



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 100 61 397 B4 2004.04.08

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 100 61 397.7  
(22) Anmelddatum: 09.12.2000  
(43) Offenlegungstag: 08.05.2002  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 08.04.2004

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: F16H 57/08  
F16C 33/12, F16C 33/10, F16H 57/04

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(66) Innere Priorität:  
100 48 831.5 29.09.2000

DE 195 24 510 A1  
DE 44 19 243 A1  
DE 42 14 877 A1  
DE 38 22 919 A1  
DE 27 02 321 A1  
DE 14 25 078 A  
US 58 27 147  
US 56 85 797  
ZIMMERMANN,D.: Keramik in der Antriebstechnik.  
In:  
Der Konstrukteur Bd.6,1997;  
JP 08152020 A (abstract). In: Patent Abstracts of  
Japan [CD-ROM];  
JP 2000297813 A (abstract) In: Pat. Abstr. of  
Japan [CD-ROM];

(71) Patentinhaber:  
Desch Antriebstechnik GmbH & Co. KG, 59759  
Arnsberg, DE

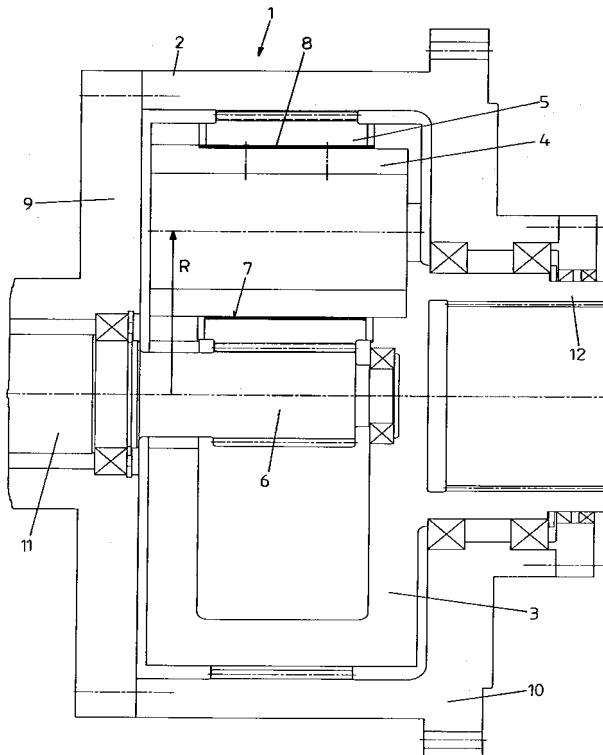
(74) Vertreter:  
FRITZ Patent- und Rechtsanwälte, 59757 Arnsberg

(72) Erfinder:  
Tenberge, Heinz, Dr.-Ing., 58730 Fröndenberg, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
DE 39 01 470 C1  
DE 198 50 346 A1  
DE 196 43 922 A1

(54) Bezeichnung: **Planetengetriebe und Planetenlager sowie deren Bauteile**

(57) Hauptanspruch: Planetengetriebe, bei dem die Planetenräder auf den Planetenachsen in flüssig- oder fettgeschmierten Gleitlagern gelagert sind, die auf der Planetenradbahn mit relativ zur Gleitgeschwindigkeit der Planetenräder hoher Drehzahl umlaufen können und/oder hohen Lagerkräften ausgesetzt sind, wobei die Gleitlager zumindest oberflächenharte Hartstoff-Lagerflächen zur Bildung einer Hartstoff-Hartstoff-Gleitpaarung aufweisen, dadurch gekennzeichnet, dass als Hartstoff für mindestens einen der Gleitpartner Kaltarbeitsstahl verwendet wird.



## Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Planetengetriebe gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1, ein Lager gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 18 sowie ein Lagerbauteil gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 20.

