

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
09. Juli 2020 (09.07.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/141095 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
F16D 1/10 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/086490

(22) Internationales Anmeldedatum:
19. Dezember 2019 (19.12.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2019 200 017.7
03. Januar 2019 (03.01.2019) DE

(71) Anmelder: SMS GROUP GMBH [DE/DE]; Edu-
ard-Schloemann-Str. 4, 40237 Düsseldorf (DE).

(72) Erfinder: LAZZARO, Klaus; Im Gründchen 29, 57399
Kirchhundem (DE). STEINSEIFER, Jan; Kindelsbergstr.
11a, 57271 Hilchenbach (DE).

(74) Anwalt: KLÜPPEL, Walter; HEMMERICH & KOLLE-
GEN, Hammerstr.2, 57072 Siegen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP,
KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: SHAFT, HUB AND SHAFT-HUB CONNECTION FOR TRANSMITTING A TORQUE

(54) Bezeichnung: WELLE, NABE UND WELLE-/NABE-VERBINDUNG ZUM ÜBERTRAGEN EINES DREHMOMENTES

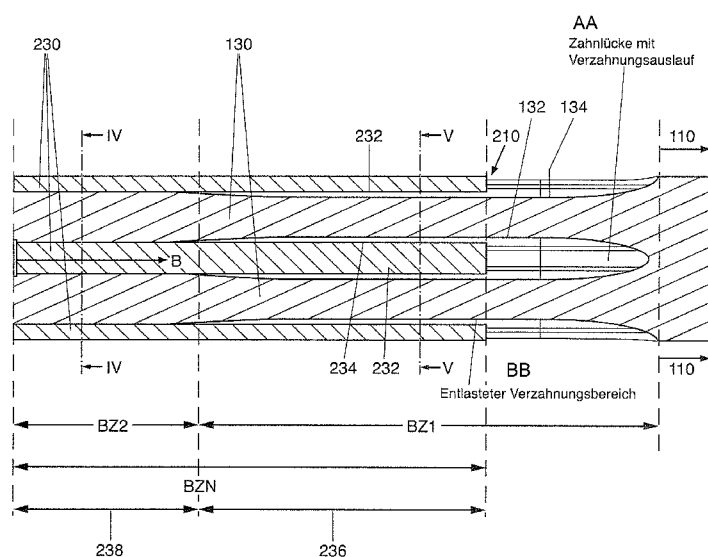


Fig. 3a

AA Tooth space having tapering-off of toothings
BB Load-relieved tooting region

(57) Abstract: The invention relates to a shaft and/or a hub for a shaft-hub connection for transmitting a torque. Known shafts have a solid shaft portion (110) and a toothed portion (120), which adjoins, on the hub-side end of the shaft, the solid shaft portion in the axial direction. The toothed portion has external toothings (122) having at least one tooth (130) extending across a total width BZ in the axial direction of the shaft. The tooth has a load-side flank (132) and a rear-side flank (134). According to the invention, in order to reduce a local stress concentration on the toothings in the case of a load and to achieve uniform load per unit area on the load-side flank across as much of the width of the tooth as possible, at least the load-side flank of the tooth is tapered in the solid-shaft-side width portion in comparison with the load-side flank in the end-side width portion.

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine Welle und/oder eine Nabe für eine Welle-/Nabe-Verbindung zum Übertragen eines Drehmomentes. Bekannte Wellen weisen einen Vollwellenabschnitt (110) und eine sich in axialer Richtung an dem nabenseitigen Ende der Welle an den Vollwellenabschnitt anschließenden Verzahnungsabschnitt (120) auf. Der Verzahnungsabschnitt weist eine Außenverzahnung (122) mit mindestens einem sich in axialer Richtung der Welle über eine Gesamtbreite BZ erstreckenden Zahn (130) auf. Der Zahn hat eine lastseitige Flanke (132) und eine rückseitige Flanke (134). Um eine lokale Spannungsüberhöhung an der Verzahnung im Lastfalle abzubauen und eine gleichmäßige Flächenbelastung an der lastseitigen Flanke möglichst über der gesamten Breite des Zahns zu erreichen, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, in dem vollwellenseitigen Breitenabschnitt zumindest die lastseitige Flanke des Zahnes gegenüber der lastseitigen Flanke in dem stirnseitigen Breitenabschnitt verjüngt auszubilden.

Welle, Nabe und Welle-/Nabe-Verbindung zum Übertragen eines Drehmomentes

Die Erfindung betrifft eine Welle und eine Nabe zum Übertragen eines Drehmomentes mit Hilfe einer Welle-/Nabe-Verbindung. Darüber hinaus betrifft die Erfindung die Welle-/Nabe-Verbindung selber sowie ein Verfahren zum Herstellen einer Welle und/oder einer Nabe.

Im Maschinen- und Anlagenbau ist es aus dem Stand der Technik bekannt, zur Drehmomentenübertragung von einer Welle auf eine Nabe, z. B. die nach DIN 5480 genormte Steckverzahnung zu verwenden. Eine Steckverzahnung wie sie in Figur 1 dargestellt ist, ist dadurch charakterisiert, dass zwischen der Verzahnung der Welle 100 und der Verzahnung der Nabe 200 keine Relativbewegung, insbesondere keine Abrollbewegung stattfindet. Vielmehr sind die Zähne der Nabe quasi zwischen die Verzahnung auf der Welle „eingesteckt“. Die Steckverzahnung ist zu unterscheiden von einer Laufverzahnung, wie sie beispielsweise zwischen zwei abwälzenden Zahnrädern gegeben ist; dabei läuft bzw. rollt die Verzahnung des einen Rades ein Stück weit auf dem Profil und der Flanke der Verzahnung eines anderen Zahnrades ab.

Die wellenseitige Verzahnung (gemäß Figur 2a) und nabenseitige Verzahnung unterliegen bei einer Steckverzahnung in der Regel, speziell durch Torsion, einer hohen Verdrillung. Diese Verdrillung hat einen wesentlichen Einfluss auf die Lastverteilung im Zahnkontakt zwischen Welle und Nabe. Zusätzliche Effekte wie die Verformung der Nabe und die Zahnbiegung begünstigen ebenfalls diese ungleichförmige Lastverteilung über der Verzahnungsbreite, wie sie in Figur 2b dargestellt ist. Die in Figur 2b gezeigte Spannungsüberhöhung entsteht dadurch, dass bei der Übertragung eines Drehmoments in einem eng begrenzten Breitenbereich der Verzahnung die Flanken von der Außenverzahnung der Welle und der Innenverzahnung der Nabe bei der Übertragung eines Drehmomentes mit zu großen Kräften in Umfangsrichtung aufeinanderdrücken.

Eine ungleichförmige Lastverteilung führt zu lokalen Spannungsüberhöhungen über der Zahnbreite sowohl für die Kontaktspannung als auch für die Zahnfußspannung.

5

Ein im Stand der Technik bekannter Ansatz zur Begegnung der erhöhten Zahnfußspannung sieht vor, dass lediglich eine Optimierung der „Makrogeometrie“, wie z. B. der Fußrundungen vorgenommen wird. Der besagten ungleichförmigen Lastverteilung wird durch diese Änderungen der Makrogeometrie jedoch nicht aktiv entgegengewirkt. Vielmehr wird dadurch lediglich die „globale“ Festigkeit im Fußbereich des Zahnes erhöht. Die Folge ist somit ebenfalls eine global gesehen massivere Auslegung der Welle-/Nabe-Verbindung, obwohl diese lediglich lokal hochbeansprucht ist.

10

15

Eine andere Art der Flankenmodifikation ist in dem Aufsatz „Mechanism and Maschine Theory“ 119(2018)142-160 der Chonqing University China beschrieben. Dieser Aufsatz sieht eine Verjüngung der lastseitigen Flanke eines Zahnes vor, wobei die Stärke der Verjüngung über der Flankenlinie variiert. Die in dem Aufsatz beschriebene Modifikation der Zahnflanken ist explizit für Laufverzahnungen vorgesehen, nicht jedoch für Steckverzahnungen, wie sie Gegenstand der vorliegenden Erfindung sind.

20

25

Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine bekannte Welle mit einer Wellenverzahnung, eine bekannte Nabe mit einer Nabenverzahnung sowie eine bekannte Welle-/Nabe-Verbindung und ein bekanntes Verfahren zur Herstellung einer Welle und/oder Nabe dahingehend weiterzubilden, dass eine ungleichförmige Spannungsverteilung über der Breite der Verzahnung im Lastfalle reduziert bzw. gleichmäßig wird.

30

Diese Aufgabe wird durch die im Patentanspruch 1 beanspruchte Welle gelöst. Diese ist dadurch gekennzeichnet, dass in dem vollwellenseitigen Breitenabschnitt

zumindest die lastseitige Flanke des Zahnes gegenüber der lastseitigen Flanke in dem stirnseitigen Breitenabschnitt verjüngt ausgebildet ist.

