

(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
20. Dezember 2012 (20.12.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/171595 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F01L 1/047 (2006.01) **F16H 53/02** (2006.01)
B21D 53/84 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/001192

(22) Internationales Anmeldedatum:
17. März 2012 (17.03.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2011 104 480.2 17. Juni 2011 (17.06.2011) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **DAIMLER AG** [DE/DE]; Mercedesstrasse 137,
70327 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **SCHIETINGER,
Bernd** [DE/DE]; Erlenweg 5, 73733 Esslingen (DE).
SCHULZ, Frank [DE/DE]; Trützschlerstrasse 9, 12487
Berlin (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
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.

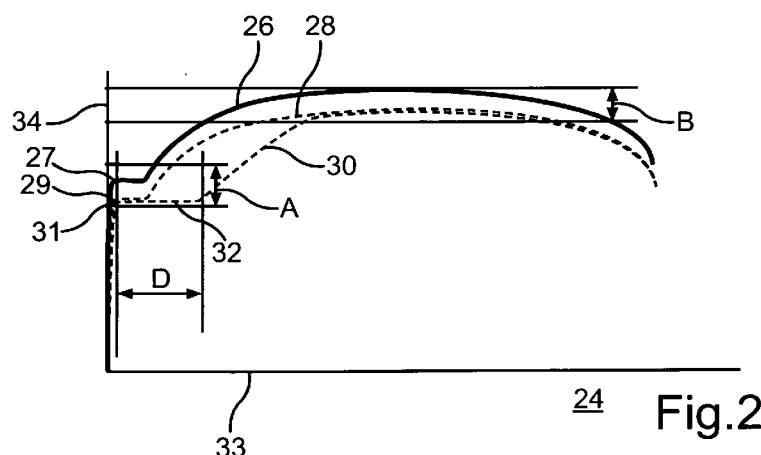
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

(54) Title: CONNECTING ARRANGEMENT OF A SHAFT PART TO A HUB PART

(54) Bezeichnung : VERBINDUNGSANORDNUNG EINES WELLENTTEILS MIT EINEM NABENTEIL



(57) Abstract: The invention relates to a connecting arrangement (10) of a shaft part (12) to a hub part (14), in which connecting arrangement (10) the hub part (14) and the shaft part (12) which is received at least in regions in a cut-out (18) of the hub part (14) are connected to one another via respective connecting regions (20, 22) with at least partial plastic deformation of the shaft part (12) and as far as possible only elastic deformation of the hub part (14) in the respective connecting regions (20, 22), wherein the material of the shaft part (12) has a stress-strain profile (30) which, from the occurrence of plastic flow, has an elongation region (32) which extends over at least 2% elongation with an at least substantially constant stress in the case of increasing elongation.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2012/171595 A1



Die Erfindung betrifft eine Verbindungsanordnung (10) eines Wellenteils (12) mit einem Nabenteil (14), bei welcher das Nabenteil (14) und das zumindest bereichsweise in einer Aussparung (18) des Nabenteils (14) aufgenommene Wellenteil (12) über jeweilige Verbindungsbereiche (20, 22) unter zumindest teilweiser plastischer Verformung des Wellenteils (12) und weitestgehend nur elastischer Verformung des Nabenteils (14) in den jeweiligen Verbindungsbereichen (20, 22) miteinander verbunden sind, wobei der Werkstoff des Wellenteils (12) einen Spannungs-Dehnungs-Verlauf (30) hat, der ab dem Auftreten von plastischem Fließen einen sich über wenigstens 2% Dehnung erstreckenden Dehnungsbereich (32) mit zumindest im Wesentlichen konstanter Spannung bei zunehmender Dehnung aufweist.

Verbindungsanordnung eines Wellenteils mit einem Nabenteil

Die Erfindung betrifft eine Verbindungsanordnung eines Wellenteils mit einem Nabenteil nach dem Oberbegriff von Patentanspruch 1.

Die gattungsbildende DE 196 06 732 A1 offenbart eine gebaute Nockenwelle mit einem Wellenrohr und Funktionselementen, die durch in Axialrichtung abschnittsweises radiales Aufweiten des Wellenrohrs an diesem befestigt sind. Während des Fügens wird das Innenwellenrohr in den Aufweitabschnitten plastisch verformt, während die außenliegenden Funktionselemente – aufgrund ihrer höheren Festigkeit – weitestgehend nur elastisch verformt werden. Die bleibende plastische Deformation des Wellenrohrs verhindert, dass die Innendurchmesser der Funktionselemente nach dem Fügen auf ihr ursprüngliches Maß zurückkehren können. Dies bewirkt eine Fixierung der Funktionselemente auf dem Wellenrohr. Während auf diese Weise bereits Verbindungen mit hoher Verdrehsicherheit zwischen Wellenrohr und Funktionselementen hergestellt werden können, besteht ein großes Interesse daran, die Verdrehsicherheit dieser Verbindungen weiter zu erhöhen, um noch größere Drehmomente zwischen den außenliegenden Funktionselementen und der innenliegenden Hohlwelle übertragen zu können, ohne dass es zu einer unerwünschten Relativdrehung der Funktionselemente zur Hohlwelle kommt.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Verbindungsanordnung der eingangs genannten Art derart weiter zu entwickeln, dass auf kostengünstige Weise eine besonders feste Verbindung ermöglicht ist.

Diese Aufgabe wird durch eine Verbindungsanordnung eines Wellenteils mit einem Nabenteil mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen mit zweckmäßigen und nicht-trivialen Weiterbildungen der Erfindung sind in den übrigen Ansprüchen angegeben.