[0002] Ein Anwendungsbereich von Planetengetrieben ist die Realisierung von Antrieben, die zwei mit unterschiedlicher Drehzahl zu beaufschlagende An- oder Abtriebszweige haben. In der Praxis wird hierzu das Antriebsdrehmoment über eines der Getriebeelemente, beispielsweise das Hohlrad, in den ersten Antriebszweig eingeleitet, und an einem zweiten Getriebeelement, beispielsweise am Planetenträger, das Antriebsmoment für den zweiten Antriebszweig abgegriffen. Die Drehzahldifferenz kann durch die Relativdrehzahl des dritten Getriebeelements, beispielsweise des Sonnenrades, vorgegeben werden. Ein derartiger Überlagerungsantrieb findet beispielsweise bei Trennzentrifugen Anwendung, bei denen die Zentrifugentrommel angetrieben wird, während die darin angeordnete Austragsschnecke über den Planetenträger mit einer Drehzahl beaufschlagt wird, die geringfügig unterschiedlich zu der der Zentrifugentrommel ist.

[0003] Die hohe Planetenträgerdrehzahl spricht für die Verwendung von unter flüssigem Schmierstoff laufenden Gleitlagern in den Planeten. Im Stand der Technik wird in dieser Konfiguration für die durch einen Ölfilm hydrodynamisch aufeinander gleitenden Lagerflächen eine Gleitpaarung Lagermetall (Lagerbronze, Weißmetall) – Stahl verwendet. Durch die hohe Absolutdrehzahl des Planetenträgers, welche in der Größenordnung der Antriebsdrehzahl des Hohlrades liegt, wirken auf die Lager der Planetenräder erhebliche, bezogen auf die Achse des Planetengetriebes radial nach außen gerichtete Zentrifugalkräfte. Durch zum Teil geringe Absolutdrehzahlen der Planetenräder wird der im Lagerspalt tragende Schmiermittelfilm (Ölfilm/Fettfilm) lokal gestört, so dass im Übergangsbereich Mischreibung zwischen den Gleitflächen der Lager auftreten kann. Um einem dadurch verursachten vorzeitigen Verschleiß entgegenzuwirken, wird die auftretende spezifische Druckbelastung durch eine vergrößerte Dimensionierung der Lagerflächen ausgeglichen. Dies führt zu relativ großen Abmessungen und entsprechend hohen umlaufenden Massen. Nach längerer Betriebsdauer tritt jedoch auch dadurch Lagerverschleiß ein, dass Lagermetall-Stahl-Gleitpaarungen relativ empfindlich gegen im Schmiermittel enthaltene abrasive Partikel sind, die in einem Zahnradgetriebe nach einer längeren Betriebszeit nicht völlig zu vermeiden sind.

## Stand der Technik

[0004] Ein Planetengetriebe, ein Lager sowie ein Lagerbauteil der eingangs genannten Art sind aus Zimmermann, D., „Keramik in der Antriebstechnik“, in

„Der Konstrukteur“, Band 6, 1997, Seite 16 und 17 bekannt. In der vorgenannten Veröffentlichung sind Planetengetriebe mit massiven keramischen Achsen als Planetenachsen beschrieben. Weiterhin wird in dieser Literaturstelle vorgeschlagen, die Planetenräder in Sintertechnologie zu fertigen. Insbesondere wird dabei Zirkonoxid als Pulver auf die Lagerflächen aufgebracht und bei Temperaturen von beispielsweise 1.500° C über 24 Stunden gesintert.

[0005] Die deutsche Patentschrift DE 39 01 470 C1 offenbart einen Kaltarbeitsstahl mit einer spezifischen Zusammensetzung. Weiterhin wird in dieser Schrift zum Ausdruck gebracht, dass ein derartiger Kaltarbeitsstahl für den Einsatz in einem Wälzlager verwendet werden kann.

[0006] Aus der DE 27 02 321 A1 ist ein Lager für ein Planetengetriebe bekannt, das einen aus Stahl gefertigten Bolzen und eine mit diesem zusammenwirkende Lagerfläche aufweist, die mit einem reibungsvermindernden Werkstoff beschichtet ist. Als reibungsvermindernder Werkstoff kann bei der vorgenannten Offenlegungsschrift beispielsweise Bronze oder Polyamid verwendet werden.

