder **32** dargestellt werden, liegt für den Fachmann auf der Hand, dass innerhalb des Schutzzumfangs der beanspruchten Erfindung auch eine andere Anzahl an Planetenrädern **32** vorgesehen sein kann, z.B. vier Planetenräder. Anwendungen eines epizylischen Planetengetriebes **30** umfassen allgemein mindestens drei Planetenräder **32**.

[0064] Auch die Kraftvektoren **K** der Planetenräder **32** auf das Hohlrad **38** sind in **Fig. 3** dargestellt. Aufgrund der Geometrie der schrägen Verzahnung, insbesondere des endlichen Schrägungswinkels β und Eingriffswinkels α (siehe insbesondere **Fig. 6A** und **Fig. 6B**), weisen die Kraftvektoren **K** eine radiale Komponente, eine axiale Komponente und eine Komponente in Umfangsrichtung auf. Die Richtung der Kraftvektoren **K** ist unabhängig vom Betrag des Drehmoments.

[0065] **Fig. 4** zeigt eine Ansicht gemäß dem Querschnitt **A-A** aus **Fig. 3**, wobei lediglich das Hohlrad und eine Halteeinrichtung **40'** (konkret eines von zwei Teilen der Halteeinrichtung **40'**) dargestellt sind.

[0066] Die Getriebeanordnung gemäß **Fig. 2** kann optional die Halteeinrichtung **40'** gemäß **Fig. 4** umfassen.

[0067] **Fig. 4** zeigt den Kraftvektor **K** des Planetenrades **32** auf das Hohlrad **38** in der Projektion auf die (die Mittelachse enthaltende) Querschnittsebene, d.h. mit der radialen und der axialen Kraftkomponente, ohne der Tangentialkomponente.

[0068] Die Halteeinrichtung **40'** gemäß **Fig. 4** umfasst einen ersten Abschnitt **40a**, der sich (in der Querschnittsebene) in axialer Richtung auf einer Seite des Kraftvektors **K** und/oder seiner geradlinigen Verlängerung erstreckt, und einen zweiten Abschnitt **40b**, der sich in axialer Richtung auf der anderen Seite des Kraftvektors **K** und/oder seiner geradlinigen Verlängerung erstreckt. Die Kraft des Planetenrades **32** wirkt auf einen Punkt **P** des Hohlrades **38**, der in axialer Richtung mittig am Hohlrad **38** angeordnet ist. Am Punkt **P** steht das jeweilige Planetenrad **32** mit dem Hohlrad **38** in Eingriff. Hierbei wird als Kraftvektor **K** die Resultierende der gesamten, von einem Planetenrad **32** auf das Hohlrad **38** in einer Position einwirkenden Kräfte bezeichnet. Der resultierende Kraftvektor **K** wirkt somit in axialer Richtung mittig auf das Hohlrad **38**.

[0069] Konkret ist der erste Abschnitt **40a** in einer (durch die Mittelachse, entsprechend der Hauptdrehachse **9**, und einen Radius aufgespannten) Querschnittsfläche des Hohlrades **38** auf einer Seite des auf die Querschnittsfläche projizierten Kraftvektors **K** (oder einer geraden Verlängerung davon) angeordnet, während der zweite Abschnitt **40b** auf der anderen Seite des Kraftvektors **K** (oder der geraden Verlängerung davon) angeordnet ist.

[0070] Der auf die Querschnittsfläche projizierte Kraftvektor **K** (oder seine Verlängerung) schneidet die Halteeinrichtung **40'** in einem Schnittpunkt **S**. Rollen die Planetenräder **32** am gesamten inneren Umfang des Hohlrades **38** ab, so beschreibt der Schnittpunkt **S** des mitlaufenden Kraftvektors **K** einen Ring. Der erste Abschnitt **40a** der Halteeinrichtung **40'** erstreckt sich auf der einen Seite des Schnittpunkts **S** (und des entsprechenden Rings). Der zweite Abschnitt **40b** erstreckt sich auf der anderen Seite davon.

[0071] Ein Ringabschnitt **40c** der Halteeinrichtung **40'** umgreift das Hohlrad **38** und ist fest damit verbunden.

[0072] In Bezug auf die Mittelachse des Hohlrades **38** sind der erste und der zweite Abschnitt **40a**, **40b** zumindest abschnittsweise schräg ausgebildet. Der erste und der zweite Abschnitt **40a**, **40b** erstrecken sich im Wesentlichen über die gesamte Breite des Hohlrades **38** in axialer Richtung. Die Halteeinrichtung **40'** ist in axialer Richtung an der einen Seite des Hohlrades **38** an der stationären Struktur monierbar und der erste Abschnitt **40a** grenzt in axialer Richtung an der anderen Seite an das Hohlrad **38** an. Die Halteeinrichtung **40'** übergreift das Hohlrad **38** somit zumindest annähernd.