Bei einer solchen Verbindungsanordnung eines Wellenteils mit einem Nabenteil sind das Nabenteil und das zumindest bereichsweise in einer Aussparung des Nabenteils aufgenommene Wellenteil über jeweilige Verbindungsbereiche unter zumindest teilweiser plastischer Verformung des Wellenteils und weitestgehend nur elastischer Verformung des Nabenteils in den jeweiligen Verbindungsbereichen miteinander verbunden.

Erfindungsgemäß hat der Werkstoff des Wellenteils einen Spannungs-Dehnungs-Verlauf, der ab dem Auftreten von plastischem Fließen des Werkstoffs einen sich über wenigstens 2% Dehnung erstreckenden Dehnungsbereich mit zumindest im Wesentlichen konstanter Spannung bei zunehmender Dehnung aufweist.

Bei der Herstellung der erfindungsgemäßen Verbindungsanordnung wird ein Fügeverfahren durchgeführt, bei welchem das Wellenteil in dessen Verbindungsbereich aufgeweitet wird. Das heißt, der Außendurchmesser des Wellenteils in dessen Verbindungsbereich wird gegenüber einem Ausgangszustand vergrößert. Dabei wird das Wellenteil in dessen Verbindungsbereich zumindest teilweise plastisch, insbesondere elastisch-plastisch aufgeweitet und verformt. Da das Wellenteil bereits in der Aussparung des Nabenteils angeordnet ist, wird dadurch auch das Nabenteil in dessen Verbindungsbereich aufgeweitet. Das heißt, der Innendurchmesser des Nabenteils in dessen Verbindungsbereich wird gegenüber einem Ausgangszustand vergrößert. Während das Wellenteil als Folge der Krafteinwirkung auch plastisch (d.h. irreversibel) aufgeweitet und verformt wird, wird das Nabenteil – aufgrund der höheren Festigkeit des Nabenwerkstoffs – in dem Verbindungsbereich weitestgehend nur elastisch (reversibel) verformt. Wird eine Krafteinwirkung zum Aufweiten des Wellenteils und des Nabenteils in den jeweiligen Verbindungsbereichen beendet, so federn das Nabenteil und das Wellenteil zumindest teilweise elastisch zurück und streben zumindest teilweise ihren jeweiligen Ausgangszustand an, wobei jedoch die plastische Verformung des Wellenteils verhindert, dass das Nabenteil vollständig in seinen Ausgangszustand zurückkehren kann. Dadurch wird ein Übermaß in den jeweiligen Verbindungsbereichen erzeugt, das eine Fixierung des Nabenteils auf dem Wellenteil bewirkt.

Durch die entsprechende Ausgestaltung bzw. Wahl des Werkstoffs des Wellenteils mit dem entsprechenden Dehnungsbereich ist es möglich, unter Beibehaltung von Mindestfestigkeiten des Wellenteils, Bauteilgeometrie sowie Fertigungsanlagen zum Herstellen der Verbindungsanordnung auf kostengünstige Weise eine besonders feste Verbindung zwischen dem Wellenteil und dem Nabenteil darzustellen, sodass zwischen ihnen besonders hohe Drehmomente übertragen werden können, ohne dass es zu einer

unerwünschten Relativdrehung des Wellenteils relativ zum Nabenteil kommt. Die erfindungsgemäße Verbindungsanordnung ermöglicht somit die Realisierung besonders hoher Verdrehmomente, welche zwischen dem Wellenteil und dem Nabenteil unter Vermeidung einer unerwünschten Relativdrehung übertragen werden können.

Dies bedeutet auch, dass es die erfindungsgemäße Verbindungsanordnung erlaubt, bei einem gewünschten und vorgegebenen Verdrehmoment das Wellenteil und das Nabenteil mit einem nur sehr geringen Fügeaufwand miteinander zu verbinden, so dass die Kosten der erfindungsgemäßen Verbindungsanordnung besonders gering gehalten werden können. Darüber hinaus ist es durch das genau spezifizierte elastisch-plastische Verformungsverhalten des Wellenteils ermöglicht, besonders geringe Schwankungen der übertragbaren Drehmomente der Verbindungsanordnung zu realisieren, woraus eine sehr hohe Qualität der Verbindungsanordnung resultiert. Dies hält den Aufwand zur Qualitätssicherung sowie Nacharbeiten und den Ausschuss im Rahmen einer Serienfertigung der erfindungsgemäßen Verbindungsanordnung gering.

Das Wellenteil und das Nabenteil können beispielsweise mittels Innenhochdruckumformens miteinander gefügt werden. Dabei ist das Wellenteil wenigstens bereichsweise als Hohlwelle mit einem Hohlquerschnitt ausgebildet. Im Rahmen des Verfahrens zur Herstellung der erfindungsgemäßen Verbindungsanordnung wird zunächst das Nabenteil auf dem Wellenteil angeordnet bzw. umgekehrt wird das Wellenteil in der Aussparung des Nabenteils angeordnet, so dass sich die jeweiligen Verbindungsbereiche in gegenseitiger Überlappung befinden. Anschließend wird der Hohlquerschnitt in dem Bereich des Verbindungsbereichs des Wellenteils mit einem Medium, insbesondere Flüssigkeit, beaufschlagt, sodass ein sehr hoher Innendruck in dem Hohlquerschnitt wirkt. Dieser hohe Innendruck bewirkt, ausgehend von dem Ausgangszustand des Wellenteils, ein Aufweiten des Wellenteils und somit eine Vergrößerung des Außendurchmessers des Wellenteils insbesondere in dessen Verbindungsbereich sowie auch eine Aufweitung des Nabenteils in dessen Verbindungsbereich. Wie bereits geschildert, wird dabei das Wellenteil in dessen Verbindungsbereich zumindest teilweise plastisch verformt, während das Nabenteil in dessen Verbindungsbereich aufgrund dessen gegenüber dem Wellenteil höheren Festigkeit weitestgehend nur elastisch aufgeweitet und verformt wird. Dies ermöglicht eine besonders zeit- und kostengünstige Herstellung der erfindungsgemäßen Verbindungsanordnung.

