



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 340 912 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
03.09.2003 Patentblatt 2003/36

(51) Int Cl.7: F04C 2/08

(21) Anmeldenummer: 02004344.4

(22) Anmeldetag: 01.03.2002

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder:
• Härle, Hermann
88326 Aulendorf (DE)
• Eisenmann, Siegfried A., Dipl.-Ing.
D-88326 Aulendorf (DE)

(71) Anmelder:
• Härle, Hermann
88326 Aulendorf (DE)
• Eisenmann, Siegfried A., Dipl.-Ing.
D-88326 Aulendorf (DE)

(74) Vertreter: Schwabe - Sandmair - Marx
Stuntzstrasse 16
81677 München (DE)

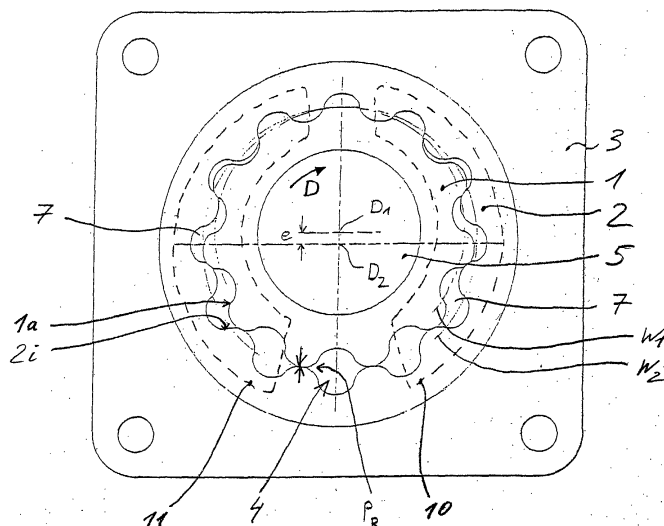
(54) Zahnringmaschine mit Zahnlaufspiel

(57) Zahnringmaschine umfassend ein Gehäuse (3), das eine Zahnradkammer (4) enthält, die wenigstens eine Zuflussöffnung (10) und wenigstens eine Abflussöffnung (11) für ein Arbeitsfluid aufweist, ein in der Zahnradkammer (4) aufgenommenes inneres Zahnrad (1), das um eine Drehachse (D_1) drehbar ist und eine Außenverzahnung (1a) aufweist, ein Zahnrad (2), das eine zu der Drehachse (D_1) des inneren Zahnrads (1) exzentrische Wälzkreisachse (D_2) und um die Wälzkreisachse (D_2) eine Innenverzahnung (2i) aufweist, wobei die Zahnköpfe oder die Zahnfüße von wenigstens einer der beiden Verzahnungen (1a,2i) ein von einer Zykloide abgeleitetes Profil aufweisen, das durch Abrollen eines

Rollkreises an einem Festkreis erzeugbar ist, und wobei die miteinander kämmenden Verzahnungen (1a,2i) ein radiales und ein tangential Zahnlaufspiel (P_R, P_T) aufweisen.

Die Zahnräder zeichnen sich dadurch aus, dass das tangential Zahnlaufspiel (P_T) kleiner ist als das radiale Zahnlaufspiel (P_R) und das Profil der Zahnköpfe oder der Zahnfüße von der wenigstens einen der Verzahnungen (1a,2i) von oder aus der Ortskurve eines Punktes an dem Umfang eines Rollkreises gebildet wird, dessen Radius sich von den beiden Flankenbereichen zu dem Scheitelpunkt im Falle der Zahnköpfe stetig verkleinert oder im Falle der Zahnfüße entweder stetig vergrößert oder stetig verkleinert.

Fig. 1



EP 1 340 912 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung ist mit dem Zahnlaufspiel von Zahnradlaufsätzen von Zahnringpumpen und Zahnringmotoren der Verdrängerbauart befasst.

[0002] Zahnringpumpen komprimieren ein Arbeitsfluid und fördern es dadurch von einer Niederdruckseite zu einer Hochdruckseite, während Zahnringmotoren von einem unter Druck stehenden Arbeitsfluid angetrieben werden, das an einer Hochdruckseite zugeführt und an einer Niederdruckseite des Zahnringmotors abgeführt wird. Beide Arten einer Zahnringmaschine besitzen einen Zahnradlaufsatz, der ein inneres Stirnrad mit einer Außenverzahnung und ein äußeres Stirnrad mit einer Innenverzahnung aufweist. Die Innenverzahnung weist im Allgemeinen einen Zahn mehr auf als die Außenverzahnung. Die beiden Verzahnungen stehen in einem kämmenden Zahneingriff. Bei einer Relativdrehung der beiden Zahnräder entstehen zwischen den Zähnen des Innenrads und den Zähnen des Außenrads umlaufende, sich vergrößernde und verkleinernde Fluidzellen, welche das Fluid in einem Betrieb als Pumpe von einer Niederdruckseite zu einer Hochdruckseite und in einem Betrieb als Motor von einer Hochdruckseite zu einer Niederdruckseite der Zahnringmaschine führen.

[0003] Für solche Zahnradlaufsätze hat es sich bewährt, die Zahnköpfe des Innenrads und die Zahnfüße des Außenrads als Epizykloiden und die Zahnfüße des Innenrads und die Zahnköpfe des Außenrads als Hypozykloiden auszubilden. Die Epizykloiden werden durch Abrollen eines kleinen Rollkreises, der bei dem Innenrad und dem Außenrad gleich sein kann, aber nicht sein muss, auf dem Wälzkreis des Innenrads bzw. des Außenrads gebildet. Die Hypozykloiden werden entsprechend gebildet, wobei wiederum gilt, dass die kleinen Rollkreise bei dem Innenrad und dem Außenrad vorteilhafterweise zwar gleich sein sollten, aber nicht gleich sein müssen.

[0004] Je nach der Drehzahl und dem Druckniveau des Arbeitsfluid sollte das Zahnlaufspiel der beiden Zahnräder unterschiedlich sein. Bei hoher Relativdrehzahl der Zahnräder ist ein großes Zahnspiel wünschenswert wegen der Reibleistung und der Temperaturunterschiede der beiden Zahnräder. Bei niedriger Relativdrehzahl und meist hohem Arbeitsdruck auf der Hochdruckseite sind kleine Zahnspiele wünschenswert, um die volumetrischen Verluste (Leckverluste) gering zu halten. Es existieren aber auch noch andere Einflussgrößen, die für die Dimensionierung der Zahnspiele beachtenswert sind. Solche anderen Einflussgrößen sind insbesondere die unvermeidbare Unrundheit der Verzahnungen aufgrund einer niemals perfekten Fertigung, die Genauigkeit der Drehlagerung von einem der Zahnräder oder beiden Zahnrädern und die Abweichung einer tatsächlichen Exzentrizität der Zahnräder von einer der Berechnung der Verzahnungen zugrunde gelegten Exzentrizität. Als Exzentrizität wird in diesem Zusam-

menhang wie üblich der Abstand der Wälzkreisachsen der Zahnräder verstanden.

[0005] Die DE 42 00 883 löst das Problem des radialen Zahnspiels dadurch, dass die Epizykloiden oder die Hypozykloiden oder beide in Kombination je um ein gewisses Maß zu ihren Wälzkreisen hin abgeflacht sind. Um die Abflachung zu erhalten, wird für die jeweilige Zykloide ein kleinerer Rollkreis an einem großen Festkreis abgerollt, wobei das Profil der Verzahnung jedoch nicht durch einen Punkt an dem Umfang des kleinen Rollkreises, sondern von einem Punkt beschrieben wird, der von dem Umfang des kleinen Rollkreises zu dessen Mittelpunkt hin verschoben ist. Die so erhaltenen Zykloiden der Verzahnung werden durch Geradenstücke miteinander verbunden. Das an der Stelle des tiefsten Zahneingriffs erforderliche tangentiale Zahnspiel, d.h. das Zahnflankenspiel, wird durch eine äquidistante Zurücknahme der durch das Abrollen der Rollkreise erhaltenen Kontur von wenigstens einer der Verzahnungen erhalten. Bei dieser bekannten Art der Verzahnungen gestaltet sich allerdings die Berechnung der Stelle beim Übergang von den Epizykloiden zu den Hypozykloiden aufwendig. Ferner ergeben sich mechanische Geräusche durch un stetige Stellen.

[0006] Die EP 1 016 784 A empfiehlt die Zykloiden des Innenrotors und des Außenrotors durch Abrollen von vier kleinen Rollkreisen mit jeweils unterschiedlichen Radien zu erzeugen. Durch diese Maßnahme kann ein radiales Zahnspiel zwar unter Vermeidung von un stetigen Stellen eingestellt werden, allerdings wird dies aufgrund der Erzeugungsvorschrift der Epi- und Hypozykloiden mit einem tangentialen Zahnspiel erkaufte, das größer ist als das radiale Zahnspiel. Im Bereich des tiefsten Zahneingriffs verbreitert sich somit der zwischen den Verzahnungen gebildete Spalt von dem Scheitel des eingreifenden Zahnkopfs zu den Flanken des betreffenden Zahns. Die Verzahnung ist problematisch. Ein zu großes Zahnflankenspiel in Umfangsrichtung führt im Bereich des Wälzkreises zu einem Hämmern der Zähne in Umfangsrichtung, weil hydraulische und dynamische Kräfte einen Flankenanlagewechsel bewirken. Ist das tangentiale Zahnspiel zu groß, so ist der Flüssigkeitsfilm zwischen den gleitwälzenden Zahnflanken zu dick und dementsprechend die Dämpfung des durch den Flankenanlagewechsel bewirkten Stoßes zu klein. Ein Hämmern der Zähne aufeinander ist unvermeidlich, besonders bei hohen Drehzahlen, kleiner Viskosität des Arbeitsfluids und bei großen Laufsatzdurchmessern. Ferner ist die Vergrößerung des Zahnspiels zu den Flanken hin dem volumetrischen Wirkungsgrad der Zahnringmaschine abträglich.