[0073] Der erste Abschnitt **40a** ist (im Querschnitt entlang der Mittelachse des Hohlrades **38**) an seinem einen Ende mit dem Ringabschnitt **40c** verbunden (optional einstückig damit ausgebildet, alternativ dazu daran montiert, z.B. über aneinander anliegende Flansche). An seinem anderen Ende ist der erste Abschnitt **40a** mit einem Ende des zweiten Abschnitts **40b** verbunden (wiederum optional einstückig damit ausgebildet, alternativ dazu daran montiert). Der zweite Abschnitt **40b** ist an seinem anderen Ende mit der stationären Stützstruktur **24** verbunden (ebenfalls optional einstückig damit ausgebildet, alternativ dazu daran montiert). Mit anderen Worten gesagt ist das Hohlrad **38** insbesondere über den ersten Abschnitt **40a** und den zweiten Abschnitt **40b** (in dieser Reihenfolge) mit der stationären Stützstruktur **24** verbindbar. Optional ist das ganze Teil der Halteeinrichtung **40** (mit dem Ringabschnitt **40c**, dem ersten und zweiten Abschnitt **40a**, **40b**) einstückig ausgebildet.

[0074] Der erste Abschnitt **40a** und der zweite Abschnitt **40b** sind flexibel (optional auch der Ringabschnitt **40c**, insbesondere in radialer Richtung, was die Lastaufteilung zwischen den Planetenrädern **32** verbessern kann).

[0075] Es ist vorgesehen, dass der erste und der zweite Abschnitt **40a**, **40b** Drehsteifigkeiten **K1**, **K2** aufweisen, deren Verhältnis $1,0 \pm 0,2$ beträgt, insbesondere $1,0 \pm 0,1$ beträgt, insbesondere $1,0 \pm 0,05$ (alternativ weisen der erste und der zweite Abschnitt **40a**, **40b** radiale Steifigkeiten mit diesen Verhältnissen auf). Im gezeigten Beispiel beträgt das Verhältnis 1,0. Hierdurch kann erreicht werden, dass trotz der schrägen Verzahnung die Kräfte der Planetenräder **32** nicht zu einem Verkippen des Hohlrades **38** führen, sondern dieses nur radial nach außen drängen. Das Hohlrad wird horizontal gehalten. Bei anderen, der Anmelderin aus der Praxis bekannten Halteeinrichtungen setzt sich die Verschiebung entsprechend dem Winkel des Kraftvektors aus radialen und axialen Komponente zusammen. Durch die gleichen oder im Wesentlichen gleichen Drehsteifigkeiten, insbesondere um eine zum Radius und zur Mittelachse des Hohlrades **38** senkrechte Achse, gleichen sich die elastischen Rotationen der beiden Abschnitte (in

Fig. 4 mittels Pfeilen veranschaulicht) gegenseitig aus. Ein Kippwinkel ϕ verschwindet oder ist vernachlässigbar klein (insbesondere lastunabhängig). Hierdurch kann die Zahnbeanspruchung verringert und eine erhöhte Robustheit und Zuverlässigkeit erreicht werden.

[0076] Die Der Schnittpunkt **S** ist vorliegend zwischen einer (in axialer Richtung gesehen) linken bzw. rechten, äußeren Kante der Halteeinrichtung **40'** angeordnet. Von der linken Kante ist der Schnittpunkt in axialer Richtung um einen Abstand **X** beabstandet, von der rechten Kante um einen Abstand **Y**. Der Abstand **X** (zur linken äußeren Kante) ist kleiner als der Abstand **Y** (zur rechten äußeren Kante).

[0077] In **Fig. 4** sind ferner mehrere weitere mögliche Schnittpunkte **S0**, **S1** und **S2** eingezeichnet, die bei anders ausgebildeten Verzahnungen resultieren können. Dabei entspricht der Schnittpunkt **S0** dem Schnittpunkt bei einer geraden Verzahnung, daher liegt der Schnittpunkt **S0** in derselben axialen Ebene wie der Punkt **P**.

[0078] Der Schnittpunkt **S1** resultiert bei einer (stark) schrägen Verzahnung und ist nicht zwischen den äußeren Kanten der Halteeinrichtung **40'** angeordnet, sondern vor der linken Kante. Der Abstand des Schnittpunkts **S1** zur rechten Kante ist somit größer als der Abstand der beiden äußeren Kanten zueinander. Die Halteeinrichtung wäre in dem Fall so geformt, dass sich der erste und der zweite Abschnitt **40a**, **40b** bis zu diesem Schnittpunkt **S1** erstrecken.

[0079] Der Schnittpunkt **S2** resultiert bei einer schrägen Verzahnung mit nach innen (zum zweiten Hohlrad **38**) gerichtetem Kraftvektor. Die Verzahnung, insbesondere der Schrägungswinkel, ist so ausgebildet, und die Halteeinrichtung so ausgestaltet, dass der Schnittpunkt **S2** in einer Mittelebene **M** liegt. Die Mittelebene **M** ist in der Mitte (in axialer Richtung) zwischen den beiden Hohlrädern **38** angeordnet und erstreckt sich senkrecht zur Mittelachse **9**.

[0080] **Fig. 5** zeigt schematisch, wie der erste Abschnitt **40a** und der zweite Abschnitt **40b** der Halteeinrichtung **40** infolge der durch ein Planetenrad **32** ausgeübten Kraft (elastisch) verformt wird. Durch die gleichen Drehsteifigkeiten des ersten und des zweiten Abschnitts **40a**, **40b** wird der Ringabschnitt **40c** im Querschnitt parallel verlagert, ohne gekippt zu werden.