Dadurch kann eine so genannte gebaute Hohlwelle hergestellt werden, wobei es sich bei dem Nabenteil bevorzugt um ein Funktionselement handelt. Das Funktionselement kann dabei als Nocken und/oder Ring und/oder als Verzahnungselement mit einer Verzahnung, insbesondere ein Zahnrad, und/oder als Nockenwellenverstelleinrichtung und/oder als Fügeflansch und/oder als Schwungmasse ausgebildet sein. Insbesondere kann durch das Wellenteil und das Nabenteil eine Nockenwelle, beispielsweise für eine Verbrennungskraftmaschine und insbesondere für eine Hubkolben-Verbrennungskraftmaschine, dargestellt sein, wobei das Wellenteil bevorzugt mit einer Mehrzahl von als jeweilige Nocken ausgebildeten Nabenteilen verbunden ist. Die Nocken dienen dabei dazu, Gaswechselventile der Verbrennungskraftmaschine zu betätigen.

Herkömmlicherweise gilt bei der Verbindung des Wellenteils mit dem Nabenteil durch zumindest teilweise plastische Verformung des Wellenteils und weitestgehend nur elastische Verformung des Nabenteils, dass, je größer die Überdeckung, d.h. je größer die plastische Verformung des Wellenteils ist, desto größer ist in gewissen Grenzen das realisierbare Verdrehmoment zwischen dem Wellenteil und dem Nabenteil. Durch eine Erhöhung des Fügedrucks ist es demnach möglich, das Verdrehmoment entsprechend zu steigern. Diese Maßnahme ist jedoch aus Kostengründen nicht optimal, da ein hoher Fügedruck die Fertigungsanlage zum Herstellen der Verbindungsanordnung negativ beeinflusst sowie Stillstandszeiten durch Rüst- und Installationsarbeiten erfordert. Eine Lösung dieses Problems könnte sein, ein relativ weiches Wellenteil mit nur geringer Festigkeit zu verwenden. Dieser Lösung sind jedoch insbesondere konstruktive Grenzen gesetzt, da dann eine erwünschte und erforderliche Mindestfestigkeit des Wellenteils nicht mehr realisiert werden kann.

Die erfindungsgemäße Verbindungsanordnung löst nun diesen Zielkonflikt, da das Wellenteil einerseits auch Anforderungen an hohe Mindestfestigkeiten erfüllen kann, jedoch andererseits aufgrund der Erstreckung des Dehnungsbereichs über wenigstens zwei Prozent (2%) Dehnung, in dem es bezogen auf den Spannungs-Dehnungs-Verlauf zumindest im Wesentlichen zu keinem Spannungsanstieg kommt, ein besonders vorteilhaftes elastisch-plastisches Verformungsverhalten aufweist, sodass auch besonders hohe Verdrehmomente realisiert werden können. Mit anderen Worten ist das Wellenteil bei der erfindungsgemäßen Verbindungsanordnung nicht nur hinsichtlich der Erfüllung der vorgebbaren Mindestfestigkeit sondern auch hinsichtlich des elastisch-plastischen Verformungsverhaltens, welches durch den Dehnungsbereich charakterisiert wird, insbesondere im Bereich relativ geringer Dehnungen, beispielsweise von $\leq 10\%$, genau spezifiziert. Dadurch können besonders hohe Drehmomente übertragen werden,

da die elastisch-plastische Verformung des Wellenteils zum Verbinden desselben mit dem Nabenteil insbesondere in dem Dehnungsbereich auftritt.

Somit ist es möglich, dass das Wellenteil eine Dehn- bzw. Streckgrenze innerhalb eines vorgebbaren Toleranzbereichs sowie eine Zugfestigkeit innerhalb eines vorgebbaren Toleranzbereichs und ein Mindestbruchdehnung aufweist, gleichzeitig jedoch ein besonders vorteilhaftes elastisch-plastisches Verformungsverhalten zum Verbinden des Wellenteils mit dem Nabenteil hat.

Der Spannungs-Dehnungs-Verlauf, der den Werkstoff des Wellenteils charakterisiert, ist beispielsweise durch einen Zugversuch insbesondere eines Probenkörpers aus dem Werkstoff des Wellenteils ermittelbar. Dabei kann der Spannungs-Dehnungs-Verlauf mit dem Dehnungsbereich in Anlehnung an die Streckgrenzdehnung nach DIN EN ISO 6892-1 oder dazu zumindest im Wesentlichen korrespondierend ermittelt werden.