Die beanspruchte Verjüngung der lastseitigen Flanke bedeutet einen Materialabtrag an der lastseitigen Flanke des Zahnes. Durch den Materialabtrag, insbesondere im Bereich maximaler Belastung der lastseitigen Flanke, reduziert sich die Kraft, mit welcher die zugeordnete, d. h. gegenüberliegende Verzahnung der Nabe auf die lastseitige Flanke der Wellenverzahnung drückt; d. h. es findet eine lokale Entlastung statt. Auf diese Weise wird die unerwünschte Spannungsüberhöhung im Lastbereich abgebaut und die Spannungsverteilung über der Breite der Verzahnung vergleichmäßigt. Weil die maximale Belastung bzw. die Spannungsüberhöhung in dem vollwellenseitigen Breitenabschnitt der Verzahnung festgestellt wird, erfolgt auch dort der Materialabtrag, d. h. die Verjüngung.

Grundsätzlich ist ein beliebiges Verhältnis bzw. eine beliebige Aufteilung zwischen 0 – 100 % von vollwellenseitigem und stirnseitigem Breitenabschnitt auf die Gesamtbreite des Zahnes der Welle denkbar. In der Praxis, d.h. bei Belastung einer ausgebildeten Well-/Nabe-Verbindung, ergibt sich die konkrete Aufteilung anhand der Position des Ortes des Auftretens der maximalen Belastung über der Breite des Zahnes; diese Position liegt immer im vollwellenseitigen Breitenabschnitt der Welle.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel ist zunächst beansprucht, dass die Verjüngung der Flanke in Breitenrichtung dort beginnt, wo der stirnseitige Breitenabschnitt in den vollwellenseitigen Breitenabschnitt übergeht. Umgekehrt kann auch gesagt werden, dass der berechnete Beginn der Verjüngung in Breitenrichtung den Übergang von stirnseitigem auf den vollwellenseitigen Breitenabschnitt definiert. Der Beginn der Verjüngung in Breitenrichtung und die Verteilung der Stärke in Breitenrichtung berechnen sich nach Maßgabe der zuvor

ermittelten Lastverteilung und insbesondere einer erkannten Lastüberhöhung in Breitenrichtung.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung entspricht der Verlauf der Stärke der Verjüngung von zumindest der lastseitigen Flanke in Breitenrichtung des Zahnes auf den Vollwellenabschnitt der Welle hin allgemein dem Verlauf eines Polynoms n'ter Ordnung, näherungsweise dem Verlauf eines Polynoms zweiter Ordnung.

- 5
10
15
- Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel ist die Stärke der Verjüngung entlang bzw. über der Profillinie konstant. Weiterhin kann es vorteilhaft sein, die Verjüngung auf der lastseitigen und der rückseitigen Flanke spiegelsymmetrisch zur Längsachse des Zahnes in Breitenrichtung B vorzusehen. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass der Abbau der Spannungserhöhungen für beide Drehrichtungen der Welle gewährleistet wäre.

- 20
- Die oben genannte Aufgabe der Erfindung wird weiterhin durch eine Nabe gemäß Patentanspruch 7, durch eine Welle-/Nabe-Verbindung gemäß Patentanspruch 13 sowie durch ein Verfahren zur Herstellung einer Welle und/oder Nabe gemäß Anspruch 15 gelöst. Die Vorteile dieser beiden weiteren Lösungen entsprechen den oben mit Bezug auf die beanspruchte Welle nach Patentanspruch 1 genannten Lösungen.

- 25
30
- Auch für die Nabe gilt: Grundsätzlich ist ein beliebiges Verhältnis bzw. eine beliebige Aufteilung zwischen 0 – 100 % von vollwellennahem und vollwellenfernem Breitenabschnitt auf die Gesamtbreite des Zahnes der Nabe denkbar. Bevorzugt ist ein Anteil des vollwellenfernen Breitenabschnitts von 0 - 20%, weiter bevorzugt von 5-10% an der Gesamtbreite des Zahnes der Nabe. In der Praxis, d.h. bei Belastung einer ausgebildeten Well-/Nabe-Verbindung, ergibt sich die konkrete Aufteilung anhand der Position des Ortes des Auftretens der

maximalen Belastung über der Breite des Zahnes; diese Position liegt immer im vollwellennahen Breitenabschnitt der Nabe.

Die Welle-/Nabe-Verbindung ist dann ausgebildet, wenn die Welle in die Nabe
5 eingeschoben ist und mit der Nabe eine formschlüssige Steckverzahnung
ausbildet. Um einer zuvor berechneten lokalen Spannungsüberhöhung innerhalb
der Welle-/Nabe-Verbindung entgegenzuwirken, kann die lastseitige Flanke der
Wellenverzahnung oder die gegenüberliegende lastseitige Flanke der
Nabenverzahnung verjüngt bzw. dickenreduziert werden. Weiterhin besteht auch
10 die Möglichkeit, eine vorbestimmte Gesamtstärke für die Verjüngung in einem
grundsätzlich beliebigen Verhältnis anteilig, beispielsweise hälftig, auf die
lastseitige Flanke des Zahnes der Außenverzahnung der Welle und auf die
lastseitige Flanke des Zahnes der zugeordneten gegenüberliegenden lastseitigen
Flanke des Zahnes der Innenverzahnung der Nabe aufzuteilen. Vereinfacht
15 ausgedrückt wird hier vorgeschlagen, sowohl die lastseitige Flanke der Welle wie
auch die zugeordnete lastseitige Flanke der Nabe jeweils anteilig so weit zu
verjüngen, um damit im Ergebnis dennoch eine Entlastung für die
Spannungsüberhöhung in erforderlicher Höhe zu realisieren.

20 Der Beschreibung sind insgesamt 5 Figuren beigelegt, wobei

Figur 1 eine Welle-/Nabe-Verbindung gemäß dem Stand der Technik;

Figur 2a die Außenverzahnung der Welle aus Figur 1 unter beispielhafter
25 Kennzeichnung des Ortes der maximalen Kontakt- und
Zahnfußspannung durch einen gestrichelten Kreis;

Fig. 2b eine normierte unerwünschte Spannungsverteilung über der Breite
des Zahnes im Lastfalle gemäß dem Stand der Technik;

30

Figur 3a die Verzahnung der Welle-/Nabe-Verbindung mit verjüngten Flanken der Außenverzahnung der Welle in einem vollwellenseitigen Breitenabschnitt in einem Schnitt in Umfangsrichtung;

5 Figur 3b die Verzahnung der Welle-/Nabe-Verbindung mit verjüngten Flanken der Innenverzahnung der Nabe in einem vollwellenseitigen Breitenabschnitt in einem Schnitt in Umfangsrichtung;

10 Figur 4 einen Stirnschnitt durch die Welle und die Nabe in einem nicht-flankenmodifizierten stirnseitigen Breitenabschnitt der Verzahnung;

Figur 5 einen Stirnschnitt durch die Welle und die Nabe mit modifizierter bzw. verjüngten Flanken der Außenverzahnung der Welle in dem vollwellenseitigen Breitenabschnitt der Verzahnung;

15

Figur 6 beispielhaft den Verlauf der Verjüngung der Lastflanke über der Zahnbreite; und

20 Figur 7 eine konstante Spannungsverteilung über der gesamten Verzahnungsbreite gemäß der Erfindung

zeigt.

25 Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die genannten Figuren in Form von Ausführungsbeispielen detailliert beschrieben. In allen Figuren sind gleiche technische Elemente mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Die Figuren 1 und 2 betreffen zwar Stand der Technik, bilden aber die Grundlage für das Verständnis der vorliegenden Erfindung und werden deshalb an dieser Stelle mitbeschrieben.

30

5

Figur 1 zeigt eine klassische Welle-/Nabe-Verbindung wie sie im Stand der Technik
10 grundsätzlich bekannt ist. Eine solche Verbindung dient zum Übertragen eines Drehmo-
mentes M von der Welle 100 auf die Nabe 200 oder umgekehrt. Zu diesem Zweck steht
die Welle 100 mit der Nabe 200 über eine jeweilige Verzahnung in Eingriff. Die Verzah-
nung, konkret die Außenverzahnung befindet sich bei der Welle 100 an der Außenseite
15 eines stirnseitigen Verzahnungsabschnittes 120. Dieser Verzahnungsabschnitt schließt
sich in axialer Richtung der Welle an einen Vollwellenabschnitt 110 der Welle an.

Figur 2a zeigt eine detaillierte Raumunterteilung des Verzahnungsabschnittes 120 zum
besseren Verständnis der nachfolgend beschriebenen Erfindung.