[0081] Der erste Abschnitt **40a** und der zweite Abschnitt **40b** weisen im Querschnitt (in der Ebene des Radius und der Mittelachse) vorliegend unterschiedliche Längen auf. Um dieselben Drehsteifigkeiten zu erzielen, kann einer der Abschnitte (nämlich der kürzere erste Abschnitt **40a**) z.B. aus einem weicheren

Material, mit Schwächungen und/oder mit einer geringeren Materialstärke ausgebildet sein im Vergleich mit dem anderen der Abschnitte. Vorliegend weist der erste Abschnitt **40a** eine geringere Materialstärke auf als der zweite Abschnitt **40b** (siehe **Fig. 4**).

[0082] Die Drehsteifigkeiten können z.B. gemessen werden, indem das Ende des jeweiligen Abschnitts **40a**, **40b** festgehalten wird, das dem anderen Abschnitt **40a**, **40b** abgewandt ist, ein Drehmoment auf den Schnittpunkt **S** ausgeübt wird und die Auslenkung ermittelt wird. Dies kann optional mit einem radial ausgeschnittenen Stück der Halteeinrichtung **40'** erfolgen.

[0083] Optional sind ein oder mehrere Durchgangslöcher im ersten und/oder zweiten Abschnitt **40a**, **40b** ausgebildet, um Schmieröl passieren zu lassen.

[0084] **Fig. 7** zeigt ein Verfahren zur Herstellung einer Getriebeanordnung, insbesondere einer Getriebeanordnung wie vorstehend beschriebenen. Die Schritte können, müssen aber nicht in der nachstehend angegebenen Reihenfolge durchgeführt werden.

[0085] In einem Schritt **S1** wird ein Planetengetriebe **30** mit zwei Hohlrädern **38** und mehreren Planetenrädern **32** bereitgestellt, wobei die Planetenräder **32** beim Abrollen am Hohlrad **38** eine Kraft in Richtung jeweils eines Kraftvektors **K** auf jedes Hohlrad ausüben. Der Kraftvektor **K** stellt dabei die Resultierende der Kräfte dar, die das jeweilige Planetenrad **32** in einer Stellung auf das jeweilige Hohlrad **38** ausübt.

[0086] In einem Schritt **S2** werden eine Geometrie (insbesondere eine Materialstärke) und/oder Materialeigenschaften (insbesondere die Materialwahl, z.B. Stahl) jeweils eines ersten und eines zweiten Abschnitts **40a**, **40b** einer Halteeinrichtung **40**; **40'** zur Befestigung der Hohlräder **38** an einer stationären Stützstruktur **24** in einer Optimierungsprozedur ermittelt. Hierzu werden einer oder mehrere der genannten Parameter mit dem Ziel variiert, möglichst gleiche Drehsteifigkeiten für den ersten und den zweiten Abschnitt **40a**, **40b** zu erzielen.

[0087] Dabei werden der erste und der zweite Abschnitt **40a**, **40b** dadurch definiert, dass sie in axialer Richtung auf gegenüberliegenden Seiten des (umlaufenden) Kraftvektors **K** liegen. In Bezug auf einen radialen Querschnitt werden der erste und der zweite Abschnitt **40a**, **40b** durch die in axialer Richtung gegenüberliegenden Seiten des aus der Axialkomponente und der Radialkomponente des Kraftvektors **K** gebildeten Vektors und dessen geradlinigen Verlängerung definiert.

[0088] Rollen die Planetenräder **32** einmal am Innenumfang der Hohlräder **38** ab, dann beschreiben

der mitlaufende Kraftvektor **K** und dessen geradlinige Verlängerung (je Hohlrad **38**) einen Kegel, konkret einen geraden Kreiskegel. Dieser Kegel beschreibt den Übergang zwischen dem ersten Abschnitt **40a** und dem zweiten Abschnitt **40b**.

[0089] Optional umfasst die Optimierungsprozedur einen FEM-Algorithmus und/oder erfolgt iterativ.

[0090] In einem Schritt **S3** wird die Halteeinrichtung **40**; **40'** gemäß der ermittelten Geometrie ausgebildet.

[0091] In einem Schritt **S4** wird die Halteeinrichtung **40**; **40'** an den Hohlrädern **38** montiert, und zwar derart, dass (je Hohlrad **38**) die jeweiligen ersten und zweiten Abschnitte **40a**, **40b** der Halteeinrichtung **40**; **40'** in axialer Richtung auf gegenüberliegenden Seiten des Kraftvektors **K** und/oder seiner geraden Verlängerung angeordnet sind, insbesondere ausschließlich. Die Getriebeanordnung kann an einem Gasturbinentriebwerk (z.B. dem Gasturbinentriebwerk gemäß **Fig. 1**) montiert werden.