Eine weitere Möglichkeit zum Verbinden des Wellenteils mit dem Nabenteil stellt das in der DE 695 01 832 T2 offenbarte Verfahren dar, bei welchem das Wellenteil und das Nabenteil bzw. ein hohles Rohr und ein Nocken durch ein Aufweitwerkzeug miteinander verbunden werden, welches das hohle Rohr im Bereich des Nockens aufweitet und dadurch das hohle Rohr zumindest teilweise plastisch und den Nocken weitestgehend nur elastisch verformt. Zuvor wird die Wandstärke des hohlen Rohrs mittels eines zurückziehbaren Dorns und eines Schmiedewerkzeugs eingestellt, wobei das hohle Rohr in dessen Verbindungsbereich mit dem Nocken eine größere Wandstärke aufweist als in anderweitigen, sich daran anschließenden Bereichen.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels sowie anhand der Zeichnung. Die vorstehend in der Beschreibung genannten Merkmale und Merkmalskombinationen sowie die nachfolgend in der Figurenbeschreibung genannten und/oder in den Figuren alleine gezeigten Merkmale und Merkmalskombinationen sind nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

Die Zeichnung zeigt in:

- Fig. 1 eine schematische Längsschnittansicht einer Verbindungsanordnung eines Hohlwellenteils mit einem Nocken, welche über jeweilige Verbindungsbereiche miteinander verbunden sind, wobei das Hohlwellenteil in dessen Verbindungsbereich zumindest teilweise plastisch aufgeweitet und der Nocken in dessen Verbindungsbereich weitestgehend nur elastisch aufgeweitet ist; und
- Fig. 2 ein Spannungs-Dehnungs-Diagramm mit einem Spannungs-Dehnungs-Verlauf des Werkstoffs des Hohlwellenteils gemäß Fig. 1, welcher durch einen Zugversuch ermittelt ist.

Die Fig. 1 zeigt eine Verbindungsanordnung 10 eines Hohlwellenteils 12 mit einem Nabenteil 14, beispielsweise einem Nocken 14. Durch das Hohlwellenteil 12 und einer Mehrzahl von Nocken 14 wird eine Nockenwelle 16 gebildet, mittels welcher Gaswechselventile einer Hubkolben-Verbrennungskraftmaschine für einen Kraftwagen zu betätigen sind.

Zum Verbinden des Hohlwellenteils 12 mit dem Nocken 14 weist der Nocken 14 eine Aussparung 18 auf, in welcher das Hohlwellenteil 12 bereichsweise aufgenommen ist. Mit anderen Worten durchdringt das Hohlwellenteil 12 die Aussparung 18, und das Hohlwellenteil 12 und der Nocken 14 sind über jeweilige Verbindungsbereiche 20, 22 verbunden. Während des Fügeprozesses wird das Hohlwellenteil 12 in seinem Verbindungsbereich 20 zumindest teilweise plastisch verformt, während der Nocken 14 in seinem Verbindungsbereich 22 im Wesentlichen nur elastisch verformt wird.

Zum Herstellen der Verbindungsanordnung 10 wird der Nocken 14 zunächst in einer solchen Weise auf dem Hohlwellenteil 12 angeordnet, dass die jeweiligen Verbindungsbereiche 20, 22 in gegenseitiger Überlappung angeordnet sind. Anschließend wird das Hohlwellenteil 12 in seinem Innenumfangsseitig mittels eines Fluids mit Druck beaufschlagt, wodurch das Hohlwellenteil 12 innenhochdruckumgeformt wird. Im Zuge dieser Innenhochdruckumformung wird das Hohlwellenteil 12 in seinem Verbindungsbereich 20 elastisch-plastisch verformt. Mit anderen Worten bewirkt die Innenhochdruckbeaufschlagung des Hohlwellenteils 12 eine elastisch-plastische Vergrößerung des Außendurchmessers des Hohlwellenteils 12 im Vergleich zum Ausgangszustand.

Da der Nocken 14 bereits auf dem Hohlwellenteil 12 angeordnet ist, wird durch die Innenhochdruckbeaufschlagung des Hohlwellenteils 12 auch der Innendurchmesser des Verbindungsbereichs 22 bzw. der Aussparung 18 des Nockens 14 im Vergleich zu einem Ausgangszustand, den der Nocken 14 zeitlich vor der Innenhochdruckbeaufschlagung des Hohlwellenteils 12 und beim Anordnen des Nockens 14 auf dem Hohlwellenteil 12 aufweist, aufgeweitet und so vergrößert, wobei der Nocken 14 in seinem Verbindungsbereich 22 aufgrund seiner gegenüber dem Hohlwellenteil 12 höheren Festigkeit im Wesentlichen lediglich elastisch verformt wird. Nach Beenden der Innenhochdruckbeaufschlagung des Hohlwellenteils 12 federn das Hohlwellenteil 12 und der Nocken 14 zumindest teilweise zurück und in Richtung ihres Ausgangszustands. Die bewirkte plastische Verformung des Hohlwellenteils 12 verhindert jedoch ein vollständiges Schrumpfen des Nockens 14 bzw. dessen Aussparung 18 in den Ausgangszustand, sodass zwischen Nocken 14 und Hohlwellenteil 12 eine Schrumpfung verbunden wird, durch welche der Nocken 14 auf das Hohlwellenteil 12 gefügt wird.

Während des Betriebs der Nockenwelle 16 wirken auf diese und somit auf das Hohlwellenteil 12 und den Nocken 14 Belastungen in Form von Kräften und Drehmomenten. Um nun die erwünschte Funktion der Nockenwelle 16 auch über eine hohe Lebensdauer hinweg zu gewährleisten, sind entsprechend der Belastung der Nockenwelle 16 entsprechende Anforderungen an das Hohlwellenteil 12 und den Nocken 14 und insbesondere an den jeweiligen Werkstoff des Hohlwellenteils 12 und des Nockens 14 zu stellen. Insbesondere der Werkstoff des Hohlwellenteils 12 spielt eine wichtige Rolle, um einerseits eine feste und verdrehfeste Verbindung zwischen dem Hohlwellenteil 12 und dem Nocken 14 zu realisieren und andererseits die während des Betriebs der Nockenwelle 16 wirkenden Belastungen über eine hohe Lebensdauer hinweg schadfrei ertragen zu können. Dies bedeutet, dass der Werkstoff des Hohlwellenteils 12 gewissen Kriterien zu genügen hat, um diese Anforderungen zu erfüllen.