20 Figur 2a zeigt die Außenverzahnung 122 des Verzahnungsabschnittes 120. Die einzel-
nen Zähne 130 der Außenverzahnung 122 erstrecken sich in ihrer Breitenrichtung B, d.
h. in axialer Richtung der Welle 100. Jeder einzelne Zahn 130 der Außenverzahnung
weist eine lastseitige Flanke 132 und eine rückseitige Flanke 134 auf. Diese Flanken
erstrecken sich grundsätzlich über die gesamte Breite BZ eines jeweiligen Zahnes 130.
25 Gemäß Figur 2a wird diese Gesamtbreite BZ des Zahnes 130 nochmals unterteilt in
einen dem Vollwellenabschnitt 110 zugewandten vollwellenseitigen Breitenabschnitt BZ1
und einem dem Vollwellenabschnitt 110 abgewandten stirnseitigen Breitenabschnitt BZ2.
Diese Breitenabschnitte BZ1 und BZ2 unterscheiden sich bei der vorliegenden Erfindung
dadurch, dass zumindest die lastseitige Flanke 132 des Zahnes 130 in dem vollwellen-
30 seitigen Abschnitt BZ1 gegenüber der lastseitigen Flanke 132 in dem stirnseitigen
Breitenabschnitt BZ2 verjüngt ausgebildet ist.

Figuren 3a und 3 b veranschaulichen die Bedeutung des Begriffes „Verjüngen“ im Sinne
der vorliegenden Erfindung. Die Figuren 3a und 3 b zeigen einen Schnitt in Umfangsrich-
35 tung durch die Verzahnung der Welle-/Nabe-Verbindung in einer Draufsicht. Zu erken-
nen sind die in Breitenrichtung B parallel und abwechselnd zueinander angeordneten
Zähne 130 der Außenverzahnung der Welle 100 und der Zähne 230 der

Innenverzahnung der Nabe 200. In dem stirnseitigen Breitenabschnitt BZ2 ist eine echte Steckverzahnung erkennbar; d. h. die Zähne 230 der Nabe 200 liegen dicht an den Zähnen 130 der Außenverzahnung der Welle. Die Flanken der Zähne 130 und 230 berühren sich und liegen fest aneinander; eine Relativbewegung der Flanken findet nicht statt; siehe Figur 4.

In Figur 3a ist in dem benachbarten vollwellenseitigen Breitenabschnitt BZ1 zu erkennen, dass die Zähne 130 der Welle 100 in Breitenrichtung B zunehmend schlanker werden, d. h. sich verjüngen. Die Stärke der Verjüngung nimmt in Breitenrichtung B auf den Vollwellenabschnitt 110 hin zu. Dementsprechend nimmt der Abstand der Flanken der Zähne 130 der Außenverzahnung der Welle 100 zu den gegenüberliegenden benachbarten Flanken der Zähne 230 der Innenverzahnung der Nabe 200 in Breitenrichtung zunehmend weiter zu.

In Figur 3b ist in dem benachbarten vollwellenseitigen Breitenabschnitt BZ1 zu erkennen, dass die Zähne 230 der Nabe 200 in Breitenrichtung B zunehmend schlanker werden, d. h. sich verjüngen. Die Stärke der Verjüngung nimmt in Breitenrichtung B auf den Vollwellenabschnitt 110 hin zu. Dementsprechend nimmt der Abstand der Flanken der Zähne 230 der Innenverzahnung der Nabe 200 zu den gegenüberliegenden benachbarten Flanken der Zähne 130 der Außenverzahnung der Welle 100 in Breitenrichtung zunehmend weiter zu.

Die Stärke der Verjüngung in Breitenrichtung B entspricht im Allgemeinen einer Polynomfunktion n 'ter Ordnung; in guter Näherung lässt sich diese Verjüngung jedoch durch ein Polynom zweiter Ordnung beschreiben; siehe Figur 6. In vergrößerter Darstellung ist der Abstand zwischen den Flanken der Nabenverzahnung und den Flanken der Wellenaußenverzahnung auch in Figur 5 dargestellt.

In Figur 5 ist weiterhin zu erkennen, dass die Stärke der Verjüngung entlang bzw. über der Profillinie PL konstant ist.

Insbesondere die Figuren 3 und 5 zeigen die Innenverzahnung der Nabe und die verjüngte Außenverzahnung der Welle in einem unbelasteten Zustand. In dem unbelasteten Zustand sind die Verjüngung der Zähne und die daraus resultierende
5 Beabstandung der Verzahnung von Welle und Nabe in dem vollwellenseitigen Breitenabschnitt BZ1 erkennbar und erklärlich.

Die erfindungsgemäß beanspruchte Verjüngung der Zahnflanken in dem vollwellenseitigen Breitenabschnitt BZ1 ist zumindest auf der jeweils lastseitigen
10 Flanke eines Zahnes so ausgebildet, dass im Lastfalle die Flächenbelastung der Flanken idealerweise über der gesamten Breite BZ der Verzahnung möglichst annähernd konstant bzw. gleich verteilt ist. Durch die besagte und gezeigte Verjüngung wird einer in Figur 2b gezeigten Spannungsüberhöhung von insbesondere der Kontaktspannung, aber auch der Zahnfußspannung über der
15 Zahnbreite entgegengewirkt. Dieser Last-Überhöhungsbereich wird durch die erfindungsgemäß vorgesehene lokale Verjüngung der Flanken entlastet. Im Idealfall wird die Verjüngung der Flanken so ausgebildet, dass die in Figur 7 dargestellte konstante nominale Zahnfußspannung erreicht wird, d. h. eine gleichmäßige Spannungsverteilung über der gesamten Breite BZN der Zähne. Im
20 Lastfall stehen die einander zugewandten lastseitigen Flanken von Welle und Nabe auch im verjüngten Breitenbereich in Kontakt miteinander, allerdings nicht mit einer ungleichmäßigen Lastverteilung, wie im Stand der Technik, sondern im Idealfall mit gleichmäßiger Lastverteilung im stirnseitigen bzw. vollwellenfernen Breitenbereich der Verzahnung; siehe Figur 7.

Ein typisches Beispiel für eine dazu notwendige erfindungsgemäße Verteilung der Verjüngung über der Breite B der Zähne ist in Figur 6 gezeigt. Im Allgemeinen kann dieser Verlauf der Verjüngung über der Breite B in Form eines Polynoms n'ten Grades beschrieben werden; in Figur 6 ist dieser Funktionsverlauf
30 beispielhaft als ein Polynom zweiten Grades, d. h. als eine Parabel zu erkennen. Allgemein gesprochen wird die Verjüngung mit zunehmender Verzahnungsbreite

immer größer, was fertigungstechnisch durch eine betraglich zunehmend größere Zustellung eines Bearbeitungswerkzeugs in radialer Richtung der Welle oder Nabe zum Bearbeiten der Flanken erreicht wird.

- 5 Vorzugsweise erfolgt die Verjüngung auf beiden Seiten eines Zahnes symmetrisch zu dessen Längsachse bzw. in dessen Breitenrichtung. Damit wäre vorteilhafterweise gewährleistet, dass die besagte Spannungsüberhöhung auch bei einer Umkehrung der Drehrichtung/Lastrichtung realisiert werden würde.
- 10 Im Falle einer Well-/Nabe-Verbindung kann die besagte Verjüngung auch an der Innenverzahnung der Nabe 200 vorgenommen werden. Wichtig ist nur, dass die Last-/Überhöhungsbereiche, d. h. die Bereiche der Spannungsüberhöhung im Lastfalle entlastet werden. Ob diese Entlastung an der lastseitigen Flanke der Wellenverzahnung oder an der lastseitigen Flanke der Innenverzahnung der Nabe
- 15 erfolgt, spielt keine Rolle; grundsätzlich ist beides möglich. Möglich ist auch, eine anteilige Verjüngung bzw. Entlastung sowohl an der Wellenverzahnung wie auch an der Nabenverzahnung vorzusehen. Eine insgesamt erforderliche Verjüngung bzw. Rücknahme der Flanken kann dann in beliebigem Verhältnis auf zumindest die lastseitigen Flanken der Nabenverzahnung und der Wellenverzahnung
- 20 aufgeteilt werden.