[0092] Das in **Fig. 2** und **Fig. 3** beispielhaft dargestellte epizyklische Planetengetriebe **30** ist ein Planetengetriebe, bei dem der Planetenträger **34** über das Gestänge **36** mit einer Ausgangswelle gekoppelt ist, wobei das Hohlrad **38** festgelegt ist. Jedoch kann eine beliebige andere geeignete Art von Planetengetriebe **30** verwendet werden. Als ein weiteres Beispiel kann das Planetengetriebe **30** eine Sternanordnung sein, bei der der Planetenträger **34** festgelegt gehalten wird, wobei gestattet wird, dass sich das Hohlrad (oder Außenrad) **38** dreht. Bei solch einer Anordnung wird der Fan **23** von dem Hohlrad **38** angetrieben. Als ein weiteres alternatives Beispiel kann das Getriebe **30** ein Differenzialgetriebe sein, bei dem gestattet wird, dass sich sowohl das Hohlrad **38** als auch der Planetenträger **34** drehen.

[0093] Es versteht sich, dass die in **Fig. 2** und **Fig. 3** gezeigte Anordnung lediglich beispielhaft ist und verschiedene Alternativen in dem Schutzzumfang der vorliegenden Offenbarung liegen. Lediglich beispielhaft kann eine beliebige geeignete Anordnung zur Positionierung des Planetengetriebes **30** in dem Gasturbinentriebwerk **10** und/oder zur Verbindung des Planetengetriebes **30** mit dem Gasturbinentriebwerk **10** verwendet werden. Als ein weiteres Beispiel können die Verbindungen (z. B. das Gestänge **36** in dem Beispiel von **Fig. 2**) zwischen dem Getriebe **30** und anderen Teilen des Gasturbinentriebwerks **10** (wie z. B. der Eingangswelle **26**, der Ausgangswelle und/oder der stationären Struktur **24**) einen gewissen Grad an Steifigkeit oder Flexibilität aufweisen. Als ein weiteres Beispiel kann eine beliebige geeignete Anordnung der Lager zwischen rotierenden und stationären Teilen des Gasturbinentriebwerks **10** (beispielsweise zwischen der Eingangs- und der Ausgangswelle des Planetengetriebes und den festge-

legten Strukturen, wie z. B. dem Getriebegehäuse) verwendet werden, und die Offenbarung ist nicht auf die beispielhafte Anordnung von **Fig. 2** beschränkt. Entsprechend dehnt sich die vorliegende Offenbarung auf ein Triebwerk, insbesondere ein Gasturbinentriebwerk, mit einer beliebigen Anordnung der Getriebearten (beispielsweise sternförmig oder epizyklisch planetenartig), Stützstrukturen, Eingangs- und Ausgangswellenanordnung und Lagerpositionierungen aus.

[0094] Optional kann das Planetengetriebe **30** Neben- und/oder alternative Komponenten (z. B. den Mitteldruckverdichter und/oder einen Nachverdichter) antreiben.

[0095] Andere Gasturbinentriebwerke, bei denen die vorliegende Offenbarung Anwendung finden kann, können alternative Konfigurationen aufweisen. Beispielsweise können derartige Triebwerke eine alternative Anzahl an Verdichtern und/oder Turbinen und/oder eine alternative Anzahl an Verbindungswellen aufweisen. Als ein weiteres Beispiel weist das in **Fig. 1** gezeigte Gasturbinentriebwerk eine Teilungsstromdüse **20, 22** auf, was bedeutet, dass der Strom durch den Bypasskanal **22** seine eigene Düse aufweist, die von der Triebwerkskerndüse **20** separat und davon radial außen ist. Jedoch ist dies nicht einschränkend und ein beliebiger Aspekt der vorliegenden Offenbarung kann auch auf Triebwerke zutreffen, bei denen der Strom durch den Bypasskanal **22** und der Strom durch den Kern **11** vor (oder stromaufwärts) einer einzigen Düse, die als eine Mischstromdüse bezeichnet werden kann, vermischt oder kombiniert werden. Eine oder beide Düsen (ob Misch- oder Teilungsstrom) kann einen festgelegten oder variablen Bereich aufweisen. Obgleich sich das beschriebene Beispiel auf ein Turbofantriebwerk bezieht, kann die Offenbarung beispielsweise bei einer beliebigen Art von Gasturbinentriebwerk, wie z. B. bei einem Open-Rotor- (bei dem die Fanstufe nicht von einer Triebwerksgondel umgeben wird) oder einem Turboprop-Triebwerk, angewendet werden.

[0096] Es versteht sich, dass die Erfindung nicht auf die oben beschriebenen Ausführungsformen beschränkt ist und verschiedene Modifikationen und Verbesserungen vorgenommen werden können, ohne von den hier beschriebenen Konzepten abzuweichen. Beliebige der Merkmale können separat oder in Kombination mit beliebigen anderen Merkmalen eingesetzt werden, sofern sie sich nicht gegenseitig ausschließen, und die Offenbarung dehnt sich auf alle Kombinationen und Unterkombinationen eines oder mehrerer Merkmale, die hier beschrieben werden, aus und umfasst diese.