[0007] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, miteinander kämmende Verzahnungen eines innenachsigen Zahnradsatzes einer Zahnringmaschine so zu gestalten, dass der volumetrische Wirkungsgrad verbessert und die Geräuschentwicklung des Zahnradlaufsatzes vermindert wird. Gleichzeitig sollen die Verzahnungen jedoch auf einer einfachen mathematischen Erzeugungs-

vorschrift beruhen.

[0008] Eine Zahnringmaschine, wie die Erfindung sie betrifft, weist ein Gehäuse mit einer Zahnradkammer auf, in die ein Zufluss und ein Abfluss für ein Arbeitsfluid münden. Das Arbeitsfluid ist vorzugsweise eine Flüssigkeit, insbesondere ein Schmieröl oder eine Hydraulikflüssigkeit. Die Zahnringmaschine umfasst ferner einen Zahnradsatz aus wenigstens einem außenverzahnten inneren Zahnrad und einem innenverzahnten äußeren Zahnrad, die miteinander in einem kämmenden Zahneingriff sind. Falls beide Zahnräder relativ zu dem Gehäuse drehen, ist der Zahnradsatz in der Zahnradkammer aufgenommen. Falls eines der Zahnräder ein Stator ist, bildet es die Zahnradkammer vorzugsweise mit. Die wenigstens zwei Zahnräder weisen zueinander exzentrische Wälzkreisachsen auf. Die Innenverzahnung des äußeren Zahnrads weist wenigstens einen Zahn mehr auf als die Außenverzahnung des inneren Zahnrads; vorzugsweise weist sie genau einen Zahn mehr auf. Bei einem Drehantrieb von einem der Zahnräder bilden die miteinander kämmenden Verzahnungen expandierende und komprimierende, d.h. sich vergrößernde und verkleinernde Förderzellen, die das Arbeitsfluid von dem Zufluss zu dem Abfluss führen.

[0009] Die wenigstens zwei Zahnräder des Zahnradsatzes drehen in den meisten Anwendungsfällen beide je um ihre eigene Wälzkreisachse, wobei das Gehäuse üblicherweise eine Drehlagerung für eines der beiden Zahnräder bildet und das andere nicht verdrehbar mit einem Drehantriebs- oder Abtriebsglied verbunden ist. In Bezug auf das Gehäuse müssen jedoch nicht beide der wenigstens zwei Zahnräder um ihre Drehachsen rotieren. Ein äußeres Zahnrad, das in Bezug auf das Gehäuse stillsteht, ein sogenannter Außenstator, ist insbesondere bei sogenannten Orbitmaschinen bekannt, die ihren Namen daraus ableiten, dass das innere Zahnrad in dem relativ zum Gehäuse stillstehenden Außenstator zwei einander überlagerte Drehbewegungen ausführt, nämlich eine Kreisorbitbewegung um eine gehäusefeste Drehachse und eine Drehbewegung um die eigene Wälzkreisachse.

[0010] Was die Zahnform von wenigstens einer der miteinander kämmenden Verzahnungen anbetrifft, so sind deren Zahnköpfe oder Zahnfüße oder deren Zahnköpfe und Zahnfüße in Kombination von Zykloiden abgeleitet, d.h. die betreffende Zahnkopfkontur oder Zahnfußkontur kann durch Abrollen eines Rollkreises an einem Festkreis erzeugt werden. Der Festkreis ist konzentrisch zu der Wälzkreisachse der betreffenden Verzahnung. Wenn im folgenden von abgeleiteten Zykloiden die Rede ist, so werden hierunter Zykloiden verstanden, die durch das Abrollen eines Rollkreises mit veränderlichem Radius an einem Festkreis erzeugbar sind. Die miteinander kämmenden Verzahnungen weisen im Lauf ein radiales und ein tangentiales Zahnspiel auf. Das radiale Zahnspiel wird als Abstand des Kopfkreises der einen Verzahnung zu dem Fußkreis der anderen Verzahnung verstanden, wenn die Verzahnungen

die Exzentrizität zueinander aufweisen, die ihrer Erzeugung zugrundegelegt wird. Das tangentiale Zahnspiel ist unter der gleichen Bedingung das Zahnflankenspiel der Rückflanken, d.h. das Zahnspiel in Umfangsrichtung, gemessen auf dem Wälzkreis eines der Zahnräder an der Stelle tiefsten Zahneingriffs.

[0011] Die Erfindung ist auf die vorstehende Definition der Zahnlaufspiele bezogen. Die praktische Messung erfolgt jedoch zweckmäßigerweise in einer Messmaschine, indem die Zahnräder des Zahnradsatzes einzeln ihrem Kopf- und Fußkreis nach vermessen und aus den daraus gewonnenen Daten die Zahnlaufspiele berechnet werden.

[0012] Eine für die praktische Messung ebenfalls geeignete, besonders einfache Messmethode besteht darin, dass das radiale Zahnspiel P_R als Abstand zwischen den einander gegenüberliegenden Zahnköpfen an der Stelle des geringsten Zahneingriffs gemessen wird, wenn die Zahnräder ausgebaut sind und mit ihren beiden Verzahnungen an der Stelle des tiefsten Zahneingriffs radial gegeneinander gedrückt werden. Werden die beiden Verzahnungen in diesem Zustand exakt nur radial gegeneinander gedrückt, so verbleibt an der Stelle des tiefsten Zahneingriffs beidseits des Scheitelpunktes des eingreifenden Zahnkopfs in Umfangsrichtung je ein Flankenspiel zwischen den beiden Verzahnungen. Die Summe dieser beidseitigen Flankenspiele auf dem Wälzkreis eines der Zahnräder repräsentiert in erster Näherung das tangentiale Zahnspiel. Durch das tatsächliche Gegeneinanderdrücken der Verzahnungen kann ein radiales Zahnspiel an der Stelle des geringsten Zahneingriffs ganz einfach durch das Einschieben einer Fülllehre zwischen den einander gegenüberliegenden Zahnköpfen der Verzahnungen ebenfalls in erster Näherung ermittelt werden.

[0013] Auf die praktischen Arten der Messung des Zahnspiels sei jedoch nur ergänzend hingewiesen, da die beiden Zahnlaufspiele, wie vorstehend bereits angemerkt, auf die der Erzeugung zugrunde gelegten Verhältnisse, wie insbesondere exakte Exzentrizität, bezogen sind. Je exakter die Fertigung der Zahnräder und die Messmethode für die Zahnlaufspiele sind, umso mehr werden die durch praktische Messung ermittelten Zahnspiele jedoch den mathematischen Zahnlaufspielen im Sinne der Erfindung angenähert sein.

[0014] Nach der Erfindung werden die miteinander kämmenden Stirnverzahnungen so gestaltet, dass das tangentiale Zahnlaufspiel kleiner ist als das radiale Zahnlaufspiel. Nach der erfindungsgemäßen Erzeugungsvorschrift der wenigstens einen der Verzahnungen wird das Profil der Zahnköpfe oder der Zahnfüße dieser Verzahnung von der Ortskurve oder aus der Ortskurve eines Punktes an dem Umfang eines kleinen Rollkreises gebildet, dessen Radius sich von den beiden Flankenbereichen zu dem Scheitelbereich für die Erzeugung des Zahnkopfprofils stetig verkleinert oder für die Erzeugung des Zahnfußprofils stetig vergrößert. Vorteilhaft ist ferner ein Zahnfußprofil, das von der Orts-

kurve oder aus der Ortskurve eines Punktes an den Umfang eines kleinen Rollkreises gebildet ist, dessen Radius sich von den beiden Flankenbereichen zu dem Scheitelpunkt jedes Zahnfußes stetig verkleinert. Solch ein Zahnfußprofil, das zu dem Wälzkreis des betreffenden Zahnrads in erfindungsgemäßer Weise abgeflacht ist, ist zum einen mathematisch und deshalb auch praktisch auf einfache Weise erzeugbar und kann insbesondere dazu dienen, die Abstützung der Zahnräder aneinander zu verbessern und auch dazu, ein Totvolumen zu einem eingreifenden, abgeflachten Zahnkopf zu verringern. In Verbindung mit der Abflachung der Zahnfüße kann solch ein abgeflachter Zahnkopf insbesondere ein Zahnkopf nach der Erfindung oder aber auch ein gemäß einer anderen Erzeugungsvorschrift abgeflachter Zahnkopf sein. Die Anmelderin behält es sich vor, ein Zahnrad mit einer Verzahnung gemäß der erfindungsgemäßen Erzeugungsvorschrift der Rollkreisvariation sowie einen Zahnradsatz mit solch einem Zahnrad, insbesondere einen Zahnradsatz für eine Zahnringmaschine, auch ohne das Merkmal des erfindungsgemäß größeren radialen Zahnspiels zu beanspruchen.

[0015] Vorzugsweise ändert sich der Radius des betreffenden Rollkreises von beiden Fußpunkten jedes Zahnkopfes oder Zahnfußes auf dem Wälzkreis der Verzahnung aus stetig. Die nach dieser Vorschrift erzeugte oder erzeugbare Ortskurve kann das betreffende Profil unmittelbar bilden. Das Profil kann jedoch auch lediglich auf solch einer Ortskurve beruhen, indem es beispielsweise hinter die entsprechende Ortskurve äquidistant zurückgenommen ist. Die Abweichung des Profils von der nach Erzeugungsvorschrift erzeugten Ortskurve ist jedoch höchstens so groß, dass hierdurch das erfindungsgemäß kleine tangentiale Zahnlaufspiel eingestellt werden kann.