Bezugszeichenliste

	100	Welle
	110	Vollwellenabschnitt
5	120	Verzahnungsabschnitt
	122	Außenverzahnung
	130	Zahn der Welle
	132	lastseitige Flanke des Zahnes
	134	rückseitige Flanke des Zahnes
10	200	Nabe
	220	Verzahnungsabschnitt
	230	Zahn der Nabe
	232	lastseitige Flanke des Zahnes der Nabe
	234	rückseitige Flanke des Zahnes der Nabe
15	236	vollwellennaher Breitenabschnitt der Verzahnung der Nabe
	238	vollwellenferner Breitenabschnitt der Verzahnung der Nabe
	BZ	Gesamtbreite des Zahnes der Welle
	BZ1	vollwellenseitiger Breitenabschnitt des Zahnes der Welle
20	BZ2	stirnseitiger Breitenabschnitt des Zahnes der Welle
	BZN	Gesamtbreite des Zahnes der Nabe
	M	Drehmoment
	B	Breitenrichtung
	PL	Profillinie

25

Patentansprüche:

- 5 1. Welle (100) zum Übertragen eines Drehmomentes (M) in einer
Welle/Nabe-Verbindung aufweisend:
einen Vollwellenabschnitt (110) und einen sich in axialer Richtung an dem
nabenseitigen Ende der Welle an den Vollwellenabschnitt
anschließenden Verzahnungsabschnitt (120);
10 wobei der Verzahnungsabschnitt eine Außenverzahnung (122) mit
mindestens einem sich in axialer Richtung der Welle über eine
Gesamtbreite (BZ) erstreckenden Zahn (130) aufweist, wobei der Zahn
eine lastseitige und eine rückseitige Flanke (132, 134) aufweist; und
wobei die Gesamtbreite (BZ) des Zahnes in einen vollwellenseitigen
15 Breitenabschnitt (BZ1) und einen stirnseitigen Breitenabschnitt (BZ2)
unterteilt ist;
dadurch gekennzeichnet,
dass in dem vollwellenseitigen Breitenabschnitt (BZ1) zumindest die
lastseitige Flanke (132) des Zahnes (130) gegenüber der lastseitigen
20 Flanke (132) in dem stirnseitigen Breitenabschnitt (BZ2) verjüngt
ausgebildet ist.
2. Welle (100) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
25 dass der Verlauf der Stärke der Verjüngung beginnend ab dem Übergang
von dem stirnseitigen (BZ2) auf den vollwellenseitigen Breitenabschnitt
(BZ1) des Zahnes in Breitenrichtung (BZ) des Zahnes auf den
Vollwellenabschnitt (110) der Welle (100) hin zunimmt.
- 30 3. Welle (100) nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet,

dass der Verlauf der Stärke der Verjüngung in Breitenrichtung (B) des Zahnes auf den Vollwellenabschnitt (110) der Welle (100) hin allgemein dem Verlauf eines Polynoms n'ter Ordnung, näherungsweise beispielsweise dem Verlauf eines Polynoms 2'ter Ordnung entspricht.

5

4. Welle (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Verlauf der Stärke der Verjüngung entlang/über der Profillinie (PL) konstant ist.

10

5. Welle (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Verjüngung der lastseitigen und der rückseitigen Flanke (132, 134) spiegelsymmetrisch zur Längsachse des Zahnes in Breitenrichtung (B) ausgebildet ist.

15

6. Nabe (200) aufweisend:
einen Verzahnungsabschnitt (220), ausgebildet als Innenverzahnung der Nabe, mit mindestens einem sich in axialer Richtung der Nabe über eine Gesamtbreite erstreckenden Zahn (230) zum Ausbilden einer formschlüssigen Steckverzahnung mit dem Verzahnungsabschnitt (120) an dem nabenseitigen Ende einer Welle (100);
wobei der Zahn (230) eine lastseitige und eine rückseitige Flanke (232, 234) aufweist; und wobei die Gesamtbreite (BZN) des Zahnes (230) der Nabe (200) in einen vollwellennahen Breitenabschnitt (236) und einen vollwellenfernen Breitenabschnitt (238) unterteilt ist.
dadurch gekennzeichnet,
dass in dem vollwellennahen Breitenabschnitt (236) zumindest die lastseitige Flanke (232) des Zahnes der Nabe (200) gegenüber der lastseitigen Flanke (232) in dem wellenfernen Breitenabschnitt (238)

20

25

30

verjüngt ausgebildet ist.

7. Nabe (200) nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet,
5 dass der Verlauf der Stärke der Verjüngung beginnend ab dem Übergang
von dem vollwellenfernen auf den vollwellennahen Breitenabschnitt
(238,236) des Zahnes (230) in Breitenrichtung des Zahnes der Nabe auf
die vollwellenseitige Öffnung (210) der Nabe (200) hin zunimmt.
- 10 8. Nabe (200) nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Verlauf der Stärke der Verjüngung in Breitenrichtung des
Zahnes auf die vollwellenseitige Öffnung (210) der Nabe hin allgemein
dem Verlauf eines Polynoms n'ter Ordnung, näherungsweise
15 beispielsweise dem Verlauf eines Polynoms 2'ter Ordnung entspricht.
9. Nabe (200) nach einem der vorangegangenen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Stärke der Verjüngung entlang der Profillinie (PL) konstant ist.
20
10. Nabe (200) nach einem der vorangegangenen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Verjüngung der lastseitigen und der rückseitigen Flanke (232,
234) spiegelsymmetrisch zur Längsachse des Zahnes der Nabe (200) in
25 Breitenrichtung (B) ausgebildet ist.
11. Welle-/Nabe-Verbindung (100, 200) aufweisend
eine Welle (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche 1 bis 5;
und
30 eine Nabe (200) nach einem der vorangegangenen Ansprüche 6 bis 10,
wobei die Welle (100) in die Nabe (200) eingeschoben ist und mit der

Nabe eine formschlüssige Steckverzahnung ausbildet.

12. Welle-/Nabe-Verbindung (100, 200) nach Anspruch 11,

dadurch gekennzeichnet,

dass eine vorbestimmte Gesamtstärke für die Verjüngung anteilig, vorzugsweise hälftig, aufgeteilt ist auf die lastseitige Flanke (132) des Zahnes (130) der Außenverzahnung der Welle (100) und auf die der lastseitigen Flanke (132) des Zahnes (130) der Außenverzahnung der Welle (100) zugewandte lastseitige Flanke (232) des Zahnes (230) der Innenverzahnung der Nabe (200).

13. Welle-/Nabe-Verbindung (100, 200) nach Anspruch 11 oder 12,

dadurch gekennzeichnet,

dass der Anteil des vollwellenfernen Breitenabschnitts (238) der Verzahnung der Nabe (200) zwischen 0 % bis 20 %, vorzugsweise zwischen 5 % bis 10 %, der Gesamtbreite (BZN) des Zahnes der Nabe beträgt.

14. Verfahren zum Herstellen einer Welle (100) nach einem der Ansprüche 1

- 5 und/oder einer Nabe (200) nach einem der Ansprüche 6 - 10;

aufweisend folgende Schritte:

- Bereitstellen der Welle (100) mit einem Verzahnungsabschnitt (120) an einem nabenseitigen Ende; und/oder

- Bereitstellen der Nabe (200) mit einer Innenverzahnung (220)

gekennzeichnet durch folgende Schritte

- Berechnen der Verformung der Zähne (130) der Welle und/oder der Zähne (230) der Nabe (200) und der daraus resultierenden Spannungsverteilung im Lastfalle über der Gesamtbreite (BZ) des Verzahnungsabschnittes (120) und/oder der Gesamtbreite (BZN) der Innenverzahnung (220);

- Berechnen einer erforderlichen Verjüngung über der Zahnbreite (BZ) für zumindest die lastseitige Flanke der Zähne (130) der Welle (100) und/oder für zumindest die lastseitige Flanke der Zähne (230) der Nabe (200) nach Maßgabe der zuvor berechneten Spannungsverteilung so, dass eine Gleichverteilung der Spannung über der Gesamtbreite der Zähne (130, 230) von Welle (100) und Nabe (200) im Lastfalle erreicht wird; und
- Verjüngung der Zahnflanken (132, 232) von Welle und Nabe gemäß der zuvor berechneten erforderliche Verjüngung durch entsprechende vorzugsweise maschinelle Bearbeitung der Zahnflanken.