Zur Überprüfung der Eignung eines vorgegebenen Werkstoffs als Ausgangsmaterial für das Hohlwellenteil 12 kann insbesondere mit Hilfe eines Zugversuchs, zum Beispiel nach DIN EN ISO 6892-1, ermittelt werden. Bei der Durchführung des Zugversuchs wird ein aus dem zu untersuchenden Werkstoff hergestellter Prüfkörper einer Zugkraft unterworfen, wodurch sich der Prüfkörper längt, d.h. dehnt, und wodurch Spannungen in dem Prüfkörper entstehen. Die Dehnungen des Prüfkörpers als Funktion der Zugkraft werden gemessen und ausgewertet.

Die Fig. 2 zeigt ein Spannungs-Dehnungs-Diagramm 24, in welches drei Spannungs-Dehnungs-Verläufe 26, 28, 30 eingetragen sind. Diese Spannungs-Dehnungs-Verläufe 26, 28, 30 wurden bei Raumtemperatur an rohrförmigen Prüfkörpern gewonnen, wobei diese Prüfkörper aus unterschiedlichen Werkstoffen bestanden, die grundsätzlich als Werkstoffe für das Hohlwellenteil 12 in Frage kommen.

Die Spannungs-Dehnungs-Verläufe 26, 28, 30 zeigen eine Dehnung des Prüfkörpers als Funktion einer an den Prüfkörper angelegten Spannung. Zur Ermittlung der Dehnung des Prüfkörpers wird die durch eine Zugkraftbelastung des Prüfkörpers bewirkte Längenänderung des Prüfkörpers auf dessen Ausgangslänge bezogen. Die Dehnung des Prüfkörpers, die auf der Abszisse 33 des Spannungs-Dehnungs-Diagramms 24 aufgetragen ist, ist somit eine dimensionslose Größe und wird in der Einheit [%] angegeben. Die Spannung des Prüfkörpers ist auf der Ordinate 34 des Spannungs-Dehnungs-Diagramms 24 aufgetragen und wird in der Einheit $[N/mm^2]$ angegeben. Zur Ermittlung der Spannung wird die auf den Prüfkörper aufgebrachte Zugkraft erfasst und auf die zur Zugkraftbeaufschlagung senkrechte Querschnittsfläche des Prüfkörpers in dessen undeformiertem Ausgangszustand, d.h. zeitlich vor der Zugkraftaufbringung auf den Prüfkörper, bezogen.

Als Werkstoffe für das Hohlwellenteil 12 werden vorzugsweise solche Materialien verwendet, die nach einem plastischen Fließbeginn bei weiterer Erhöhung der Zugkraftbelastung erst relativ spät verfestigen und/oder die über einen Dehnungsbereich verfügen, der ohne nennenswerten Spannungsanstieg zur Bauteilplastifizierung beiträgt. Weiterhin soll der Werkstoff eine bestimmte vorgegebene Zugfestigkeit haben. Bei der Charakterisierung eines Werkstoffs bezüglich seiner Eignung als Werkstoff für das Hohlwellenteil 12 spielen demnach insbesondere zwei Kenngrößen A, B eine besondere Rolle, die dem Spannungs-Dehnungs-Diagramm zu entnehmen sind:

- Die Kenngröße A kennzeichnet das Spannungsintervall, innerhalb dessen die Dehn- bzw. Streckgrenze liegen soll; wird ein Werkstück über diese Dehn- bzw. Streckgrenze hinaus belastet, dann wird die innere Struktur des Werkstücks dauerhaft verändert. Die Dehn- bzw. Streckgrenze des Hohlwellenteils 12 muss also innerhalb des vorgegebenen Toleranzbandes A liegen.
- Die Kenngröße B bezeichnet das Spannungsintervall, in welchem die Zugfestigkeit des Werkstoffs zu liegen hat, um die entsprechenden Anforderungen insbesondere hinsichtlich der Festigkeit des Hohlwellenteils 12 zu erfüllen.

Weiterhin muss das Rohrmaterial eine Mindestbruchleistung aufweisen. Wie aus Figur 2 ersichtlich, erfüllen alle drei Spannungs-Dehnungsverläufe 26, 28, 30 grundsätzlich diese Anforderungen.

Überraschend hat sich herausgestellt, dass die Verdrehfestigkeit der geschilderten Verbindung des Hohlwellenteils 12 mit dem Nocken 14 umso höher ist, je weniger der Werkstoff des Hohlwellenteils 12 die geforderte Mindestfließgrenze (ausgedrückt beispielsweise ausgedrückt durch die Dehngrenze $R_{p0.2}$ oder die obere Streckgrenze R_{eH}) überschreitet. Das bedeutet, dass (bei vorgegebener Rohrgeometrie und vorgegebener Nockengestaltung und –werkstoff) beispielsweise mit einem Rohr mit dem Spannungs-Dehnungsverlauf 28 (und einer Dehngrenze 29) eine Welle-Nocken-Verbindung mit höherer Verdrehfestigkeit erreicht werden als mit einem Rohr, dessen Spannungs-Dehnungsverlauf 26 eine höhere Dehngrenze 27 aufweist.