[0016] Der Rollkreis kann ein kleiner Rollkreis sein, der den größeren Festkreis nicht umschließt und an dem Festkreis außen abrollt. Der Rollkreis kann jedoch auch ein großer Rollkreis sein, der außen an dem Festkreis abrollt, aber den in diesem Fall kleineren Festkreis umschließt. Mathematisch handelt es sich um eine Kurbelbewegung von zwei Kurbeln, in der Ebene des Wälzkreises der zu erzeugenden Verzahnung. Die beiden Kurbeln sind in einem Drehgelenk miteinander verbunden. Die eine der beiden Kurbeln rotiert um einen festen Drehpunkt auf der Wälzkreisachse, während die von dem festen Drehpunkt aus gesehen äußere der beiden Kurbeln um den Drehpunkt des gemeinsamen Drehgelenks rotiert. Die Winkelgeschwindigkeiten der beiden Kurbeln sind unterschiedlich, aber jeweils konstant. Bei dem Abrollen eines nicht umschließenden kleinen Rollkreises an einem großen Festkreis ist die um den festen Drehpunkt rotierende innere Kurbel länger als die um den Drehpunkt des gemeinsamen Drehgelenks rotierende äußere Kurbel. Im Falle des Abrollens eines umschließenden großen Rollkreises an einem kleinen Festkreis ist die innere Kurbel kleiner als die äußere

Kurbel. Das durch beide Abrollbewegungen, d.h. durch beide Kurbelverhältnisse, jeweils die gleiche Verzahnung erzeugt werden kann, hat beispielsweise O. Baier in "Drehkolben- und Kreiskolbenmaschinen als Verbrennungsmotoren", VDI Berichte Nr. 45, 1960, dargelegt. Hierauf beruft sich auch die Erfindung, indem nicht definiert wird, ob es sich bei dem Rollkreis um den kleineren oder den größeren der beiden Kreise handelt. Darüber hinaus ist die Erfindung durch die Definition des Zahnkopfprofils und/oder Zahnfußprofils als Ortskurve eines Punktes an dem Umfang eines Rollkreises nicht darauf beschränkt, dass für die Erzeugung des betreffenden Profils tatsächlich der Radius des betreffenden Rollkreises verändert wird. Falls die gleiche Ortskurve auch durch Abrollen eines Rollkreises mit konstantem Radius an einem zu der Wälzkreisachse konzentrischen Kreis mit stetig sich änderndem Radius oder durch eine andere Vorschrift erzeugt werden kann, so wird auch ein nach solch einer Erzeugungsvorschrift erzeugtes Profil als erfindungsgemäß verstanden.

[0017] Ein kleines tangentiales Zahnspiel sorgt zum einen für einen kleinen Stoßimpuls zwischen den Zahnflanken der beiden Verzahnungen und zum anderen für einen dünneren Fluidfilm zwischen den Zahnflanken, der höhere Squeezedrucke aufbaut und auf diese Weise eine Berührung der Zahnflanken besser als bei den bekannten Verzahnungen verhindert.

[0018] Es ist leicht einzusehen, dass die Erfindung eine einfache Möglichkeit schafft, den im Anwendungsfall spezifischen Zahnspiel-Anforderungen Rechnung zu tragen. Man erhält in der Gestaltung der Zahnkonfiguration eine weitgehende Freiheit. Es kann nicht nur das Zahnlaufspiel an den wichtigsten Zahneingriffsstellen vorausbestimmt werden, sondern es können gleichzeitig auch spezifische Forderungen der Fertigungstechnik berücksichtigt werden, wie beispielsweise Wärmeverzug, Verzug beim Kalibrieren von Sinterteilen oder Verformungen der Räum- oder Sinterwerkzeuge beim Räumen oder Pressen der Zahnradrohlinge. Wird die erfindungsgemäße Zahnringmaschine mit sehr hohen Arbeitsdrücken betrieben, die bis zu mehrere 100 bar betragen können, muss mit elastischen Verformungen der Zahnräder gerechnet werden, was ebenfalls Korrekturen der gewählten Zahnform notwendig macht. Solche Korrekturen sind bei den klassischen Zykloidenverzahnungen, die mit Hilfe von Rollkreisen und Festkreisen je mit konstanten Radien erzeugt wurden, nicht möglich. Die systematische Modifikation von Zykloiden, die die Erfindung vorschlägt, verbindet den Vorteil einer einfachen Erzeugungsvorschrift mit der gewonnenen Freiheit hinsichtlich der dem jeweiligen Anwendungsfall angepassten Variation des Zahnlaufspiels.

[0019] Die Erfindung ist im Hinblick auf die Fertigung der Zahnräder auch deshalb vorteilhaft, weil die Fertigungstoleranzen gemessen über die Zahndicke, d.h. in Umfangsrichtung, wesentlich kleiner sein können als die Fertigungstoleranzen gemessen über den Durchmesser der Zahnräder, d.h. in radialer Richtung. Dies

ist durch Rundlauffehler und den Ovalverzug der Zahnräder bedingt. Insbesondere bei Zahnringpumpen, deren inneres Zahnrad direkt auf einer Kurbelwelle eines Kolbenmotors montiert ist, die bekanntlich eine starke Radialbewegung in ihren Hauptlagern ausführt, ist ein vergrößertes radiales Zahnspiel der kämmenden Zahnräder vorteilhaft. Dieser Montagefall tritt üblicherweise bei Schmierölpumpen für Verbrennungsmotoren von Fahrzeugen auf, was eine bevorzugte Verwendung einer erfindungsgemäßen Zahnringpumpe darstellt.

[0020] Die Berechnung der Kurvenpunkte der erfindungsgemäßen Ortskurve ist mathematisch mit einem Laufparameter sehr einfach. Als Laufparameter wird vorzugsweise der Zentriwinkel χ zwischen der X-Achse und einem Fahrstrahl, nämlich der inneren Kurbel, gewählt. Die X-Achse und dieser Fahrstrahl treffen sich im Mittelpunkt des Wälzkreises des betreffenden Zahnrads, d.h. in dessen Wälzkreisachse. Mit den üblichen Inkrementalrechenverfahren ist die schrittweise Berechnung in Inkrementenschritten des Laufparameters sehr einfach. Es entstehen auch keine Unstetigkeitsstellen bei dem Übergang von den Zahnköpfen in die Zahnfüße. So geht ein erfindungsgemäß erzeugter Zahnkopf der Außenverzahnung tangential in einen beispielsweise hypozykloiden Zahnfuß oder einen ebenfalls erfindungsgemäß erzeugten Zahnfuß über. Das Gleiche gilt natürlich auch für einen erfindungsgemäß erzeugten Zahnfuß der Außenverzahnung, der in diesem Fall tangential in einen beispielsweise epizykloiden Zahnkopf oder einen ebenfalls erfindungsgemäß erzeugten Zahnkopf der Außenverzahnung übergeht. Handelt es sich bei der erfindungsgemäß gebildeten Verzahnung um die Innenverzahnung, so gilt dies sinngemäß für die beispielsweise epizykloiden oder erfindungsgemäß von Epizykloiden abgeleiteten Zahnfüße und beispielsweise hypozykloiden oder erfindungsgemäß von Hypozykloiden abgeleiteten Zahnköpfe.

[0021] Für den variablen Radius des Rollkreises für die Zahnköpfe und/oder Zahnfüße gilt demgemäß nicht $r = \text{konstant}$, sondern $r = r(\chi)$. Wird im Falle der erfindungsgemäßen Erzeugung der Zahnköpfe als r_0 der größte Radius des Rollkreises und im Falle der erfindungsgemäßen Erzeugung der Zahnfüße mit r_0 der kleinste Radius des Rollkreises bezeichnet, so gilt: $r(\chi) = r_0 \pm \Delta r(\chi)$, wobei $r(\chi) = r_0$ im äußersten Punkt der Zahnkopf- oder Zahnfußflanke und $\Delta r(\chi)$ stetig ist, vorzugsweise stetig differenzierbar ist.

[0022] Die Funktion, nach der der Rollkreisradius sich erfindungsgemäß ändert, kann nach Vorgaben der Zweckmäßigkeit ausgewählt werden. Der Rollkreisradius kann sich insbesondere nach einer linearen Funktion oder einer Funktion wenigstens zweiter Ordnung, vorzugsweise einer Kegelschnittfunktion wie beispielsweise einer Parabelfunktion oder einem Polynom ändern. Besonders bevorzugt sind Sinus- und Kosinus-Funktionen, insbesondere wegen ihrer Einfachheit. Die Änderung des Rollkreises kann auch basierend auf Erfahrungswerten an Stützstellen vorgegeben und mit Hilfe

einer Interpolationsfunktion auf den Stützstellen approximiert werden. Eine derart gewonnene Interpolationsfunktion wird im Sinne der Erfindung als Erfahrungsfunktion bezeichnet.

[0023] Besonders bevorzugt wird der Rollkreisradius von einem konstanten Wert $r_0 \neq 0$ ausgehend nach einer Funktion $\Delta r(\chi)$ verändert, die beidseits des Scheitelpunktes des erfindungsgemäß erzeugten Zahnkopfes oder Zahnfußes am Anfangspunkt bei $\chi=0$ und am Endpunkt bei $\chi=2\chi_s$ die Steigung Null aufweist, wobei χ_s den Zentriwinkel des Scheitelpunktes bezeichnet.

[0024] Die Änderung des Rollkreisradius ist zu beiden Seiten des Scheitelpunktes jedes der Zahnköpfe oder jedes der Zahnfüße vorzugsweise gleich, so dass die erfindungsgemäß erzeugten Zahnköpfe und/oder Zahnfüße beidseits ihres Scheitelpunktes ein symmetrisches Profil aufweisen.