Bezugszeichenliste

9	Hauptdrehachse und Mittelachse Hohlrad
10	Gasturbinentriebwerk
11	Kerntriebwerk
12	Lufteinlass
14	Niederdruckverdichter
15	Hochdruckverdichter
16	Verbrennungseinrichtung
17	Hochdruckturbine
18	Bypassschubdüse
19	Niederdruckturbine
20	Kernschubdüse
21	Triebwerksgondel
22	Bypasskanal
23	Fan
24	stationäre Stützstruktur
26	Welle
27	Verbindungswelle
28	Sonnenrad
30	Planetengetriebe
32	Planetenrad
34	Planetenträger
34a	Lagerstift
34b	vordere Planetenträgerplatte
34c	hintere Planetenträgerplatte
35	Kalottenlager
36	Gestänge
38	Hohlrad
40; 40'	Halteeinrichtung
40a	erster Abschnitt
40b	zweiter Abschnitt
40c	Ringabschnitt
A	Kernluftstrom
B	Bypassluftstrom
K	Kraftvektor
M	Mittelebene
P	Punkt

S, S0-S2	Schnittpunkt
T1, T2	Teil der Halteeinrichtung
X, Y	Abstand

Abschnitt (40a, 40b) unterschiedliche Materialstärken aufweisen.

9. Triebwerk, insbesondere für ein Luftfahrzeug, umfassend:

- eine Kernwelle (26);
- einen Fan (23) mit mehreren Fanschaufeln; und
- zumindest eine Getriebeanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit einem Planetengetriebe (30), das von der Kernwelle (26) antreibbar ist, wobei der Fan (23) mittels des Planetengetriebes (30) mit einer niedrigeren Drehzahl als die Kernwelle (26) antreibbar ist.

10. Gasturbinentriebwerk (10) für ein Luftfahrzeug, umfassend:

- ein Kerntriebwerk (11), das eine Turbine (19), einen Verdichter (14) und eine die Turbine mit dem Verdichter verbindende Kernwelle (26) umfasst;
- einen Fan (23), der stromaufwärts des Kerntriebwerks (11) positioniert ist, wobei der Fan (23) mehrere Fanschaufeln umfasst; und
- zumindest eine Getriebeanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit einem Planetengetriebe (30), das von der Kernwelle (26) antreibbar ist, wobei der Fan (23) mittels des Planetengetriebes (30) mit einer niedrigeren Drehzahl als die Kernwelle (26) antreibbar ist.

11. Gasturbinentriebwerk (10) nach Anspruch 10, wobei:

- die Turbine eine erste Turbine (19) ist, der Verdichter ein erster Verdichter (14) ist und die Kernwelle eine erste Kernwelle (26) ist;
- das Kerntriebwerk (11) ferner eine zweite Turbine (17), einen zweiten Verdichter (15) und eine zweite Kernwelle (27), die die zweite Turbine mit dem zweiten Verdichter verbindet, umfasst; und
- die zweite Turbine, der zweite Verdichter und die zweite Kernwelle dahingehend angeordnet sind, sich mit einer höheren Drehzahl als die erste Kernwelle zu drehen.

12. Verfahren zur Herstellung einer Getriebeanordnung, insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 8, umfassend die folgenden Schritte:

- Bereitstellen (S1) eines Planetengetriebes (30) mit zumindest einem Hohlrad (38) und zumindest einem Planetenrad (32), das beim Abrollen am Hohlrad (38) darauf eine Kraft in Richtung eines Kraftvektors (K) ausübt; und
- Montieren (S4) einer Halteeinrichtung (40; 40') zur Befestigung des zumindest einen Hohlrades (38) an einer anderen Struktur (24) derart am zumindest einen Hohlrad (38), dass sich ein erster Abschnitt (40a) der Halteeinrichtung (40; 40') in axialer Richtung auf einer Seite des Kraftvektors (K) und/oder einer geraden Verlängerung davon erstreckt, und ein zweiter Abschnitt (40b) der Halteeinrichtung (40; 40') sich in axialer Richtung auf der anderen Seite des Kraftvek-

Patentansprüche

1. Getriebeanordnung für ein Gasturbinentriebwerk (10), umfassend:

- ein Planetengetriebe (30) mit zumindest einem Hohlrad (38) und zumindest einem Planetenrad (32), das beim Abrollen am Hohlrad (38) darauf eine Kraft in Richtung eines Kraftvektors (K) ausübt; und
- eine Halteeinrichtung (40; 40') zur Befestigung des zumindest einen Hohlrades (38) an einer anderen Struktur (24), mit einem ersten Abschnitt (40a), der sich in axialer Richtung auf einer Seite des Kraftvektors (K) und/oder einer geraden Verlängerung davon erstreckt, und mit einem zweiten Abschnitt (40b), der sich in axialer Richtung auf der anderen Seite des Kraftvektors (K) und/oder der geraden Verlängerung davon erstreckt.

2. Getriebeanordnung nach Anspruch 1, wobei der erste und der zweite Abschnitt (40a, 40b) jeweils eine Drehsteifigkeit (K1, K2) aufweist, wobei das Verhältnis dieser Drehsteifigkeiten $1,0 \pm 0,1$ beträgt, insbesondere $1,0 \pm 0,05$.

3. Getriebeanordnung nach Anspruch 1 oder 2, wobei der erste Abschnitt (40a) das zumindest eine Hohlrad (38) mit dem zweiten Abschnitt (40b) verbindet und über den zweiten Abschnitt (40b) mit der anderen Struktur (24) verbunden oder verbindbar ist.

4. Getriebeanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Planetengetriebe (30) eine Schrägverzahnung aufweist, insbesondere eine doppelte Schrägverzahnung.