- 1/8 -

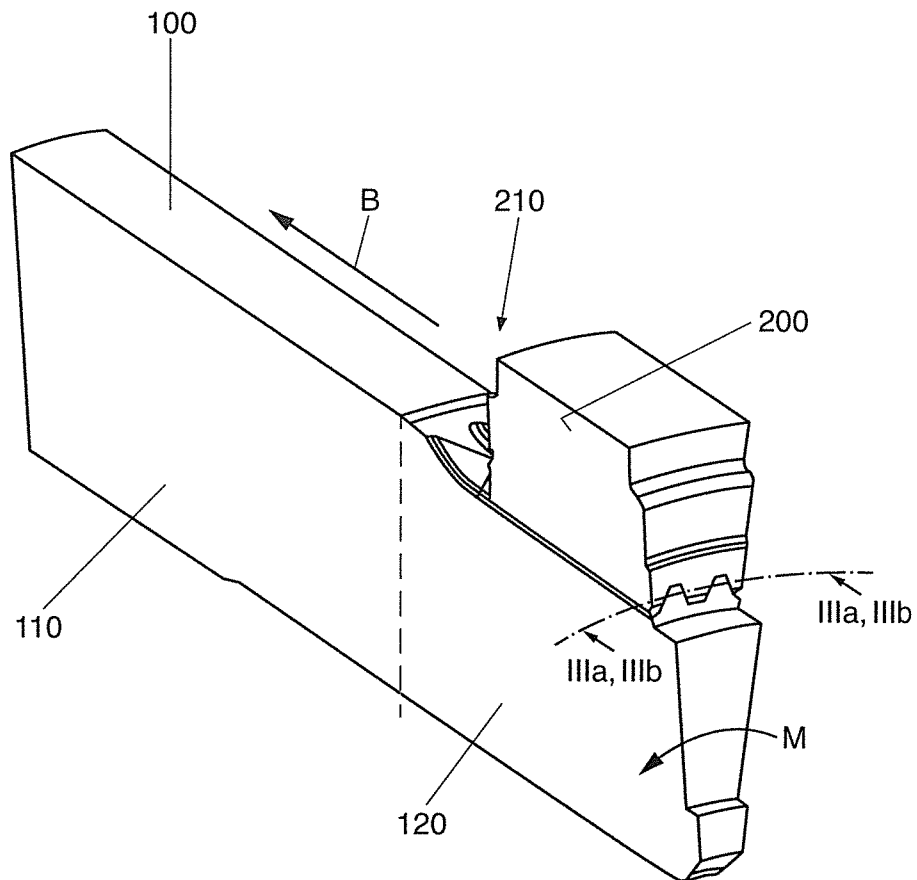
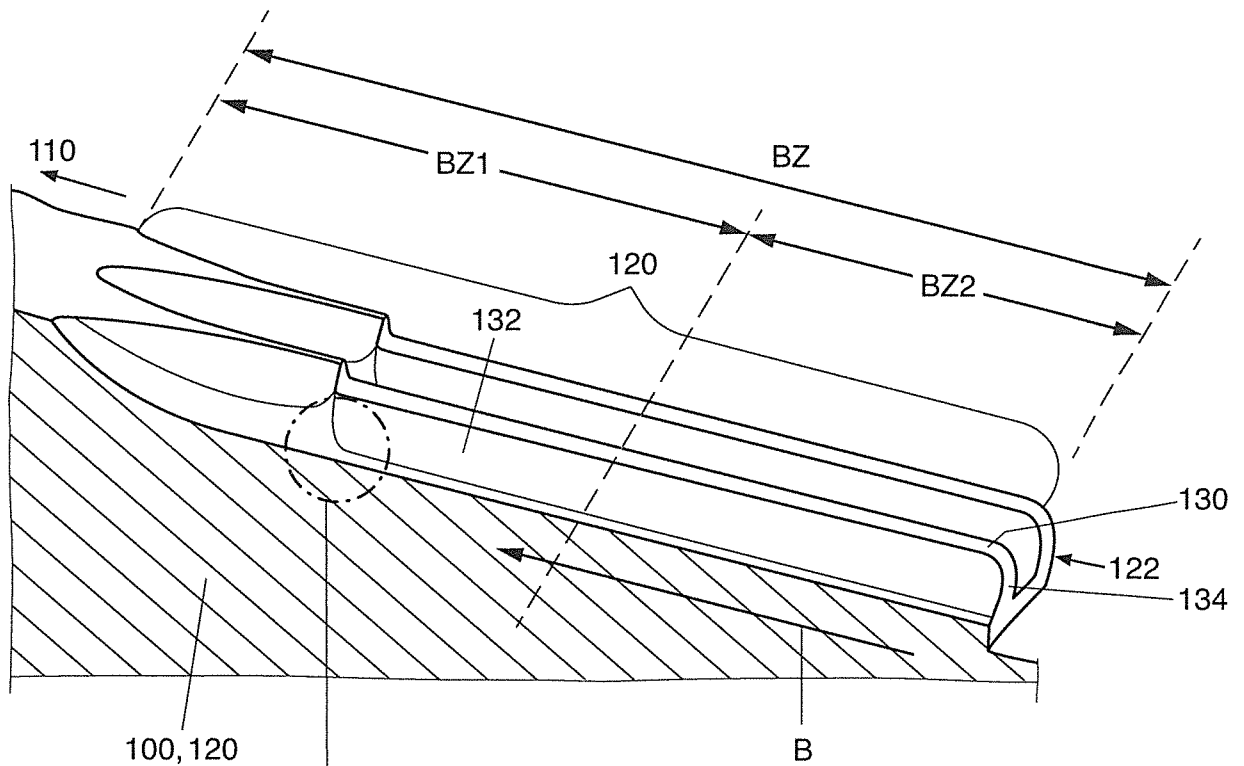


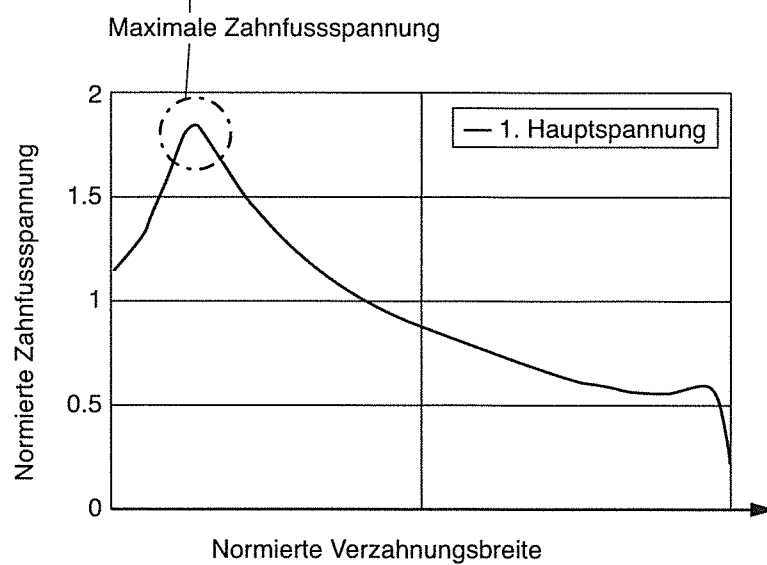
Fig. 1

(Stand der Technik)

-2/8-

**Fig. 2a**

(Stand der Technik)

**Fig. 2b**

(Stand der Technik)