[0025] Für die Erzeugung des erfindungsgemäßen Zahnkopfprofils und/oder Zahnfußprofils können auch mehrere unterschiedliche Funktionen, vorzugsweise aus der Gruppe der genannten, aneinandergesetzt werden, solange diese Funktionen stetig, vorzugsweise stetig differenzierbar und daher tangential, ineinander übergehen. Die Änderung des Radius sollte monoton sein, d.h. für die Erzeugung des Zahnkopfprofils beispielsweise, dass der Radius bei dem Abrollen von dem Scheitelpunkt des Zahnkopfes aus zu beiden Flanken hin monoton wachsen sollte. Die Änderung des Radius muss auch nicht kontinuierlich während des gesamten Abrollvorgangs erfolgen, obgleich eine kontinuierliche Änderung vorteilhaft ist. So kann der Radius stückweise durchaus konstant sein, insbesondere im Bereich der Zahnflanken, um sich zu dem Scheitelpunkt von beispielsweise einem Zahnkopf zu verkleinern, wobei die Radiusfunktion pro Zahnkopf oder Zahnfuß jedoch überall stetig ist.

[0026] Die Gegenverzahnung zu der erfindungsgemäß erzeugten Verzahnung wird vorzugsweise ebenfalls erfindungsgemäß erzeugt, d.h. sie weist vorzugsweise ebenfalls erfindungsgemäß erzeugte Zahnköpfe und/oder Zahnfüße auf. Die Gegenverzahnung kann beispielsweise jedoch auch eine reine Epi- und Hypozykloidenverzahnung sein, d.h. Zahnköpfe und Zahnfüße aufweisen, die bevorzugt exakte oder verlängerte oder verkürzte Epizykloiden und bevorzugt exakte oder verlängerte oder verkürzte Hypozykloiden sind. So können insbesondere die Zahnköpfe der Außenverzahnung und die Zahnköpfe der Innenverzahnung jeweils erfindungsgemäß erzeugt sein, während die Zahnfüße der Außenverzahnung Hypozykloiden und die Zahnfüße der Innenverzahnung Epizykloiden sind. Die Gegenverzahnung muss jedoch nicht unumgänglich aus Epi- und Hypozykloiden bestehen, sie kann beispielsweise auch nach dem Verzahnungsgesetz gebildet sein. Allerdings wird es bevorzugt, wenn beide Verzahnungen nur Zahnköpfe und Zahnfüße aufweisen, die zyklod oder von Zykloden erfindungsgemäß abgeleitet sind, wobei Mischformen wie beschrieben und ferner gemäß den

Ansprüchen möglich sein sollen.

[0027] Falls bei der wenigstens einen erfindungsgemäß erzeugten Verzahnung entweder nur die Zahnköpfe oder nur die Zahnfüße in erfindungsgemäßer Weise von einer Zykloide abgeleitet sind, so wird die erfindungsgemäße Erzeugung der Zahnköpfe bevorzugt, obgleich auch die erfindungsgemäße Erzeugung nur der Zahnfüße bereits vorteilhaft ist. Durch die erfindungsgemäße Abflachung der Zahnköpfe kann das erforderliche radiale Zahnspiel im Bereich des geringsten Zahneingriffs und gleichzeitig Raum für Quetschfluid im Bereich des tiefsten Zahneingriffs erhalten werden. Falls nur die Zahnfüße durch Vergrößerung des Rollkreises erfindungsgemäß erzeugt werden, wird zumindest noch Raum für Quetschfluid im Bereich des tiefsten Zahneingriffs geschaffen, während das erforderliche radiale Zahnspiel im Bereich des geringsten Zahneingriffs durch andere, gegebenenfalls bekannte Maßnahmen erzielt werden kann.

[0028] Für die Erzeugung des radialen Zahnlaufspiels genügt es normalerweise, dass nur ein Rollkreisradius von einer der beiden Verzahnungen beim Abrollen auf dem jeweiligen Festkreis für die Bildung des Zahnkopfprofils stetig geändert wird. Sollen jedoch zur Verringerung schädlicher Räume und für eine optimale radiale Führung der Zahnräder gegeneinander die Zahnköpfe und Zahnfüße der Gegenverzahnung ihrer Form nach möglichst genau an die erfindungsgemäße Verzahnung angepasst werden, so ist es ohne Weiteres möglich, auch die Gegenverzahnung gemäß der Erfindung zu erzeugen. So kann es für eine radiale Abstützung der Rotoren gegeneinander vorteilhaft sein, die Zahnfüße der Gegenverzahnung radial näher an die erfindungsgemäß gebildeten Zahnköpfe „heranzuholen“, indem sie am vorteilhaftesten ebenfalls erfindungsgemäß erzeugt werden, allerdings wie die Zahnköpfe durch Verkleinerung ihres Rollkreisradius zum Scheitelpunkt eines jeden Zahnfußes.

[0029] Das tangentielle Zahnlaufspiel sollte 20 bis 60 % des radialen Zahnspiels ausmachen, wobei diese Angabe wieder auf die mathematischen Zahnlaufspiele unter Annahme einer exakten Exzentrizität bezogen ist. Besonders bevorzugt wird es, wenn das tangentielle Zahnlaufspiel etwa halb so groß wie das radiale Zahnspiel ist.

[0030] Bei sehr kleinen Zahnlaufspielen können bei zunehmender Relativdrehzahl zwischen den kämmenden Zahnrädern an der Stelle des tiefsten Zahneingriffs sogenannte Verdrängungs-Quetschdrücke auftreten, die zu starken Geräuschen und auch zu erhöhtem Verschleiß der Zahnräder führen können. Um dies zu vermeiden, können auch bei der erfindungsgemäß gebildeten Zahnringmaschine in den Zahnluken von einem oder gegebenenfalls beiden Zahnrädern Einbuchtungen, vorzugsweise in Form von schmalen Axialnuten vorgesehen sein, die insbesondere mit dem Abfluss in Verbindung stehen, so dass große Quetschdruckspitzen abgebaut werden können, ohne dass die Eingriffs-

und Zahnlaufspielverhältnisse gestört werden.

[0031] Um möglichst geringe Schwankungen des instantanen Fördervolumens der Zahnringpumpe zu erhalten, sollte die auf dem zugehörigen Teilkreis oder Wälzkreis gemessene Umfangserstreckung der Zahnluken und Zähne der Zahnräder entweder gemäß Anspruch 12 oder gemäß Anspruch 13 ausgebildet sein.

[0032] Das tangentielle Zahnlaufspiel kann vorteilhafterweise durch eine äquidistante Zurücknahme von einer der beiden Verzahnungen erhalten werden, nachdem die beiden Verzahnungen nach der die Ortskurve erzeugenden mathematischen Erzeugungsvorschrift auf ein tangential Zahnspiel von Null gefertigt wurden. Ebenfalls vorteilhaft können das radiale und das tangentielle Zahnlaufspiel jedoch bereits allein durch die Variation des Rollkreisradius nur für die Zahnköpfe von einer der Verzahnungen erhalten werden. Handelt es sich bei der Gegenverzahnung um eine zykloide Verzahnung, so kann das tangentielle Zahnspiel auch dadurch erhalten werden, dass der Rollkreis der Zahnfüße der Gegenverzahnung im Vergleich zu einem Rollkreisradius mit tangential Nullspiel um das halbe tangentielle Zahnspiel größer gewählt wird, während der Radius des Rollkreises der Zahnköpfe der Gegenverzahnung um das halbe tangentielle Zahnspiel kleiner als ein Rollkreisradius mit tangential Nullspiel gewählt wird. Die auf dem Wälzkreis gemessene Erstreckung der Zahnluken der Gegenverzahnung ist dann um das tangentielle Zahnspiel größer und die auf dem Wälzkreis gemessene Dicke der Zahnköpfe der Gegenverzahnung ist um das tangentielle Zahnspiel kleiner als bei einer Gegenverzahnung, deren Zahnluken und Zahnköpfe auf dem Wälzkreis je die gleiche Erstreckung und Dicke wie die erfindungsgemäße Verzahnung haben. Ebenso ist es natürlich im Umkehrschluss möglich, die zykloide Gegenverzahnung auf Nennmaß und die erfindungsgemäße Verzahnung auf Einstellung des gewünschten tangentialen Zahnspiels zu erzeugen. Gegebenenfalls kann das tangentielle Zahnspiel durch eine Variation eines Rollkreisradius in Kombination mit einer äquidistanten Zurücknahme von einer der Verzahnungen oder gegebenenfalls sogar beiden Verzahnungen gebildet werden.

[0033] Der Vollständigkeit wegen sei erwähnt, dass die erfindungsgemäße Erzeugungsvorschrift auch bei sogenannten Gerotor-Verzahnungen mit Vorteil angewendet werden kann. Dort ist im äußeren Zahnrad eine genau kreisförmige Zahnkopfform vorgesehen mit konstantem Zahnflankenradius. Dieser konstante Zahnflankenradius ist historisch bedingt, weil eine kreiszylindrische Form fertigungstechnisch besonders leicht zu beherrschen ist. Werden die Zahnköpfe des äußeren Zahnrads durch im Zahnrad drehgelagerte Rollen gebildet, so ist der konstante Radius sogar zwingend. Die mit den kreisförmigen Zahnköpfen kämmende Gegenverzahnung, d.h. die Außenverzahnung des inneren Zahnrads, wird nach der Erfindung gebildet. Allerdings handelt es sich hierbei nicht um die Variation eines Roll-

kreises, der auf einem Festkreis abrollt. Vielmehr wird bei dem Generator-Prozess, der auch als Hüllfigur-Prozess bezeichnet wird, der Radius des Kreisbogens der Gerotor-Verzahnung variiert. Mit der Variation wird jedoch das Ziel verfolgt, Eingriffstörungen der beiden Verzahnungen zu verhindern. Es besteht nämlich das Problem, dass durch Flankenberührung seitlich von den Stellen tiefsten und geringsten Zahneingriffs der Abstand zwischen den einander gegenüberliegenden Köpfen der beiden Verzahnungen an der Stelle des geringsten Zahneingriffs unvorteilhaft groß wird und infolgedessen der volumetrische Wirkungsgrad absinkt.