[0007] Aus der japanischen Offenlegungsschrift JP 2000-297813 A ist ein Gleitlager mit einer Welle aus einem kaltgefertigten austenitischen Stahl und einer Hülse aus einem Kupfermaterial bekannt.

## Aufgabenstellung

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabenstellung zu grunde, die Funktionalität eines Planetengetriebes, eines Lagers und eines Lagerbauteils der eingangs genannten Art unter den angegebenen Betriebsbedingungen zu verbessern. Insbesondere werden verbesserte Betriebseigenschaften sowie verbesserte konstruktive Eigenschaften angestrebt.

[0009] Dies wird erfindungsgemäß durch ein Planetengetriebe der eingangs genannten Art mit den – Merkmalen des Anspruchs 1, durch ein Lager der eingangs genannten Art mit den Merkmalen des Anspruchs 18 sowie durch ein Lagerbauteil der eingangs genannten Art mit den Merkmalen des Anspruchs 20 erreicht. Die Unteransprüche betreffen bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung.

[0010] Unter den besonderen Bedingungen der erfindungsgemäßen Anwendung ergeben sich besondere Vorteile.

[0011] Ein wesentlicher Vorteil besteht darin, dass unter den angegebenen Bedingungen bei der durch Störungen des Ölfilms im Lagerspalt aufgrund der hohen Fliehkraftbelastung auftretenden Mischreibung ein deutlich geringerer Verschleiß der erfindungsgemäßen Gleitpaarung auftritt, als bei den bekannten Lagermetall-Stahl-Gleitpaarungen.

[0012] Diese verbesserte Funktionalität führt zu einer höheren Lebensdauer und einer erheblich verbesserten Betriebssicherheit.

[0013] Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass aufgrund der wesentlich verbesserten Verschleißeigenschaf-

ten eine deutlich höhere relative Druckbeanspruchung der Lagerflächen zugelassen werden kann. Daraus ergibt sich die konstruktive Möglichkeit, die Lagerflächen zu verkleinern. Daran ist besonders vorteilhaft, dass die erfindungsgemäßen Planetengetriebe besonders kompakt mit kleiner Baugröße gestaltet werden können. Dies führt zu einer Verringerung der rotierenden Massen, bzw. zu höherer Belastbarkeit bestehender Baugrößen.

[0014] Vorteilhaft ist weiterhin, dass die erfindungsgemäße Gleitpaarung relativ unempfindlich gegenüber in dem Schmiermittel enthaltene abrasive Partikel ist, wie sie beispielweise durch Abrieb entstehen können. Diese Partikel werden nämlich zwischen den Hartstoff-Lagerflächen zermahlen, ohne diese zu beschädigen.

[0015] Als Hartstoffe im Sinne der Erfindung sind Stoffe anzusehen, welche eine größere Härte als gehärteter Stahl haben. Aufgrund ihrer besonderen Härte und Abriebfestigkeit sind erfindungsgemäß als Hartstoff besonders Keramik, Hartmetall, Kaltarbeitsstahl sowie entsprechende Beschichtungen geeignet. Die Lagerflächen können dann beispielsweise an den Lagerbuchsen ausgebildet sein, die aus den vorgenannten Hartstoffen gefertigt sind. Diese Hartstoff-Lagerbuchsen können beispielsweise in die Lagerbohrung der Planetenräder eingesetzt sein und/oder auf dem Lagerzapfen der Planetenachsen angebracht sein.

[0016] Alternativ zur Verwendung von durchgehend aus Hartstoff bestehenden Lagerbuchsen ist es möglich, dass die Lagerflächen mit einer Beschichtung aus Hartstoff versehen sind. Derartige Hartschichten können beispielsweise im PVD (Plasma Vapour Deposition)-Verfahren oder CVD (Chemical Vapour Deposition)-Verfahren aufgebrachte Nitrid- oder Karbidschichten sein, beispielsweise Titannitrid, Aluminiumnitrid, Borkarbid oder dergleichen, oder auch DLC (Diamond like Carbon)-Schichten, die sich durch extreme Härte und Verschleißfestigkeit auszeichnen. Diese Hartschichten können sowohl in der Lagerbohrung der Planetenräder als auch auf den Planetenachsen aufgebracht sein. Kombinationen von Hartschichten mit Hartstoff-Buchsen sind gleichfalls machbar.