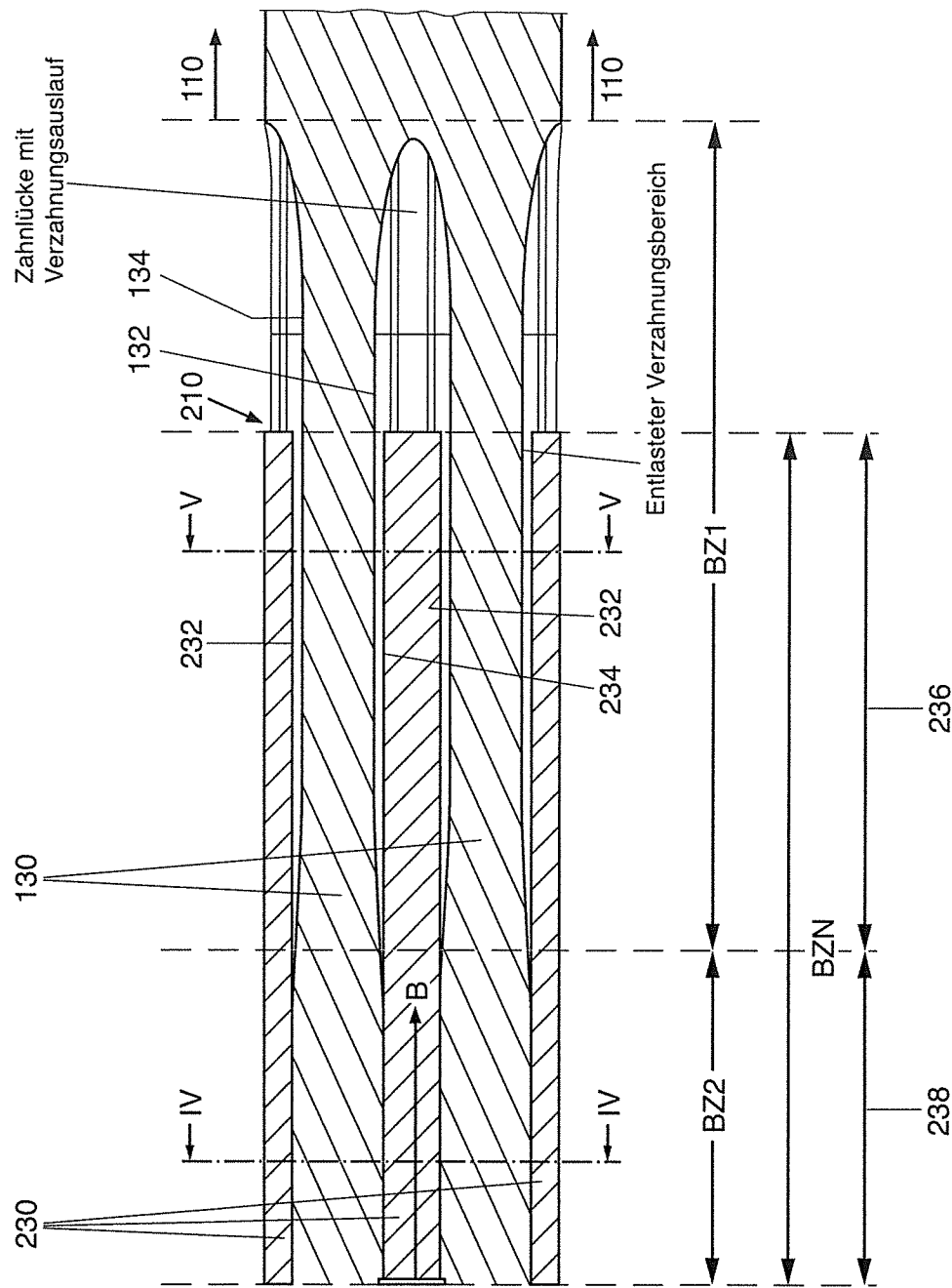


Fig. 3a

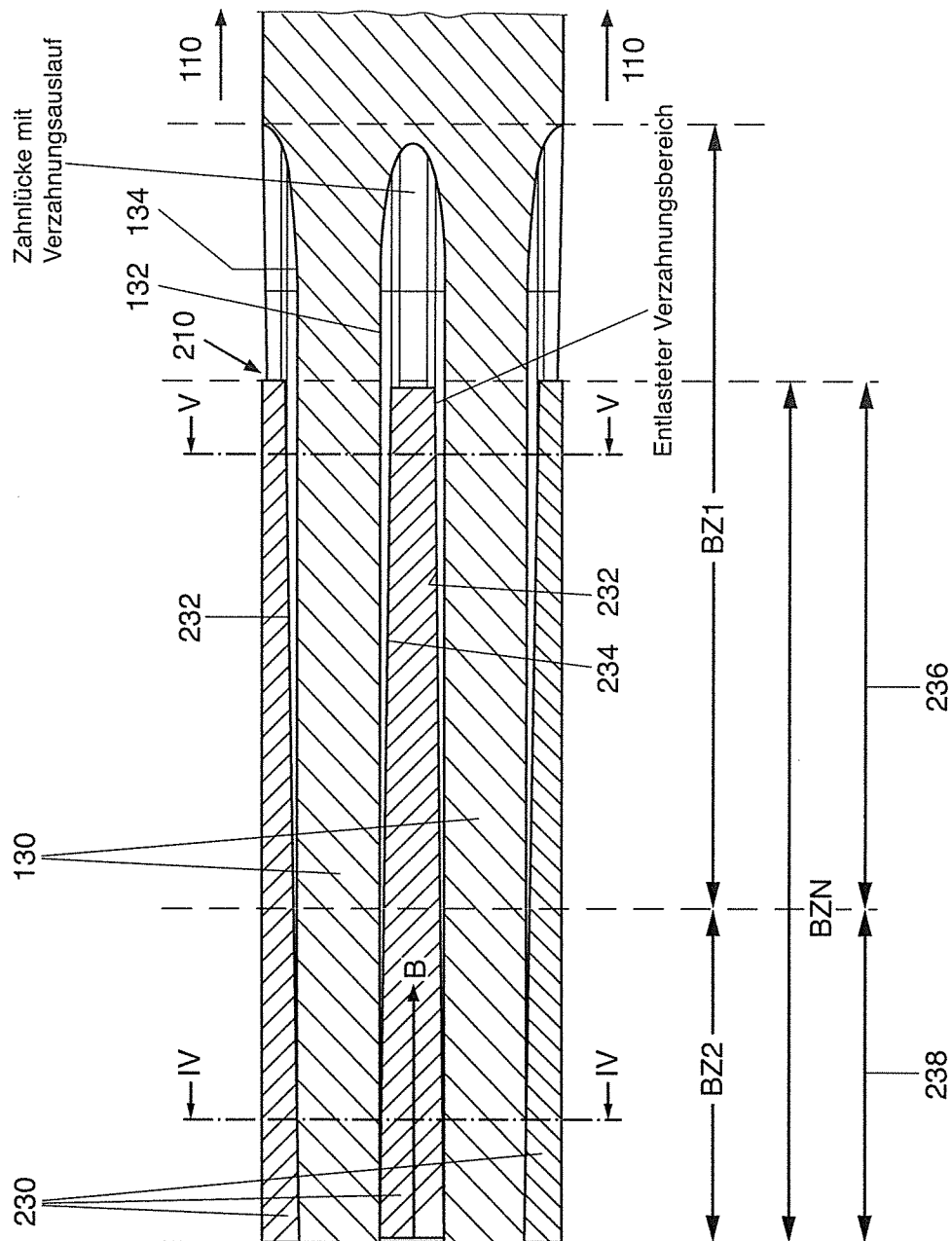
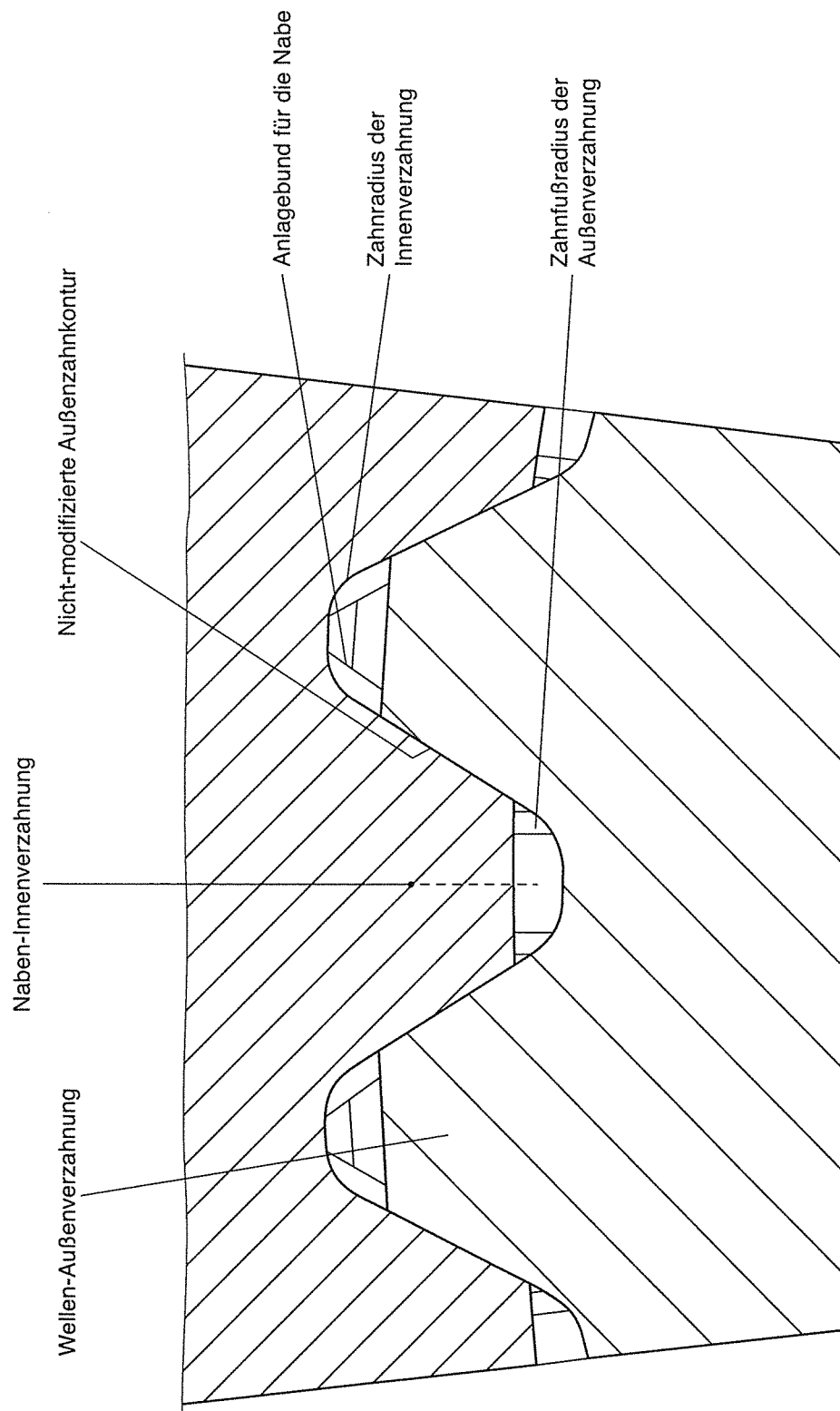