[0034] Die Variation der Kreisbögen der Gerotor-Verzahnung, nämlich der Innenverzahnung des äußeren Zahnrads, wird so ausgeführt, dass die Zahnköpfe der Außenverzahnung des inneren Zahnrads schlanker werden als es bei dem Hüllfigur-Prozess üblicherweise der Fall ist. Es hat nach der Erfindung der Radius des Kreisbogens des Zahnkopfs der Innenverzahnung seinen geringsten Wert, wenn der Scheitelpunkt des Zahnkopfs der Außenverzahnung erzeugt wird. Ausgehend von dem Scheitelpunkt zu den beiden Flankenbereichen der Zahnköpfe der Außenverzahnung wird der Radius des Kreisbogens der Zahnköpfe der Innenverzahnung vergrößert, so dass im Ergebnis der Zahnkopf der Außenverzahnung auf dem Wälzkreis schlanker ist, als er es nach dem Hüllfigur-Prozess mit konstantem Kreisbogenradius wäre. Hierdurch wird die Gefahr von Eingriffstörungen durch seitliche Zahneingriffe, d.h. durch Flankenberührung, vermieden oder zumindest reduziert. Vorteilhaft ist die erfindungsgemäße Bildung insbesondere dann, wenn Abdichtprobleme zwischen den Förderzellen und/oder Verformungen des inneren Zahnrads aufgrund hoher Arbeitsdrücke zu befürchten sind.

[0035] Soweit in den Unteransprüchen weitere vorteilhafte Ausgestaltungen beschrieben werden, so sei diesbezüglich auf die Unteransprüche verwiesen.

[0036] Über die Zahnringmaschine hinaus ist die Erfindung auch auf einen Zahnradsatz gerichtet, der die miteinander kämmenden Zahnräder mit wenigstens einer erfindungsgemäß erzeugten Verzahnung umfasst oder von diesen beiden Zahnrädern allein bereits gebildet wird.

[0037] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand von Figuren erläutert. An den Ausführungsbeispielen offenbar werdende Merkmale bilden je einzeln und in jeder offenbarten Kombination die Gegenstände der Ansprüche vorteilhaft weiter. Auch Merkmale, die nur an einem der Beispiele offenbart sind, bilden die jeweils anderen Beispiele weiter oder zeigen Alternativen zu Einzelmerkmalen oder Merkmalskombinationen auf, soweit nichts Gegenteiliges offenbart wird oder nur der Fall sein kann. Es zeigen:

Figur 1 eine Ansicht auf eine Innenzahnringpumpe mit einem innenachsigen Zahnradlaufsatz,

Figur 2 den Zahnradlaufsatz der Figur 1,
 Figur 3 die Erzeugung eines Zahnkopfes,
 Figur 4 einen Bereich tiefsten Zahneingriffs eines Zahnradlaufsatzes nach einem ersten Ausführungsbeispiel,
 5 Figur 5 einen Bereich tiefsten Zahneingriffs eines Zahnradlaufsatzes nach einem zweiten Ausführungsbeispiel,
 Figur 6 einen Bereich tiefsten Zahneingriffs eines Zahnradlaufsatzes nach einem dritten Ausführungsbeispiel,
 10 Figur 7 einen Zahnradlaufsatz mit Quetschfluidräumen,
 Figur 8 einen Zahnradlaufsatz, dessen Zähne und Zahnücken über dem jeweiligen Wälzkreis gemessen unterschiedlich dick sind,
 15 Figur 9 eine Orbit-Maschine mit einem äußeren Zahnrad, das verdrehgesichert mit einem Gehäuse verbunden ist, und
 20 Figur 10 einen Zahnradlaufsatz einer Orbit-Maschine mit einem äußeren Zahnrad, dessen Zähne von Rollen gebildet werden.

[0038] Figur 1 zeigt eine Zahnringpumpe in einer Ansicht senkrecht auf einen Zahnradlaufsatz, der in einer Zahnradkammer 4 eines Pumpengehäuses 3 drehbar aufgenommen ist. Ein Deckel des Pumpengehäuses 3 ist weggelassen, so dass die Zahnradkammer 4 mit dem Zahnradlaufsatz erkennbar ist. Der Zahnradlaufsatz der Zahnringpumpe ist in Figur 2 nochmals alleine dargestellt.

[0039] Die Zahnringpumpe weist ein inneres Zahnrad 1 mit einer Außenverzahnung 1a und ein äußeres Zahnrad 2 mit einer Innenverzahnung 2i auf, die den Zahnradlaufsatz bilden. Die Außenverzahnung 1a hat einen Zahn weniger als die Innenverzahnung 2i. Zu dem innenachsigen Zahnradlaufsatz sei grundsätzlich angemerkt, dass die Zähnezahl der Innenverzahnung 2i vorzugsweise wenigstens vier und vorzugsweise höchstens 15 und noch bevorzugter wenigstens fünf beträgt. Im Ausführungsbeispiel hat die Innenverzahnung 2i zwölf Zähne.

[0040] Eine Drehachse D_1 des inneren Zahnrads 1 verläuft parallel beabstandet, dass heißt exzentrisch, zu einer Drehachse D_2 des äußeren Zahnrads 2. Die Exzentrizität, d.h. der Abstand zwischen den beiden Drehachsen D_1 und D_2 , ist mit "e" bezeichnet. Ferner sind der Wälzkreis des inneren Zahnrads 1 und der Wälzkreis des äußeren Zahnrads 2 angedeutet und mit W_1 und W_2 bezeichnet. Die Drehachsen D_1 und D_2 stimmen mit den Wälzkreisachsen der Zahnräder 1 und 2 überein.

[0041] Das innere Zahnrad 1 und das äußere Zahnrad 2 bilden zwischen sich einen Fluidförderraum. Dieser Fluidförderraum ist in gegeneinander druckdicht abgeschlossene Förderzellen 7 unterteilt. Die einzelnen Förderzellen 7 sind jeweils zwischen zwei aufeinanderfolgenden Zähnen der Außenverzahnung 1a und der In-

nenverzahnung 2i gebildet, indem je zwei aufeinanderfolgende Zähne der Außenverzahnung 1a Kopf- oder Flankenberührung mit je zwei aufeinanderfolgenden, radial gegenüberliegenden Zähnen der Innenverzahnung 2i haben. Zwischen den Zahnköpfen der beiden Verzahnungen 1a und 2i besteht an der Stelle geringsten Zahneingriffs ein geringes radiales Zahnlaufspiel. Dieses Spiel ist für den Fall, dass die Drehachsen D_1 und D_2 zueinander die theoretische Exzentrizität e aufweisen, die der Erzeugung der Verzahnungen 1a und 2i zugrundeliegt, mit P_R bezeichnet. Der dem radialen Spiel P_R entsprechende Spalt sollte so gestaltet sein, dass die unvermeidbaren Verluste so gering wie möglich sind.

[0042] Von dem diametral gegenüberliegenden Bereich tiefsten Zahneingriffs zu dem Bereich des geringsten Zahneingriffs werden die Förderzellen 7 in Drehrichtung D zunehmend größer, um anschließend von dem Bereich geringsten Zahneingriffs aus wieder abzunehmen. Die größer werdenden Förderzellen 7 bilden im Pumpenbetrieb eine Niederdruckseite und die kleiner werdenden Förderzellen 7 eine Hochdruckseite. Die Niederdruckseite ist mit einem Pumpeneinlass und die Hochdruckseite mit einem Pumpenauslass verbunden. In dem Gehäuse 1 sind im Bereich der Förderzellen 7 axial dicht angrenzende, nierenförmige Nutöffnungen 10 und 11 ausgenommen, die durch Stege voneinander getrennt sind. Die Öffnung 10 überdeckt Förderzellen 7 auf der Niederdruckseite und bildet dementsprechend eine Zuflussöffnung, im Pumpenbetrieb eine Niederdrucköffnung, und die andere Öffnung 11 bildet dementsprechend eine Abflussöffnung, im Pumpenbetrieb eine Hochdrucköffnung. In einem Motorbetrieb, der mit solch einer Zahnringmaschine ebenfalls möglich ist, würden die Verhältnisse natürlich umgekehrt. Im Bereich des tiefsten Zahneingriffs und in dem Bereich des geringsten Zahneingriffs bildet das Gehäuse je einen Dichtsteg zwischen den angrenzenden Zu- und Abflussöffnungen 10 und 11.

[0043] Bei einem Drehantreiben des einen der Zahnräder 1 und 2 wird durch die expandierenden Förderzellen 7 auf der Niederdruckseite Fluid durch die Öffnung 10 angesaugt, über den Bereich des geringsten Zahneingriffs transportiert und auf der Hochdruckseite unter höherem Druck wieder durch die Öffnung 11 zum Pumpenauslass abgeführt. Im Ausführungsbeispiel erhält die Pumpe ihren Drehantrieb von einem Drehantriebsglied 5, das durch eine Antriebswelle gebildet wird. Das innere Zahnrad 1 ist mit dem Drehantriebsglied 5 verdrehgesichert verbunden.