5. Getriebeanordnung nach Anspruch 4, wobei das Planetengetriebe (30) zwei Hohlräder (38) aufweist und derart doppelt schrägverzahnt ist, dass Axialkräfte beim Abrollen des zumindest einen Planetenrades (32) an den Hohlrädern (38) voneinander weg gerichtet sind.

6. Getriebeanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Halteeinrichtung (40; 40') eine flexible Aufhängung des Hohlrades (38) bereitstellt.

7. Getriebeanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der erste und der zweite Abschnitt (40a, 40b) einstückig miteinander ausgebildet sind.

8. Getriebeanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der erste und der zweite

tors (K) und/oder der geraden Verlängerung davon erstreckt.

13. Verfahren nach Anspruch 12, ferner umfassend folgenden Schritt:

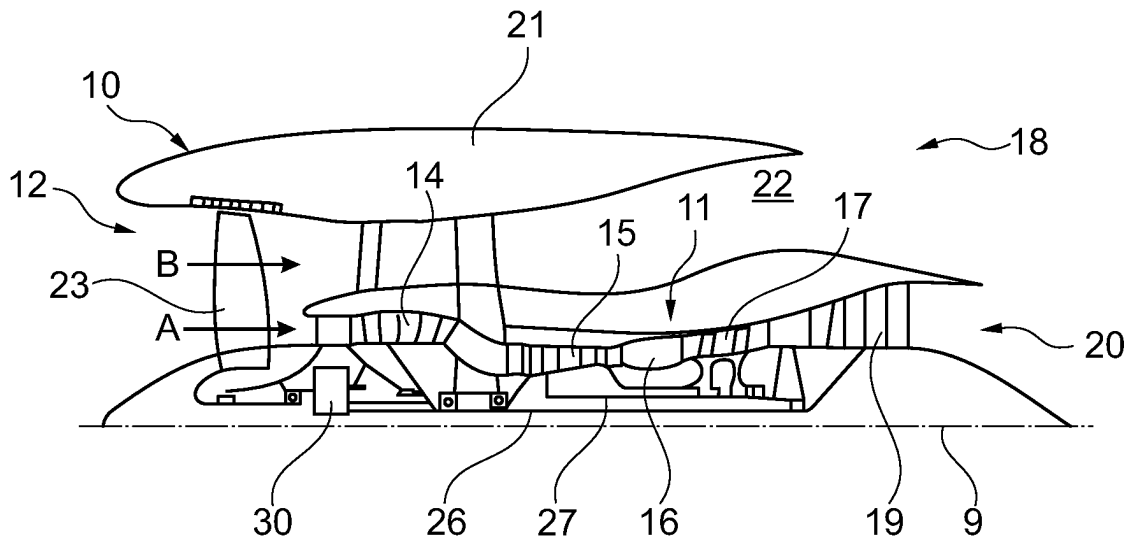
- Ermitteln (S2) einer Geometrie und/oder von Materialeigenschaften des ersten und des zweiten Abschnitts (40a, 40b) der Halteeinrichtung (40; 40') in einer Optimierungsprozedur.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei die Optimierungsprozedur einen FEM-Algorithmus umfasst.

15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, wobei die Optimierungsprozedur iterativ erfolgt.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