Fig. 3b

-5/8-

Welle- / Nabe-Verbindung mit Steckverzahnung**Fig. 4**

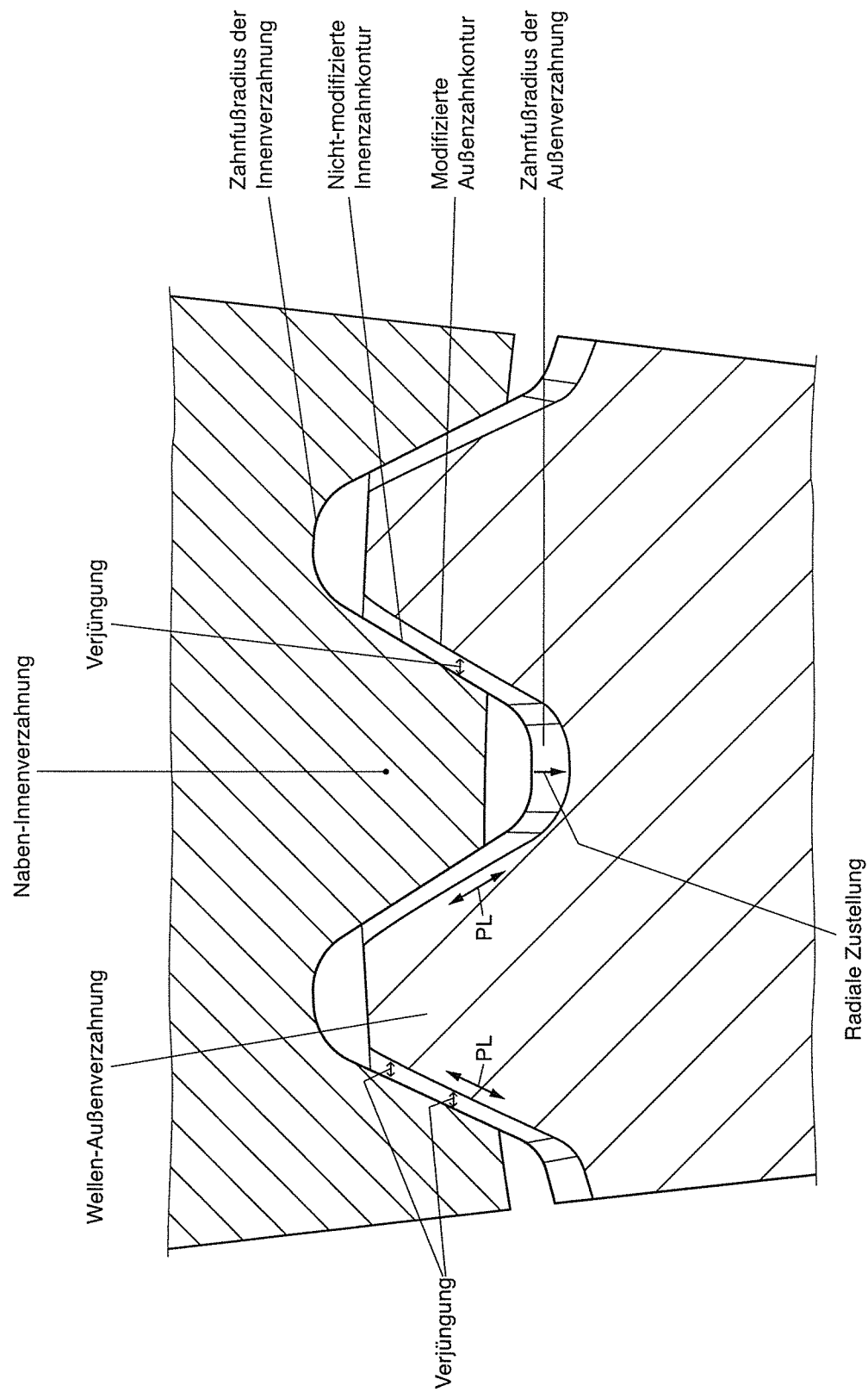
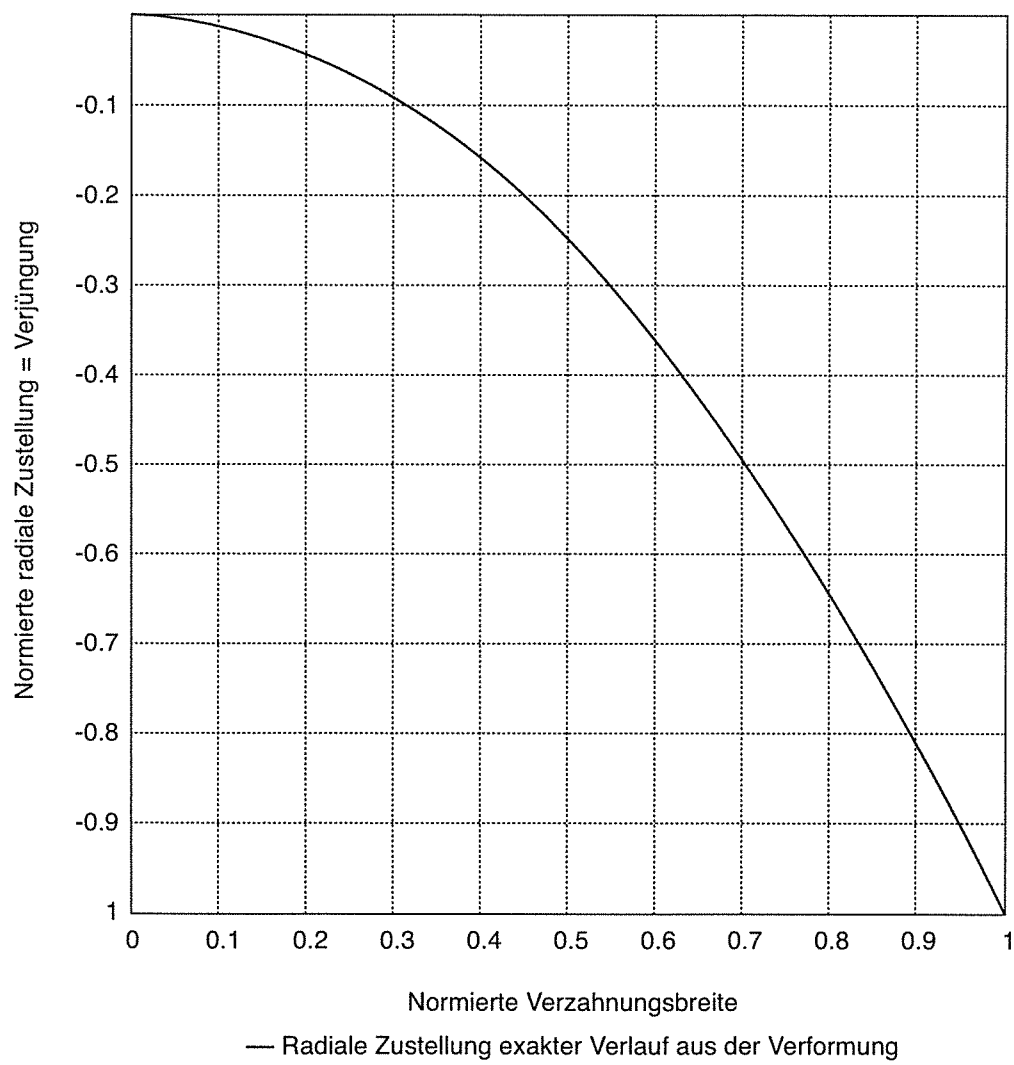