[0044] In einer bevorzugten Verwendung der Pumpe als Schmierölpumpe für einen Verbrennungsmotor, d.h. als Motorölpumpe, handelt es sich bei dem Drehantriebsglied 5 üblicherweise unmittelbar um die Kurbelwelle oder die Ausgangswelle eines Getriebes, dessen Eingangswelle die Kurbelwelle des Motors ist. Ebenso kann das Drehantriebsglied durch eine Ausgleichswelle für einen Kraftausgleich oder Drehmomentenausgleich

des Motors gebildet werden. Andere Drehantriebsglieder sind jedoch ebenfalls denkbar, insbesondere in anderen Verwendungen der Pumpe, beispielsweise als Hydraulikpumpe für einen Servoantrieb eines Kraftfahrzeugs. Anstatt das innere Zahnrad 1 anzutreiben, könnte auch das äußere Zahnrad 2 drehangetrieben sein und bei seiner Drehbewegung das innere Zahnrad 1 mitnehmen. Im Ausführungsbeispiel ist jedoch das äußere Zahnrad 2, wie in den meisten Anwendungsfällen üblich, über seinen äußeren Umfang in dem Gehäuse 3 drehgelagert.

[0045] Die Außenverzahnung 1a und die Innenverzahnung 2i sind so gebildet, dass das radiale Zahnlaufspiel P_R größer ist als das tangential Zahnlaufspiel, das in dem Bereich tiefsten Zahneingriffs auf dem Wälzkreis eines der Zahnräder 1 und 2 in Umfangsrichtung, d.h. in tangentialer Richtung, als Abstand zwischen den nachlaufenden Zahnflanken gemessen wird, wenn die vorlaufende Zahnflanke des treibenden Zahnrads die Gegenflanke des angetriebenen Zahnrads berührt. Das Profil der Außenverzahnung 1a und das Profil der Innenverzahnung 2i wird jeweils von Zykloiden gebildet oder ist von Zykloiden abgeleitet, d.h. die Zahnköpfe und die Zahnfüße der Verzahnungen 1a und 2i sind durch Abrollen von Rollkreisen an Festkreisen erzeugbar. Um das gegenüber dem tangentialen Zahnlaufspiel größere radiale Zahnlaufspiel P_R zu erhalten, ist das Profil der Zahnköpfe von wenigstens einer der Verzahnungen 1a und 2i in besonderer Weise gegenüber einer Zykloide, die durch Abrollen eines Rollkreises mit konstantem Radius an einem Festkreis mit konstantem Radius erzeugt wird, radial abgeflacht. Das Profil der Zahnköpfe der Gegenverzahnung 1a oder 2i kann ebenfalls abgeflacht sein, oder es kann beispielsweise auch von einer Zykloide gebildet sein, die durch das Abrollen eines Rollkreises mit konstantem Radius an einem Festkreis mit konstantem Radius erhalten wird. Grundsätzlich, obgleich nicht bevorzugt, kann die Gegenverzahnung 1a oder 2i sogar ein gegenüber der Zykloide spitzeres Zahnkopfprofil aufweisen, solange sichergestellt ist, dass das radiale Zahnlaufspiel P_R größer als das tangential Zahnlaufspiel ist.

[0046] Im Ausführungsbeispiel ist das Profil der Zahnfüße der Außenverzahnung 1a eine Hypozykloide und das Profil der Zahnfüße der Innenverzahnung 2i eine Epizykloide. Beide Zykloiden sind durch Abrollen ihres Rollkreises mit je einem konstantem Radius auf dem Wälzkreis W_1 oder W_2 des jeweiligen Zahnrads 1 bzw. 2 erzeugt, wobei der Rollkreis der Epizykloiden vorzugsweise nicht gleich dem Rollkreis der Hypozykloiden ist.

[0047] In Figur 3 ist beispielhaft für das innere Zahnrad 1 die Erzeugung eines Zahnkopfs veranschaulicht. Allerdings ist das Verhältnis von Zahndicke zum Zahnraddurchmesser zum Zwecke der Veranschaulichung größer als bei dem in Figur 1 dargestellten inneren Zahnrad 1.

[0048] Mit R ist in Figur 3 der Radius des Wälzkreises W_1 bezeichnet. Der Wälzkreis W_1 bildet den zu der

Drehachse D_1 konzentrischen großen Festkreis, auf dem ein kleinerer Rollkreis B zur Erzeugung der Zahnköpfe außen abrollt. Der kleine Rollkreis B hat einen Radius b , der sich bei dem Abrollen stetig ändert. Wie in Figur 3 an einem einzigen Zahnkopf beispielhaft dargestellt, wird jeder der Zahnköpfe des inneren Zahnrads 1 identisch geformt. Aufgrund der Änderung des Radius r handelt es sich bei dem kleinen Rollkreis B genau genommen nicht um einen Rollkreis. Die Bezeichnung "Rollkreis" wird jedoch aus Zwecken der Anschaulichkeit weiterhin verwendet.

[0049] Mathematisch kann der Abrollvorgang insbesondere durch die Bewegung von zwei Kurven in der Ebene des Festkreises bzw. Wälzkreises W_1 behandelt werden. Die eine dieser beiden Kurven ist die Gerade F, die den Mittelpunkt 0 des Festkreises W_1 mit dem Mittelpunkt M des Rollkreises B verbindet. Der Mittelpunkt 0 des Festkreises W_1 liegt auf der Wälzkreisachse D_1 . Die andere Kurve ist eine Gerade mit der Länge des Radius b des Rollkreises B. Die Gerade b verbindet einen Punkt an dem Umfang des Rollkreises B mit dem Mittelpunkt M. Die Gerade F bildet vom Drehpunkt 0 aus gesehen eine innere Kurve und die Gerade b eine äußere Kurve. Die beiden Kurven F und b sind im Mittelpunkt M drehbar miteinander verbunden.

[0050] Ein mit dem Zahnrad 1 fest verbundenes, kartesisches X, Y-Koordinatensystem mit dem Ursprung in dem Mittelpunkt 0 des Festkreises W_1 ist in Figur 3 ebenfalls eingezeichnet. In einer Ausgangsposition, in der die beiden Kurven F und b auf der X-Achse übereinanderliegen, ist der Endpunkt der äußeren Kurve b mit A bezeichnet. Dieser Punkt A auf dem Umfang des Rollkreises B liegt in der Ausgangsposition auch auf dem Festkreis W_1 . Als Laufparameter der Kurvenbewegung dient der Zentriwinkel χ zwischen der vorstehend definierten X-Achse und der inneren Kurve F. In der Ausgangsposition ist der Zentriwinkel χ dementsprechend gleich Null. Ein Abrollen des Rollkreises B entspricht einer Drehbewegung der inneren Kurve F um den Mittelpunkt 0 des Festkreises W_1 , der eine Drehbewegung der äußeren Kurve b um den Mittelpunkt M des Rollkreises B überlagert ist. In Figur 3 ist der Rollkreis B in der Ausgangsposition, zwei Zwischenpositionen und einer Endposition eingezeichnet. In der Endposition ist der Punkt A der äußeren Kurve b wieder auf dem Festkreis W_1 angelangt. In der einen der beiden Zwischenpositionen fällt der Punkt A am Umfang des Rollkreises B mit dem Scheitelpunkt S des Zahnkopfprofils überein. In dieser Position des Rollkreises B bildet die äußere Kurve b die fluchtende Verlängerung der inneren Kurve F. Die äußere Kurve b weist in dieser Position ihre geringste Länge auf, die dem kleinsten Radius b_{\min} des Rollkreises B entspricht. Der zugehörige Zentriwinkel ist ebenfalls eingetragen und mit χ_s bezeichnet. Seinen größten Radius b_0 weist der Rollkreis B in der Ausgangsposition bei $\chi=0$ und der Endposition bei $\chi=2\chi_s$ auf. Von der mittleren Position $\chi=\chi_s$ ausgehend, in der der Punkt A mit dem Scheitelpunkt S des Zahn-

kopfs zusammenfällt, wächst der Radius b des Rollkreises B zu beiden Seiten des Scheitelpunkts S monoton und symmetrisch bis er auf dem Festkreis W_1 seinen größten Wert b_0 erreicht hat. Die Länge der inneren Kurve F ist bei dem Abrollen konstant. Für die Länge der äußeren Kurve b gilt:

$$b(\chi) = b_0 - \Delta b(\chi) \text{ mit } \chi \in (0, 2\chi_s).$$

Δb ist vorzugsweise eine Sinus- oder Kosinusfunktion, beispielsweise:

$$\Delta b(\chi) = (C/2) \sin((\pi\chi)/(2\chi_s)),$$

wobei die Konstante $C/2$ der Betrag der Länge ist, um die der Rollkreisradius im Scheitelpunkt des Zahnkopfes oder Zahnfußes von b_0 abweicht. Gemäß der vorstehenden Funktion $\Delta b(\chi)$ ändert sich die Länge der äußeren Kurve b gemäß dem Betrag des Teils der Sinusfunktion, der zwischen zwei aufeinanderfolgenden Nullstellen liegt. Noch vorteilhafter ändert sich die Länge der äußeren Kurve b jedoch gemäß dem Betrag des Teils einer Sinus- oder Kosinusfunktion, der zwischen einem Minimum der betreffenden Funktion und einem benachbarten Maximum liegt, da in diesem Fall die Länge der äußeren Kurve b in den Flankenbereichen des Zahnkopfes enger an die Epizykloide des Rollkreises mit dem konstanten Radius r_0 angenähert ist. So kann $\Delta b(\chi)$ insbesondere einer der beiden folgenden Gleichungen genügen:

$$\Delta b(\chi) = (C/2) \left| \sin((\pi\chi)/(2\chi_s) - \pi/2) \right| - 1$$

$$\Delta b(\chi) = (C/2) \left| \cos((\pi\chi)/(2\chi_s)) \right| - 1,$$

wobei die senkrechten Striche wie üblich den Betrag bezeichnen.