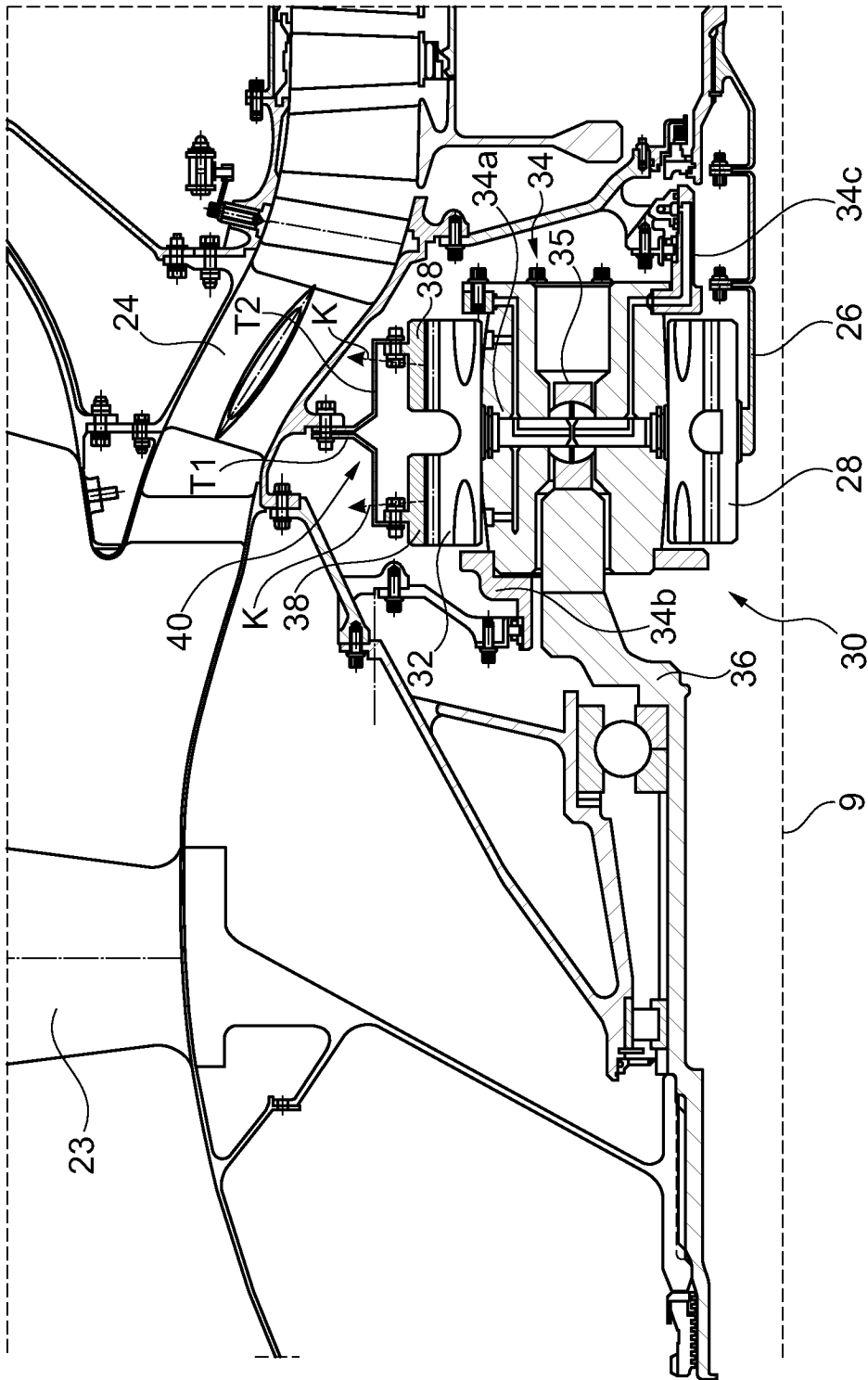
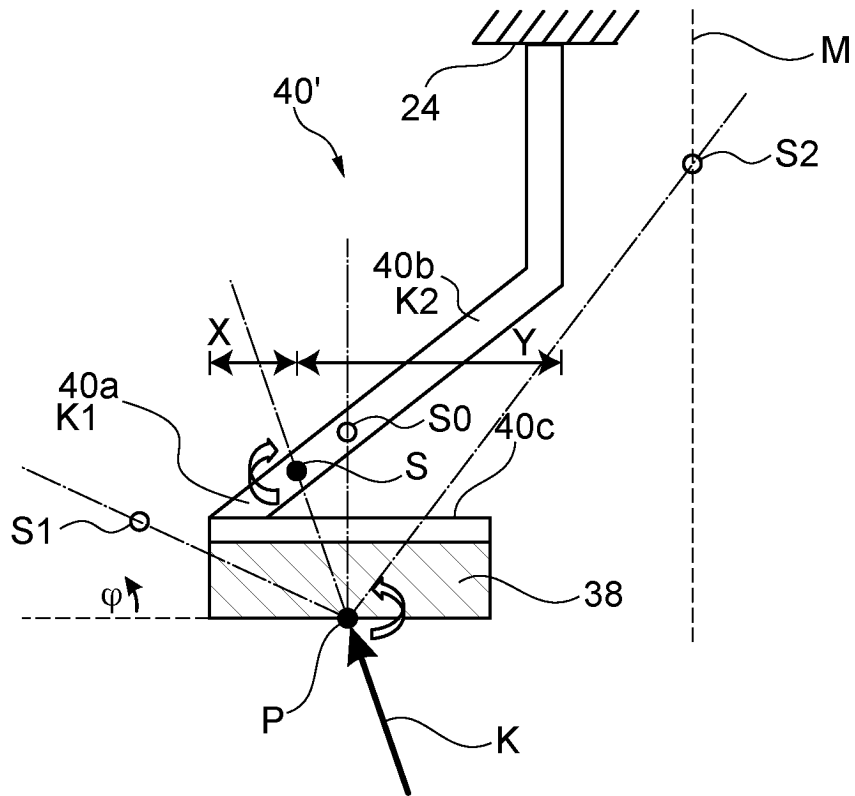
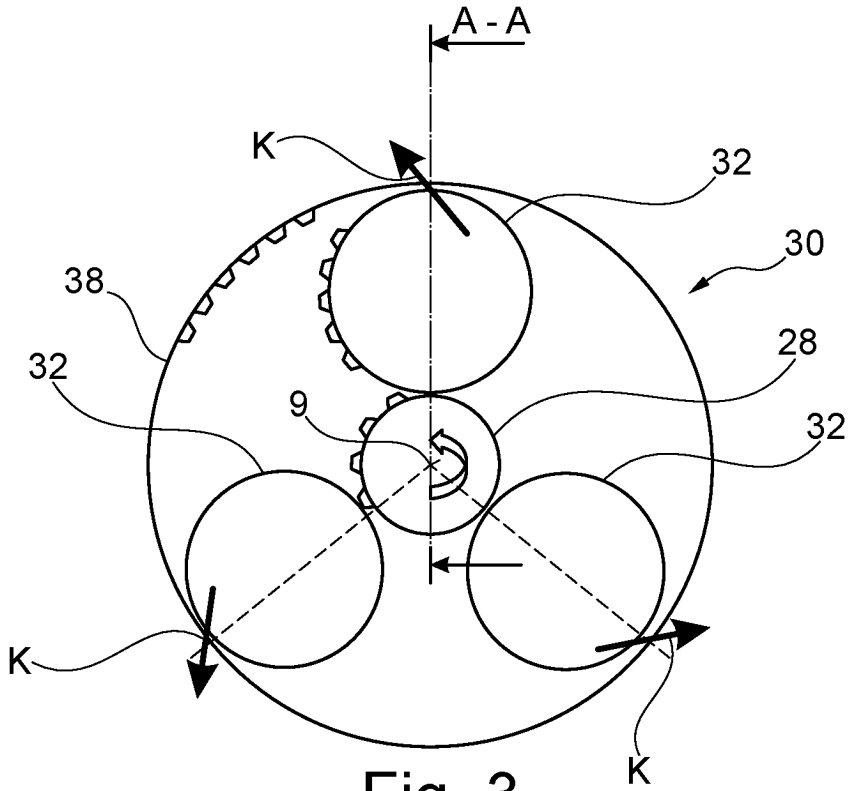