Weiterhin hat sich überraschend herausgestellt, dass eine besonders feste Verbindung des Hohlwellenteils 12 mit dem Nocken 14 erreicht werden kann, wenn der Werkstoff des Hohlwellenteils 12 jenseits des plastischen Fließbeginns erst relativ spät (d.h. bei möglichst hohen Dehnungen) verfestigt und/oder einen Dehnungsbereich 32 aufweist, der ohne nennenswerten Spannungsanstieg zur Bauteilplastifizierung beiträgt. Ein entsprechender Spannungs-Dehnungsverlauf ist in Kurve 30 dargestellt; das zugehörige Rohrmaterial weist eine niedrige (aber innerhalb des Intervalls A liegende) Dehngrenze 31 und einen unmittelbar daran anschließenden Dehnungsbereich 32 der Breite D auf, in dem bei steigender Dehnung die Spannung zumindest im Wesentlichen konstant bleibt. Dieser Dehnungsbereich 32 hat somit die Form eines Spannungsplateaus mit zumindest im Wesentlichen konstanter Spannung bei zunehmender Dehnung. Er hat eine Breite D von mindestens 2% und erstreckt sich über einen Bereich zwischen dem Erreichen der Dehn- bzw. Streckgrenze und dem signifikanten Anstieg der Spannung aufgrund der Verfestigung des dritten Werkstoffs beim Zugversuch.

Vor dem Hintergrund des bisher Geschilderten ergibt sich daraus, dass das Hohlwellenteil 12 vorteilhafterweise aus einem Rohrmaterial mit einem Spannungs-Dehnungsverlauf 30 ausgebildet ist, da dieser einerseits den geschilderten Anforderungen hinsichtlich der Festigkeit genügt und andererseits eine besonders verdrehfeste Verbindung des Hohlwellenteils 12 mit dem Nocken 14 ermöglicht. Dieses Rohrmaterial verfestigt nach dem plastischen Fließbeginn erst relativ spät und weist den besonders ausgeprägten Dehnungsbereich 32 auf, der ohne nennenswerten Spannungsanstieg zur Bauteilplastifizierung beiträgt und sich bei Raumtemperatur über wenigstens 2% Dehnung

erstreckt. Bezogen den Zugversuch nach DIN EN ISO 6892-1 wird der Dehnungsbereich 32 beispielsweise mit dem Begriff „Streckgrenzdehnung“ beschrieben.

Zur Herstellung des Hohlwellenteils 12 aus einem Rohrmaterial mit einem Spannungs-Dehnungsverlauf 30 und den geschilderten vorteilhaften Eigenschaften werden entsprechend speziell ausgewählte und konditionierte Stähle unter Einhaltung der geforderten Festigkeitskennwerte mit dem geschilderten vorteilhaften elastisch-plastischen Verformungsverhalten verwendet. Dies wird beispielsweise erreicht durch die entsprechende Wahl einer Legierungszusammensetzung sowie von Herstellparametern in einem Walz- und/oder Rohrwerk zum Herstellen des Hohlwellenteils 12.

Neben der oben beschriebenen Innenhochdruckumformung zur Herstellung der Verbindungsanordnung 10 von Wellenteil 12 und Nabenteil 14 kann die Verbindungsanordnung 10 insbesondere auch durch lokales Aufweiten des Wellenteils 12 mit Hilfe eines zurückziehbaren Dorns hergestellt werden. Ein solches Verfahren ist beispielsweise in der DE 695 01 832 T2 beschrieben. Der zurückziehbare Dorn wird in das hohle Wellenteil 12 eingesetzt und positioniert, wodurch der erste Abschnitt des zurückziehbaren Dorns unter einem ersten Teil des hohlen Wellenteils 12 angeordnet wird. Mit Hilfe eines Schmiedewerkzeugs wird dieser erste Teil des hohlen Wellenteils mechanisch reduziert durch Schieben des hohlen Rohrs durch das Schmiedewerkzeug. Dabei wird der zurückziehbare Dorn auch bewegt, um den ersten Abschnitt des zurückziehbaren Dorns unter dem zu reduzierenden Teil des Wellenteils 12 angeordnet zu halten. Durch schrittweises Verschieben des Dorns bzw. des Wellenteils 12 im Schmiedewerkzeug wird auf dem Wellenteil eine Vielzahl von ersten Teilen und zweiten Teilen gebildet, wobei der innere Durchmesser des ersten Teils größer ist als der innere Durchmesser eines zweiten Teils. Auf das in dieser Weise bearbeitete Wellenteil 12 werden Nabenteile 14 aufgefädelt, wobei jedes Nockenelement um einen Bereich mit reduziertem innerem Durchmesser herum angeordnet wird. Diese Bereiche mit reduziertem innerem Durchmesser des Wellenteils 12 werden anschließend mechanisch aufgeweitet, um die Nabenteile 14 auf dem Wellenteil 12 zu fixieren. Dieser Aufweitschritt wird mit Hilfe eines Aufweitwerkzeugs durchgeführt, das einen größeren Durchmesser als der innere Durchmesser der dickeren Wandbereiche und einen kleineren Durchmesser als der innere Durchmesser der dünneren Wandbereiche hat.