[0051] In Figur 4 und den nachfolgenden Figuren 5 und 6 sind die Verzahnungen 1a und 2i jeweils für den Fall eingezeichnet, dass die beiden Drehachsen D_1 und D_2 zueinander die der Erzeugung der Verzahnungen 1a und 2i zugrundegelegte Exzentrizität e aufweisen und der Scheitelpunkt S_1 des Zahnkopfs der Außenverzahnung 1a und der Scheitelpunkt S_2 des Zahnfußes der Innenverzahnung 2i auf der gleichen Radialen liegen. Im Lauf des Zahnradlaufsatzes nehmen die beiden Verzahnungen 1a und 2i diese theoretische Position natürlich nicht ein, da eines der Zahnräder 1 und 2 das andere drehantreibt. Die Figuren 4 bis 6 dienen jedoch der Veranschaulichung von beispielhaften Verzahnungspaarungen.

[0052] Figur 4 zeigt die Stelle tiefsten Zahneingriffs für einen Zahnradlaufsatz nach dem Ausführungsbeispiel der Figuren 1 und 2, in dem nur die Außenverzahnung

1a des inneren Zahnrads 1 erfindungsgemäß ausgebildet ist. Das Profil jedes der Zahnköpfe der Außenverzahnung 1a ist wie vorstehend anhand von Figur 3 beschrieben von einer Epizykloide abgeleitet und dementsprechend mit $E1_{mod}$ bezeichnet. Das Profil der Zahnfüße der Außenverzahnung 1a ist hingegen eine Hypozykloide H1, die durch Abrollen eines kleinen Rollkreises mit konstantem Radius innen an dem Wälzkreis W_1 erzeugbar ist. Auf dem Wälzkreis W_1 des inneren Zahnrads 1 gehen die Zahnköpfe und Zahnfüße der Außenverzahnung 1a tangential ineinander über. Die Innenverzahnung 2i des äußeren Zahnrads 2 weist ein herkömmliches Zykloidenprofil mit hypozykloiden Zahnköpfen H2 und epizykloiden Zahnfüßen E2 auf, die durch Abrollen kleiner Rollkreise an dem Wälzkreis W_2 des äußeren Zahnrads 2 erzeugbar sind. Der Rollkreis für die Erzeugung der hypozykloiden Zahnköpfe H2 weist den gleichen, konstanten Radius wie der Rollkreis zur Erzeugung der hypozykloiden Zahnfüße H1 des inneren Zahnrads 1 auf. Die Epizykloiden E2 sind über den Wälzkreis W_2 des äußeren Zahnrads 2 gemessen genauso dick wie die von Epizykloiden abgeleiteten Zahnköpfe $E1_{mod}$ des inneren Zahnrads 1.

[0053] Ausgehend von dem konstanten Rollkreisradius zur Erzeugung der Epizykloiden E2 soll die Änderungsfunktion Δb für die Erzeugung des Zahnkopfprofils der Außenverzahnung 1a dergestalt sein, dass die auf dem Wälzkreis W_1 oder Teilkreis des inneren Zahnrads 1 abgerollte Länge des variablen Rollkreises B gleich der Dicke der Epizykloiden E2 der Innenverzahnung 2i ist. Die Erzeugungsvorschriften der Verzahnungen 1a und 2i ergeben somit ein tangentiales Zahnspiel P_T von Null, was in der Praxis nicht ausführbar ist. Um zwischen den Zahnrädern 1 und 2 ein tangentiales Zahnspiel P_T möglichst geringer, aber für die Relativbewegung ausreichender Größe zu erhalten, wird eine der beiden wie vorstehend beschrieben erzeugten Verzahnungen 1a und 2i über ihr gesamtes Profil äquidistant, d.h. normal zum Profil, zurückgenommen, beispielsweise mittels Drahterosion eines nach der Erzeugungsvorschrift erhaltenen Zahnrad-Sinterrohrlings. Der Betrag Ω der äquidistanten Zurücknahme ist im Beispielfall mit über den jeweiligen Wälzkreis gemessen gleicher Dicke der Epizykloiden E2 und abgeleiteten Epizykloiden $E1_{mod}$ dementsprechend gleich $P_T/2$. Im Bereich des tiefsten Zahneingriffs weisen somit die beiden Scheitelpunkte S_1 und S_2 einen radialen Abstand auf, der sich als die Summe von $\Omega = P_T/2$ und $2(b_2 - b_{min})$ ergibt, wobei b_2 der konstante Radius des Rollkreises der Epizykloide E2 ist. Dieser radiale Abstand entspricht dem radialen Zahnlaufspiel, d.h. für P_R gilt $P_R = 2(b_2 - b_{min}) + \Omega$.

[0054] Das gleiche radiale Zahnspiel P_R ergibt sich im Beispielfall der Figur 4 an der Stelle geringsten Zahneingriffs zwischen den Zahnköpfen der beiden Verzahnungen 1a und 2i.

[0055] Durch die Kombination der erfindungsgemäßen Erzeugung von beispielsweise dem Zahnkopfprofil des inneren Zahnrads 1 und einer äquidistanten Zurück-

nahme, auch bekannt als Offset, können das tangentiale Zahnspiel P_T durch die äquidistante Zurücknahme und das Zahnkopfspiel P_R durch die Überlagerung der äquidistanten Zurücknahme und der erfindungsgemäßen Radiusänderung Δb (χ_s) gebildet werden. Dies ergibt noch weitergehende Variationsmöglichkeiten als es bereits allein aufgrund der erfindungsgemäßen Erzeugung des Profils von wenigstens einer der Verzahnungen 1a und 2i möglich wäre.

[0056] Möchte man im Ausführungsbeispiel der Figur 4 beispielsweise ein tangentiales Zahnspiel P_T von 0,02 mm und ein radiales Zahnspiel P_R von 0,06 mm haben, dann würden die äquidistante Zurücknahme $\Omega = 0,01$ mm und die vorstehend genannte Radiendifferenz $(b_2 - b_{min}) = b_2 - (b_0 - \Delta b(\chi_s)) = 0,05$ mm sein.

[0057] Figur 5 zeigt die Stelle tiefsten Zahneingriffs für einen Zahnradlaufsatz, bei dem sowohl die Außenverzahnung 1a als auch die Innenverzahnung 2i erfindungsgemäß erzeugt sind. Sowohl das Zahnkopfprofil der Außenverzahnung 1a als auch das Zahnkopfprofil der Innenverzahnung 2i ist in erfindungsgemäßer Weise wie anhand von Figur 3 beschrieben zum jeweiligen Wälzkreis W_1 und W_2 hin abgeflacht. Die von Zykloiden abgeleiteten Zahnkopfprofile sind mit $E1_{mod}$ und $H2_{mod}$ bezeichnet. Da die durch Rollkreisvariation bewirkte Abflachung der Zahnkopfprofile bei der Außenverzahnung 1a einerseits und der Innenverzahnung 2i andererseits zwar identisch sein kann, aber nicht identisch sein muss, ist der radiale Abstand zwischen den Scheitelpunkten der Zahnköpfe und der Zahnfüße mit P_R und P'_R unterschiedlich bezeichnet, wobei man die Kurven $H1_{mod}$ und $H2$ gedanklich in die Position tiefsten Zahneingriffs drehen muss. Das tangentiale Zahnspiel P_T wird wie bereits bei dem Zahnradlaufsatz der Figur 4 durch Offsetfertigung, d.h. durch äquidistante Zurücknahme um den Betrag Ω von wenigstens einer, vorzugsweise nur einer, der beiden Verzahnungen 1a und 2i erhalten. An der Stelle geringsten Zahneingriffs ist bei den Verzahnungen 1a und 2i der Figur 5 der Abstand zwischen den einander gegenüberliegenden Zahnköpfen jedoch nicht P_R , sondern $P_R + P'_R + \Omega$.

[0058] Figur 6 zeigt die Stelle tiefsten Zahneingriffs für einen Zahnradlaufsatz nach einem dritten Ausführungsbeispiel. Die Zahnkopfprofile $E1_{mod}$ und $H2_{mod}$ sind erfindungsgemäß gebildet. Die beiden Zahnfußprofile $H1_{mod}$ und $E2_{mod}$ werden je durch Abrollen eines Rollkreises mit variablem Radius an dem Wälzkreis W_1 eines Rollkreises mit variablem Radius und dem Wälzkreis W_2 des äußeren Zahnrads 2 erzeugt. Bei der Erzeugung der Zahnfußprofile verringert sich jedoch der Radius des jeweiligen Rollkreises vom Scheitelpunkt des Zahnfußes aus zu beiden Zahnflanken, um die Toträume zwischen den Zahnfüßen und eingreifenden Zahnköpfen bis auf einen für die Aufnahme bzw. Ableitung des Quetschfluids ausreichenden Quetschfluidraum zu reduzieren. Es sei unterstellt, dass das radiale Zahnlaufspiel insgesamt dem des Ausführungsbeispiels der Figur 5 entspricht.

[0059] Figur 7 zeigt zwei miteinander kämmende Zahnräder 1 und 2 mit Verzahnungen 1a und 2i, von denen wenigstens eine erfindungsgemäß erzeugt ist. Um in dem Bereich tiefsten Zahneingriffs Räume für Quetschfluid zu schaffen oder bereits vorhandene zu vergrößern, ist in dem Grund von jedem der Zahnfüße des inneren Zahnrads 1 je eine Axialnut 8 eingearbeitet. Bilden die Zahnräder 1 und 2 den Zahnradlaufsatz einer Zahnringpumpe, so steht jede der Axialnuten 8 mit dem Abfluss der Zahnringpumpe in Verbindung. Die Verzahnungen 1a und 2i entsprechen der Lehre von Anspruch 13, wonach die Zähne des inneren Zahnrads 1 auf dem Teilkreis oder Wälzkreis des Zahnrads 1 gemessen dünner als die Zahnlücken sind. Falls das Verhältnis der auf dem Wälz- oder Teilkreis gemessenen Umfangserstreckung der Zahnlücken zu den Zähnen aus dem Bereich zwischen 1,5 und 3 gewählt wird, werden die unvermeidbaren instantanen Förderstrompulsationen der Pumpe minimiert.