Fig. 2



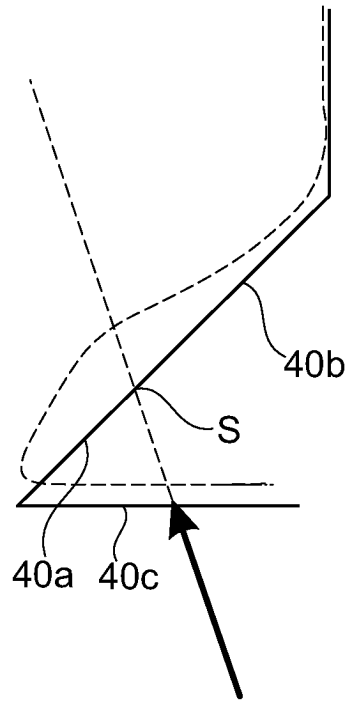


Fig. 5

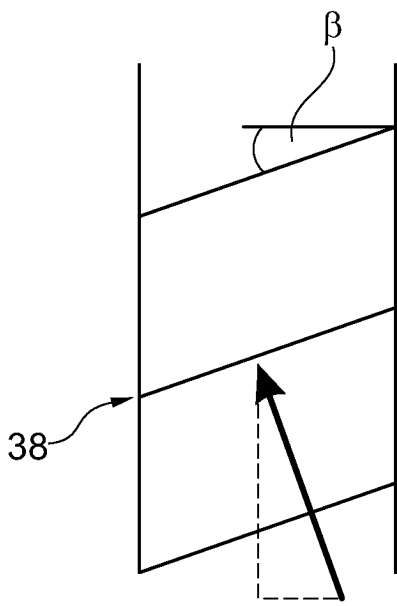


Fig. 6A

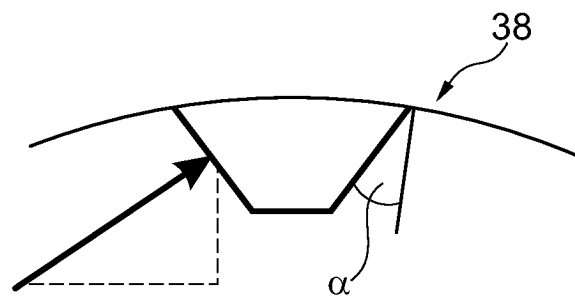


Fig. 6B

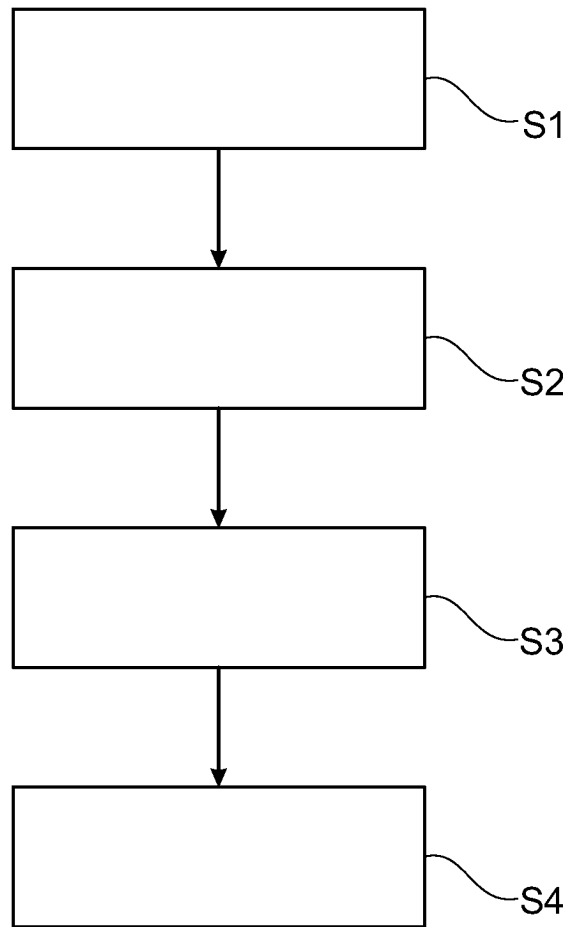


Fig. 7