Fig. 5

-7/8-

**Fig. 6**

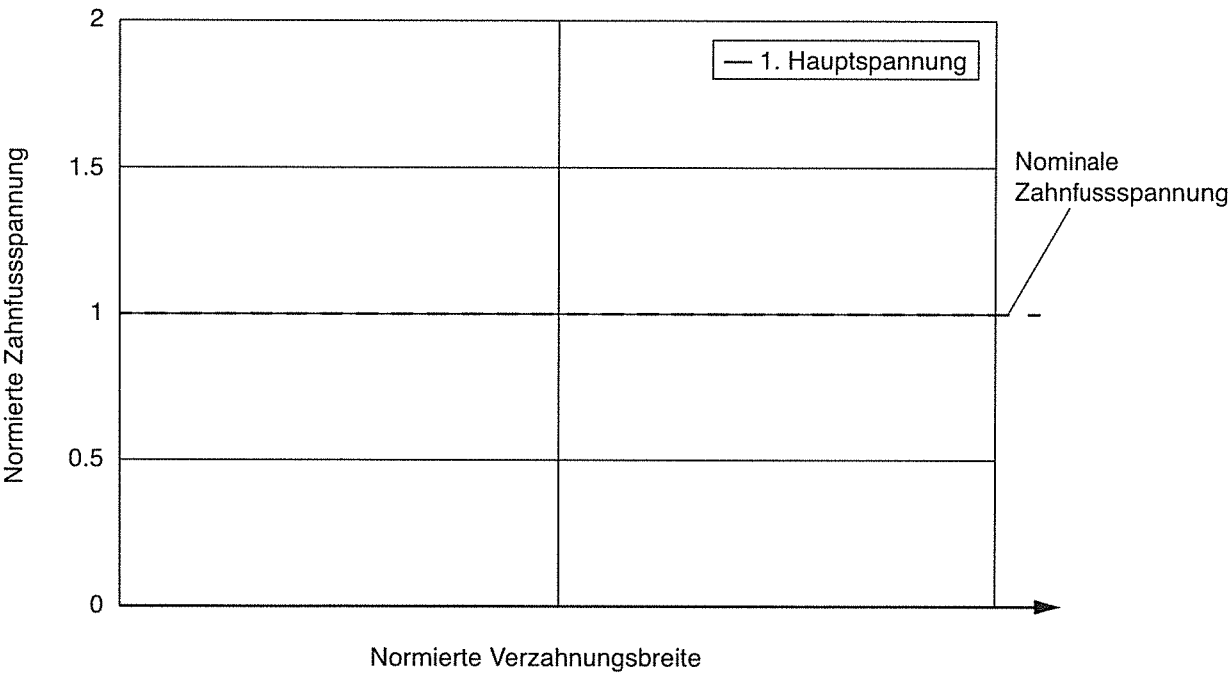


Fig. 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/086490

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**F16D 1/10**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F16D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 1425231 A1 (DAIMLER BENZ AG) 13 March 1969 (1969-03-13)	1-10
Y	pages 3,4; figures 1-3	11-14
Y	DE 2721571 A1 (GLAENZER SPICER SA) 24 November 1977 (1977-11-24)	11-14
A	page 7 - page 13; figures 1-3	1-10
X	US 2002110415 A1 (DOWLING WILLIAM EDMUNDS [US] ET AL) 15 August 2002 (2002-08-15)	1-10
A	paragraphs [0019] - [0024]; figures 1-5	11-14
X	FR 2918726 A1 (SNECMA SA [FR]) 16 January 2009 (2009-01-16)	1-10
A	page 4, line 30 - page 10, line 22; figures 1-12	14
X	WO 2017125259 A1 (GETRAG B V & CO KG [DE]) 27 July 2017 (2017-07-27)	1-5
A	paragraphs [0026] - [0040]; figures 1-3	14
A	DE 19722917 C1 (GKN AUTOMOTIVE AG [DE]) 13 August 1998 (1998-08-13)	1-14
	column 3, line 45 - column 7, line 39; figures 1-7	
A	US 2009186709 A1 (IGARASHI MASAHIKO [JP] ET AL) 23 July 2009 (2009-07-23)	1-14
	paragraphs [0036] - [0071]; figures 1-13	



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 April 2020

Date of mailing of the international search report

06 May 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

De Jongh, Cornelis

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/086490

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	1425231	A1	13 March 1969	DE	1425231	A1	13 March 1969
				FR	1375396	A	16 October 1964
				GB	993349	A	26 May 1965
				US	3360961	A	02 January 1968
DE	2721571	A1	24 November 1977	AR	212769	A1	29 September 1978
				BR	7703152	A	08 February 1978
				DE	2721571	A1	24 November 1977
				ES	458849	A1	16 March 1978
				FR	2352209	A1	16 December 1977
				GB	1579962	A	26 November 1980
				JP	S52140744	A	24 November 1977
				MX	144173	A	08 September 1981
				US	4115022	A	19 September 1978
US	2002110415	A1	15 August 2002	NONE			
FR	2918726	A1	16 January 2009	NONE			
WO	2017125259	A1	27 July 2017	CN	108474418	A	31 August 2018
				DE	102016101130	A1	27 July 2017
				EP	3405692	A1	28 November 2018
				WO	2017125259	A1	27 July 2017
DE	19722917	C1	13 August 1998	BR	9804928	A	08 September 1999
				CN	1228144	A	08 September 1999
				DE	19722917	C1	13 August 1998
				ES	2151821	A1	01 January 2001
				FR	2764014	A1	04 December 1998
				GB	2331573	A	26 May 1999
				IT	MI981176	A1	29 November 1999
				JP	3194049	B2	30 July 2001
				JP	H11514079	A	30 November 1999
				KR	20000029702	A	25 May 2000
				PL	326543	A1	07 December 1998
				US	6142033	A	07 November 2000
				WO	9854476	A1	03 December 1998
US	2009186709	A1	23 July 2009	JP	2007046640	A	22 February 2007
				US	2009186709	A1	23 July 2009
				WO	2007017971	A1	15 February 2007

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. F16D1/10

ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

F16D

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 14 25 231 A1 (DAIMLER BENZ AG) 13. März 1969 (1969-03-13)	1-10
Y	Seiten 3,4; Abbildungen 1-3 -----	11-14
Y	DE 27 21 571 A1 (GLAENZER SPICER SA) 24. November 1977 (1977-11-24)	11-14
A	Seite 7 - Seite 13; Abbildungen 1-3 -----	1-10
X	US 2002/110415 A1 (DOWLING WILLIAM EDMUNDS [US] ET AL) 15. August 2002 (2002-08-15)	1-10
A	Absätze [0019] - [0024]; Abbildungen 1-5 -----	11-14
X	FR 2 918 726 A1 (SNECMA SA [FR]) 16. Januar 2009 (2009-01-16)	1-10
A	Seite 4, Zeile 30 - Seite 10, Zeile 22; Abbildungen 1-12 ----- -/-	14



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

28. April 2020

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

06/05/2020

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

De Jongh, Cornelis

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2017/125259 A1 (GETRAG B V & CO KG [DE]) 27. Juli 2017 (2017-07-27)	1-5
A	Absätze [0026] - [0040]; Abbildungen 1-3 -----	14
A	DE 197 22 917 C1 (GKN AUTOMOTIVE AG [DE]) 13. August 1998 (1998-08-13) Spalte 3, Zeile 45 - Spalte 7, Zeile 39; Abbildungen 1-7 -----	1-14
A	US 2009/186709 A1 (IGARASHI MASAHIKO [JP] ET AL) 23. Juli 2009 (2009-07-23) Absätze [0036] - [0071]; Abbildungen 1-13 -----	1-14

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/086490

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 1425231	A1	13-03-1969	DE 1425231 A1 13-03-1969
			FR 1375396 A 16-10-1964
			GB 993349 A 26-05-1965
			US 3360961 A 02-01-1968
DE 2721571	A1	24-11-1977	AR 212769 A1 29-09-1978
			BR 7703152 A 08-02-1978
			DE 2721571 A1 24-11-1977
			ES 458849 A1 16-03-1978
			FR 2352209 A1 16-12-1977
			GB 1579962 A 26-11-1980
			JP S52140744 A 24-11-1977
			MX 144173 A 08-09-1981
			US 4115022 A 19-09-1978
US 2002110415	A1	15-08-2002	KEINE
FR 2918726	A1	16-01-2009	KEINE
WO 2017125259	A1	27-07-2017	CN 108474418 A 31-08-2018
			DE 102016101130 A1 27-07-2017
			EP 3405692 A1 28-11-2018
			WO 2017125259 A1 27-07-2017
DE 19722917	C1	13-08-1998	BR 9804928 A 08-09-1999
			CN 1228144 A 08-09-1999
			DE 19722917 C1 13-08-1998
			ES 2151821 A1 01-01-2001
			FR 2764014 A1 04-12-1998
			GB 2331573 A 26-05-1999
			IT MI981176 A1 29-11-1999
			JP 3194049 B2 30-07-2001
			JP H11514079 A 30-11-1999
			KR 200000029702 A 25-05-2000
			PL 326543 A1 07-12-1998
			US 6142033 A 07-11-2000
			WO 9854476 A1 03-12-1998
US 2009186709	A1	23-07-2009	JP 2007046640 A 22-02-2007
			US 2009186709 A1 23-07-2009
			WO 2007017971 A1 15-02-2007