[0017] Die Erfindung bezieht sich ebenfalls auf derartige geschmierte Gleitlager sowie Lagerbauteile von derartigen Gleitlagern, die sich dadurch auszeichnen, dass die Lagerflächen zumindest teilweise in der vorangehend beschriebenen Weise eine Hartstoff-Oberfläche aufweisen.

[0018] Gemäß Anspruch 12 kann vorgesehen sein, dass die Gleitlager zumindest teilweise mit einer reibungsvermindernden Oberfläche ausgebildete Lagerflächen aufweisen.

[0019] Als Material für derartige reibungsarme Gleitpaarungen kommen solche Werkstoffe in Frage, die zum einen relativ hart bzw. verschleißfest sind und bedingt durch die Kristallstruktur bzw. molekulare/atomare Oberflächenstruktur besonders glatt sind

und dadurch eine sehr geringe Neigung haben, sich bereits bei kurzfristiger Störung des Schmiermittelfilms festzufressen und dadurch Schaden zu nehmen.

[0020] Konkret kommen als derartige reibungsvermindernde Werkstoffe in Betracht, das sind insbesondere solche Werkstoffe mit einer sehr geringen Oberflächenrauhigkeit und relativ großer Härte, beispielsweise die vorangehend als Hartschicht erwähnten DLC-Schichten, oder beispielsweise Siliciumcarbid (SiC) oder dergleichen.

[0021] Das reibungsvermindernde Material kann alternativ als Beschichtung auf die Lagerflächen aufgebracht sein, wie dies vorangehend bereits für die Hartschichten vorgeschlagen worden ist. Eine derartige Beschichtung wird in der Lagerbohrung der Planetenräder bzw. auf den Lagerzapfen der Planetenachsen aufgebracht.

[0022] Alternativ ist es gleichfalls möglich, dass die Lagerflächen an Lagerbuchsen aus reibungsverminderndem Material ausgebildet sind, die in den Lagerbuchsen der Planetenräder eingesetzt sind und/oder auf den Planetenachsen angebracht sind.

[0023] Ein Gleitlager mit Lagerflächen, die zumindest teilweise eine Lagerfläche aus reibungsverminderndem Material aufweisen sowie Lagerbauteile mit derartigen Lagerflächen, beispielsweise Lagerbuchsen aus reibungsverminderndem Material, die in die Lagerbohrung der Planetenräder einsetzbar sind oder auf dem Lagerzapfen der Planetenachsen angebracht werden, sind ebenfalls Gegenstand der Erfindung.

[0024] Weitere Merkmale der vorliegenden Erfindung werden deutlich anhand der nachfolgenden Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen. Hierzu zeigt

[0025] **Fig. 1** einen schematischen Längsschnitt durch ein erfindungsgemäßes Planetengetriebe.

[0026] In **Fig. 1** ist im Längsschnitt ein einstufiges Planetengetriebe dargestellt, beispielsweise die letzte Stufe eines mehrstufigen Antriebs, und als ganzes mit dem Bezugszeichen **1** versehen. In der dargestellten Ansicht befindet sich die Antriebsseite links und entsprechend die Antriebsseite rechts.

[0027] Das Planetengetriebe hat als erstes Getriebeelement ein Hohlrad **2**, und als zweites Getriebeelement einen Planetenträger **3**, der auf Planetenachsen **4** gelagerte Planetenräder **5** aufweist. Das dritte Getriebeelement wird durch das zentrale Sonnenrad **6** gebildet.

[0028] Das gesamte Planetengetriebe **1** weist eine Öl- oder Fettschmierung auf, d.h. das Hohlrad **2** ist zumindest teilweise mit Schmierstoff gefüllt.

[0029] Die Planetenräder **5** laufen auf den Planetenachsen **4** in Gleitlagern, die jeweils gebildet werden durch eine Lagerbuchse **7** bzw. Lagerbohrung im Planetenrad **5**, die auf einem Lagerzapfen **8** der Planetenachse **4** läuft.