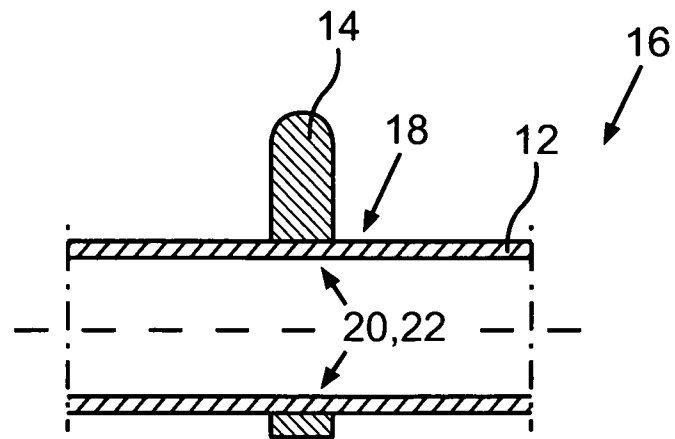
Patentansprüche

1. Verbindungsanordnung (10) eines Wellenteils (12) mit einem Nabenteil (14), bei welcher das Nabenteil (14) und das zumindest bereichsweise in einer Aussparung (18) des Nabenteils (14) aufgenommene Wellenteil (12) über jeweilige Verbindungsbereiche (20, 22) unter zumindest teilweiser plastischer Verformung des Wellenteils (12) und weitestgehend nur elastischer Verformung des Nabenteils (14) in den jeweiligen Verbindungsbereichen (20, 22) miteinander verbunden sind, dadurch gekennzeichnet, dass
der Werkstoff des Wellenteils (12) einen Spannungs-Dehnungs-Verlauf (30) hat, der ab dem Auftreten von plastischem Fließen einen sich über wenigstens 2% Dehnung erstreckenden Dehnungsbereich (32) mit zumindest im Wesentlichen konstanter Spannung bei zunehmender Dehnung aufweist.
2. Verbindungsanordnung (10) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
das Wellenteil (12) zumindest bereichsweise als Hohlwellenteil (12) ausgebildet ist.
3. Verbindungsanordnung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
das Wellenteil (12) und das Nabenteil (14) durch zumindest lokales plastisches Aufweiten des Außendurchmesser des Wellenteils in dessen Verbindungsbereich (20) miteinander verbunden sind.
4. Verbindungsanordnung (10) nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass

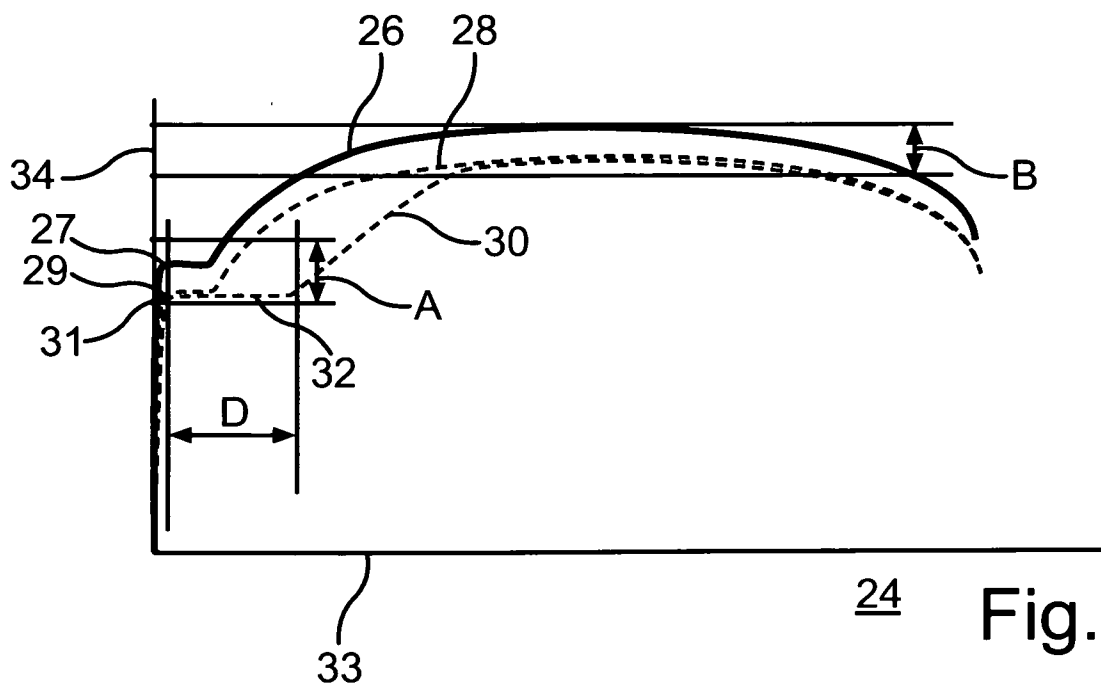
das Wellenteil (12) und das Nabenteil (14) durch zumindest lokales plastisches Innenhochdruckumformen des Wellenteils (12) miteinander verbunden sind.

- 5. Verbindungsanordnung (10) nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Wellenteil (12) und das Nabenteil (14) durch lokales mechanisches Aufweiten des Wellenteils (12) miteinander verbunden sind.
- 6. Verbindungsanordnung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Nabenteil (14) als Funktionselement, insbesondere als Nocken (14) und/oder Ring und/oder Verzahnungselement mit einer Verzahnung und/oder als Nockenwellenverstelleinrichtung und/oder als Fügeflansch und/oder als Schwungmasse, ausgebildet ist.
- 7. Verbindungsanordnung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Werkstoff des Wellenteils (12) ein unlegierter oder mikrolegierter oder niedriglegierter Stahl, ist.
- 8. Verbindungsanordnung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass durch das Wellenteil (12) und das Nabenteil (14) eine Nockenwelle (16), insbesondere für eine Verbrennungskraftmaschine, gebildet ist.