[0030] Die erfindungsgemäße Ausgestaltung des

Gleitlagers **7/8** ist durch die ausgefüllten Bereiche angedeutet, nämlich die im Bereich der aufeinander gleitenden Lagerflächen ausgebildete, spezielle Hartstoffoberfläche und/oder Oberfläche aus reibungsverminderndem Material. Im einzelnen kann hierzu in das Planetenrad **5** eine Lagerbuchse **7** aus Hartstoff, beispielsweise Keramik, Verschleiß- bzw. reibungsverminderndem Material eingesetzt sein, oder die Lagerbohrung in ihrem Oberflächenbereich mit einer Beschichtung aus Hartstoff und/oder reibungsverminderndem Material ausgestaltet sein, beispielsweise einer DLC-Schicht. Die Planetenachsen **4** können entsprechend ausgebildet sein, wobei ebenfalls eine aufgesetzte Lagerbuchse **8** aus Hartstoff bzw. reibungsverminderndem Material oder alternativ eine Beschichtung aus derartigen Materialien aufgebracht sein kann. Der Lagerzapfen **8** kann beispielsweise aus gehärtetem oder oberflächengehärtetem, ggf. mit einer Hartstoffschicht versehenen Kaltarbeitsstahl bestehen, während die Lagerbuchse **7** in dem Planetenrad **5** aus Keramikmaterial besteht. [0031] Im Betrieb wird das Hauptantriebsmoment über den eingangsseitigen Flansch **9** in das Hohlrad **2** eingeleitet und an dessen ausgangsseitigem Flansch **10** zum Antrieb beispielsweise einer Zentrifugentrommel abgegriffen. Die mit dem Sonnenrad verbundene Eingangswelle **11** kann je nach Bedarf festgesetzt oder mit einem Zusatzdrehmoment beaufschlagt werden. Dadurch rotiert der Planetenträger **3** mit einer von dem Hohlrad **2** unterschiedlichen Differenzgeschwindigkeit, die unter anderem abhängig ist von der Drehzahldifferenz zwischen dem Sonnenrad **8** und dem Hohlrad **2**. Über den Ausgangsflansch **12** wird das Drehmoment mit der vom Hohlrad **2** abweichenden Drehzahl des Planetenträgers **3** zum Antrieb beispielsweise einer Austragsschnecke einer Trennzentrifuge abgenommen. Der Leistungsfluss kann wie oben beschrieben oder umgekehrt sein.

[0032] Im Betrieb kann das Hohlrad **2** beispielsweise mit einer Drehzahl von 2000 Umdrehungen pro Minute rotieren, wobei die Drehzahl des Planetenträgers **3** lediglich geringfügig davon abweicht. Aufgrund der mit dieser hohen Drehzahl auf einer Kreisbahn mit Bahnradius  $R$  um die Getriebeachse umlaufenden Planetenräder **5** müssen von den Planetenlagern die überwiegend durch die wirkenden Fliehkräfte ausgelösten Belastungen aufgenommen werden, welche in Richtung der Resultierenden aus den Fliehkräften und den übertragenen Momenten, d.h. im wesentlichen radial wirken. Dank der erfindungsgemäßen Ausgestaltung der Lagerbuchse bzw. Lagerbohrung **7** in dem Planetenrad **5** sowie des Lagerzapfens **8** der Planetenachse **4** ergeben sich die vorangehend bereits erläuterten Vorteile.

### Patentansprüche

1. Planetengetriebe, bei dem die Planetenräder auf den Planetenachsen in flüssig- oder fettge-

schmierten Gleitlagern gelagert sind, die auf der Planetenradbahn mit relativ zur Gleitgeschwindigkeit der Planetenräder hoher Drehzahl umlaufen können und/oder hohen Lagerkräften ausgesetzt sind, wobei die Gleitlager zumindest oberflächenharte Hartstoff-Lagerflächen zur Bildung einer Hartstoff-Hartstoff-Gleitpaarung aufweisen, dadurch gekennzeichnet, dass als Hartstoff für mindestens einen der Gleitpartner Kaltarbeitsstahl verwendet wird.

2. Planetengetriebe nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Hartstoff für eine weitere Hartstoff-Lagerfläche des Gleitlagers Keramik verwendet wird.

3. Planetengetriebe nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Hartstoff für eine weitere Hartstoff-Lagerfläche des Gleitlagers Hartmetall verwendet wird.

4. Planetengetriebe nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Hartstoff für eine weitere Hartstoff-Lagerfläche des Gleitlagers gehärteter Stahl verwendet wird.

5. Planetengetriebe nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Hartstoff für eine weitere Hartstoff-Lagerfläche des Gleitlagers Kaltarbeitsstahl verwendet wird.

6. Planetengetriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Lagerflächen an Lagerbuchsen (7) aus Hartstoff ausgebildet sind.

7. Planetengetriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Lagerbuchsen (7, 8) aus Hartstoff in den Planetenräder (5) und/oder auf den Planetenachsen (4) angebracht sind.

8. Planetengetriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Lagerflächen mit einer Beschichtung aus Hartstoff versehen sind.

9. Planetengetriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Planetenräder (5) und/oder die Planetenachsen (4) zumindest teilweise mit Hartstoff beschichtet sind.

10. Planetengetriebe nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei den Hartstoffen für die Beschichtung um Nitrid- oder Karbid-schichten handelt, insbesondere um eine Titanitrid-, Aluminiumnitrid-, Borkarbid- oder DLC- (Diamond like Carbon) Schicht.

11. Planetengetriebe nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Be-

schichtung im PVD (Plasma Vapor Deposition)-Verfahren oder CVD (Chemical Vapor Deposition)-Verfahren aufgebracht ist.

12. Planetengetriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Gleitlager zumindest teilweise mit einer reibungsvermindernden Oberfläche ausgebildete Lagerflächen aufweisen.

13. Planetengetriebe nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Lagerflächen mit einer Beschichtung aus reibungsverminderndem Material versehen sind.

14. Planetengetriebe nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung auf die Planetenräder (5) und/oder die Planetenachsen (4) aufgebracht ist.

15. Planetengetriebe nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Lagerflächen an Lagerbuchsen (7) aus reibungsverminderndem Material ausgebildet sind.

16. Planetengetriebe nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Lagerbuchsen (7, 8) in den Planetenräder (5) und/oder auf den Planetenachsen (4) angebracht sind.

17. Planetengetriebe nach einem der Ansprüche 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die reibungsvermindernde Oberfläche aus einem Material mit sehr geringer Oberflächenrauhigkeit und/oder hoher Oberflächenhärte ausgebildet ist, beispielsweise SiC.

18. Lager für ein Planetengetriebe, zur Lagerung eines Planetenrades auf einer Planetenachse, wobei das Lager als flüssig- oder fettgeschmiertes Gleitlager ausgebildet ist, wobei die Lagerflächen des Gleitlagers Hartstoff-Oberflächen zur Bildung einer Hartstoff-Hartstoff-Gleitpaarung aufweisen, dadurch gekennzeichnet, dass als Hartstoff für mindestens einen der Gleitpartner Kaltarbeitsstahl verwendet wird.

19. Lager nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Gleitlager zumindest teilweise eine mit einer reibungsvermindernden Oberfläche ausgebildete Lagerflächen aufweisen.

20. Lagerbauteil für ein Lager eines Planetengetriebes, zur Lagerung eines Planetenrades auf einer Planetenachse, wobei das Lager als flüssig- oder fettgeschmiertes Gleitlager ausgebildet ist, wobei zumindest die Lagerflächen zumindest teilweise eine Hartstoff-Oberfläche zur Bildung einer Hartstoff-Hartstoff-Gleitpaarung aufweisen, dadurch gekennzeichnet, dass als Hartstoff für mindestens einen der Gleitpartner Kaltarbeitsstahl verwendet wird.

21. Lagerbauteil nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest die Lagerflächen zumindest teilweise eine Oberfläche aus reibungsverminderndem Material (7, 8) aufweisen.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Fig.1