1/1



10 Fig.1



24 Fig.2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/001192

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. F01L1/047 B21D53/84 F16H53/02
ADD.

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)

F01L B21D F16H

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, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 94/01658 A1 (TORRINGTON CO [US]) 20 January 1994 (1994-01-20) the whole document	1-8
X	GB 2 152 858 A (NIPPON PISTON RING CO LTD) 14 August 1985 (1985-08-14) the whole document	1-8
X	US 5 259 268 A (EBBINGHAUS ALFRED [DE] ET AL) 9 November 1993 (1993-11-09) the whole document	1-8
X	US 4 847 963 A (BENDORAITAS JOHN A [US] ET AL) 18 July 1989 (1989-07-18) the whole document	1-8
	----- -/-	

☒ 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

1 August 2012

Date of mailing of the international search report

10/08/2012

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Paulson, Bo

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2012/001192

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 34 01 057 A1 (KOKAN KAKO CO [JP]) 19 July 1984 (1984-07-19) the whole document -----	1-8
X	EP 1 464 793 A1 (RENAULT SA [FR]) 6 October 2004 (2004-10-06) the whole document -----	1-8
X	DE 196 25 555 A1 (KUEHL HANS DIPL ING [DE]) 2 January 1998 (1998-01-02) the whole document -----	1-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2012/001192

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9401658	A1	20-01-1994	CA 2134656 A1 20-01-1994
		DE 69301399 D1 07-03-1996	
		DE 69301399 T2 14-08-1996	
		EP 0650550 A1 03-05-1995	
		JP H07509033 A 05-10-1995	
		US 5280675 A 25-01-1994	
		US 5435207 A 25-07-1995	
		WO 9401658 A1 20-01-1994	
GB 2152858	A	14-08-1985	DE 3501434 A1 26-09-1985
			GB 2152858 A 14-08-1985
			JP 1971379 C 27-09-1995
			JP 6083862 B 26-10-1994
			JP 60152330 A 10-08-1985
			US 4612695 A 23-09-1986
US 5259268	A	09-11-1993	NONE
US 4847963	A	18-07-1989	NONE
DE 3401057	A1	19-07-1984	DE 3401057 A1 19-07-1984
			US 4882825 A 28-11-1989
EP 1464793	A1	06-10-2004	DE 60317875 T2 27-11-2008
			EP 1464793 A1 06-10-2004
			US 2004255885 A1 23-12-2004
DE 19625555	A1	02-01-1998	BR 9709986 A 10-08-1999
			DE 19625555 A1 02-01-1998
			EP 0912269 A1 06-05-1999
			ES 2143869 T3 16-05-2000
			JP 2000512555 A 26-09-2000
			KR 20000022160 A 25-04-2000
			US 6125537 A 03-10-2000
			WO 9749511 A1 31-12-1997

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/001192

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. F01L1/047 B21D53/84 F16H53/02
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
F01L B21D F16H

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, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 94/01658 A1 (TORRINGTON CO [US]) 20. Januar 1994 (1994-01-20) das ganze Dokument	1-8
X	GB 2 152 858 A (NIPPON PISTON RING CO LTD) 14. August 1985 (1985-08-14) das ganze Dokument	1-8
X	US 5 259 268 A (EBBINGHAUS ALFRED [DE] ET AL) 9. November 1993 (1993-11-09) das ganze Dokument	1-8
X	US 4 847 963 A (BENDORAITAS JOHN A [US] ET AL) 18. Juli 1989 (1989-07-18) das ganze Dokument	1-8
	- / - -	

☒ 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	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
1. August 2012	10/08/2012
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 Paulson, Bo

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 34 01 057 A1 (KOKAN KAKO CO [JP]) 19. Juli 1984 (1984-07-19) das ganze Dokument -----	1-8
X	EP 1 464 793 A1 (RENAULT SA [FR]) 6. Oktober 2004 (2004-10-06) das ganze Dokument -----	1-8
X	DE 196 25 555 A1 (KUEHL HANS DIPL ING [DE]) 2. Januar 1998 (1998-01-02) das ganze Dokument -----	1-8

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/001192

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9401658	A1	20-01-1994	CA 2134656 A1 20-01-1994
		DE 69301399 D1 07-03-1996	
		DE 69301399 T2 14-08-1996	
		EP 0650550 A1 03-05-1995	
		JP H07509033 A 05-10-1995	
		US 5280675 A 25-01-1994	
		US 5435207 A 25-07-1995	
		WO 9401658 A1 20-01-1994	

GB 2152858	A	14-08-1985	DE 3501434 A1 26-09-1985
		GB 2152858 A 14-08-1985	
		JP 1971379 C 27-09-1995	
		JP 6083862 B 26-10-1994	
		JP 60152330 A 10-08-1985	
		US 4612695 A 23-09-1986	

US 5259268	A	09-11-1993	KEINE

US 4847963	A	18-07-1989	KEINE

DE 3401057	A1	19-07-1984	DE 3401057 A1 19-07-1984
		US 4882825 A 28-11-1989	

EP 1464793	A1	06-10-2004	DE 60317875 T2 27-11-2008
		EP 1464793 A1 06-10-2004	
		US 2004255885 A1 23-12-2004	

DE 19625555	A1	02-01-1998	BR 9709986 A 10-08-1999
		DE 19625555 A1 02-01-1998	
		EP 0912269 A1 06-05-1999	
		ES 2143869 T3 16-05-2000	
		JP 2000512555 A 26-09-2000	
		KR 20000022160 A 25-04-2000	
		US 6125537 A 03-10-2000	
		WO 9749511 A1 31-12-1997	