[0060] Figur 8 dient der Veranschaulichung der Lehre von Anspruch 12, wonach die Förderstrompulsationen auch durch die umgekehrte Wahl des Verhältnisses der Umfangserstreckung erreicht werden kann. Im Ausführungsbeispiel der Figur 8 sind dementsprechend die Zähne der Außenverzahnung 1a dünner als deren Zahnlücken.

[0061] Die Zahnringmaschine der Figur 9 wird als Motor betrieben. Das äußere Zahnrad 2 ist über eine Mehrzahl von gleichmäßig über den Umfang des Zahnrads 2 verteilt angeordneten Schraubenbolzen 9 drehstarr mit dem Gehäuse 3 verbunden und bildet somit einen Stator mit der Innenverzahnung 2i. Die Zahnringmaschine ist als Orbitmaschine ausgebildet. Das innere Zahnrad 1 weist über seine Außenverzahnung 1a hinaus eine Innenverzahnung auf, die in einem kämmenden Zahneingriff mit einem Antriebsritzel 6 steht, das drehfest auf einer Antriebswelle 5 befestigt ist. Wenigstens eine der Verzahnungen 1a und 2i ist erfindungsgemäß ausgebildet. Sie kann insbesondere wie anhand von Figur 3 erläutert ausgebildet sein.

[0062] Figur 10 zeigt ein weiteres Beispiel eines Zahnradlaufsatzes, der ebenfalls ein äußeres Zahnrad 2 umfasst, das im eingebauten Zustand einen Stator einer Orbitmaschine bildet. In dem Ausführungsbeispiel der Figur 10 weist das äußere Zahnrad 2 eine Gerotor-Innenverzahnung 2i' auf. Die Zähne, insbesondere die Zahnköpfe, der Innenverzahnung 2i' des äußeren Zahnrads 2 werden von Rollen 12 gebildet, die um ihre zur Wälzkreisachse des äußeren Zahnrads 2 parallelen Mittellängsachsen einzeln drehbar mit dem Rest des äußeren Zahnrads 2 verbunden sind. Sämtliche Rollen 12 haben den gleichen konstanten Radius.

[0063] Die Gegenverzahnung, nämlich die Außenverzahnung 1a' des inneren Zahnrads 1, wird ebenfalls durch eine Radiusvariation erzeugt, allerdings nicht durch Abrollen eines Rollkreises an einem Festkreis, sondern durch eine Variation des Radius der Rollen 12 bei dem Generator- bzw. Hüllfigur-Prozess, durch den

die Außenverzahnung 1a' erzeugt wird. Bei dem Hüllfigur-Prozess wird der Radius der Rollen 12 jedoch nicht als konstant behandelt, sondern wird von einem geringsten Wert ausgehend stetig vergrößert. Den geringsten Wert weist der Radius der Rollen 12 für die Gewinnung des Scheitelpunktes jedes der Zahnköpfe der Außenverzahnung 1a' auf. Von den Scheitelpunkten zu den beiden Flankenbereichen, vorzugsweise bis in die beiden Fußpunkte der Zahnkopfflanken auf dem Wälzkreis, von jedem der Zahnköpfe der Außenverzahnung 1a' wird der Radius der Rollen 12 bis auf den Wert vergrößert, den die Rollen 12 der tatsächlich ausgeführten Innenverzahnung 2i' aufweisen. Es wird somit das tangential Zahnspeil gegenüber dem tangentialen Zahnspeil aus dem mit konstantem Radius arbeitenden Hüllfigur-Prozess vergrößert.

Patentansprüche

1. Zahnringmaschine der Verdrängerbauart (Pumpe oder Motor) umfassend:

- a) ein Gehäuse (3), das eine Zahnradkammer (4) enthält, die wenigstens eine Zuflussöffnung (10) und wenigstens eine Abflussöffnung (11) für ein Arbeitsfluid aufweist,
- b) ein in der Zahnradkammer (4) aufgenommenes inneres Zahnrad (1), das um eine Drehachse (D_1) drehbar ist und eine Außenverzahnung (1a) aufweist,
- c) ein Zahnrad (2), das eine zu der Drehachse (D_1) des inneren Zahnrads (1) exzentrische Wälzkreisachse (D_2) und um die Wälzkreisachse (D_2) eine Innenverzahnung (2i) aufweist, die wenigstens einen Zahn mehr als die Außenverzahnung (1a) hat und mit der Außenverzahnung (1a) in einem kämmenden Zahneingriff ist, um bei einer Drehbewegung, die das eine der Zahnräder (1, 2) relativ zu dem anderen ausführt, expandierende und komprimierende Förderzellen (7) zu bilden, die das Arbeitsfluid von der wenigstens einen Zuflussöffnung (10) zu der wenigstens einen Abflussöffnung (11) führen,
- d) wobei die Zahnköpfe oder die Zahnfüße von wenigstens einer der beiden Verzahnungen (1a, 2i) ein von einer Zykloide abgeleitetes Profil aufweisen, das durch Abrollen eines Rollkreises an einem Festkreis erzeugbar ist,
- e) und wobei die miteinander kämmenden Verzahnungen (1a, 2i) ein radiales und ein tangentiales Zahnlaufspiel (P_R , P_T) aufweisen, **dadurch gekennzeichnet, dass**
- f) das tangential Zahnlaufspiel (P_T) kleiner ist als das radiale Zahnlaufspiel (P_R)
- g) und das Profil der Zahnköpfe oder der Zahnfüße von der wenigstens einen der Verzahnungen

- gen (1a, 2i) von oder aus der Ortskurve eines Punktes an dem Umfang eines Rollkreises gebildet wird, dessen Radius sich von den beiden Flankenbereichen zu dem Scheitelbereich im Falle der Zahnköpfe stetig verkleinert oder im Falle der Zahnfüße entweder stetig vergrößert oder stetig verkleinert.
2. Zahnringmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Profil der Zahnköpfe von oder aus der Ortskurve eines Punktes an dem Umfang eines ersten Rollkreises gebildet wird, dessen Radius sich von den beiden Flankenbereichen zu dem Scheitelbereich der Zahnköpfe stetig verkleinert, und dass das Profil der Zahnfüße von oder aus der Ortskurve eines Punktes an dem Umfang eines zweiten Rollkreises gebildet wird, dessen Radius sich von den beiden Flankenbereichen zu dem Scheitelbereich der Zahnfüße stetig vergrößert.
 3. Zahnringmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Profil der Zahnköpfe der anderen der beiden Verzahnungen (1a, 2i) von oder aus der Ortskurve eines Punktes an dem Umfang eines dritten Rollkreises gebildet wird, dessen Radius sich von den beiden Flankenbereichen zu dem Scheitelbereich der Zahnköpfe stetig verkleinert.
 4. Zahnringmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Profil der Zahnfüße der anderen der beiden Verzahnungen (1a, 2i) von oder aus der Ortskurve eines Punktes an dem Umfang eines vierten Rollkreises gebildet wird, dessen Radius sich von den beiden Flankenbereichen zu dem Scheitelbereich der Zahnfüße stetig vergrößert.
 5. Zahnringmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Profil der Zahnköpfe von der wenigstens einen der Verzahnungen (1a, 2i) von oder aus der Ortskurve eines Punktes an dem Umfang eines Rollkreises gebildet wird, dessen Radius sich von den beiden Flankenbereichen zu dem Scheitelbereich der Zahnköpfe stetig verkleinert, und dass das Profil der Zahnfüße der anderen der beiden Verzahnungen (1a, 2i) von oder aus der Ortskurve eines Punktes an dem Umfang eines vierten Rollkreises gebildet wird, dessen Radius sich von den beiden Flankenbereichen zu dem Scheitelbereich der Zahnfüße stetig verkleinert.
 6. Zahnringmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich der Radius des Rollkreises bei dem Abrollen gemäß einer linearen Funktion oder einer Sinus- oder Kosinusfunktion oder einer Funktion wenigstens zweiter Ordnung, vorzugsweise einer Kegelschnittfunktion oder eines Polynoms, ändert.
 7. Zahnringmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich der Radius des Rollkreises bei dem Abrollen gemäß einer Erfahrungsfunktion ändert.
 8. Zahnringmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das tangential Zahnlaufspiel (P_T) 20 bis 60% des radialen Zahnlaufspiels (P_R) beträgt.
 9. Zahnringmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Profil von wenigstens einer der beiden Verzahnungen (3a, 4i) im Vergleich zu der die Ortskurve bildenden Erzeugungsvorschrift des Profils äquidistant zurückgenommen ist, um einen Teil des tangentialen Zahnlaufspiels (P_T) oder vorzugsweise das an dem Wälzkreis (W_1 , W_2) gemessene, gesamte tangential Zahnlaufspiel (P_T) zu erhalten.
 10. Zahnringmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zahnkopfprofile und Zahnfußprofile von beiden Verzahnungen (1a, 2i) zyklod oder von Zykloiden abgeleitet und die erzeugenden Rollkreise der Profile aufeinander so abgestimmt sind, dass aus den Ortskurven der Punkte an den Umfängen der Rollkreise ein Teil des an dem Wälzkreis (W_1 , W_2) gemessenen tangentialen Zahnspiels (P_T) oder vorzugsweise das gesamte tangential Zahnlaufspiel (P_T) erhalten wird.
 11. Zahnringmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Profile der Zahnköpfe und der Zahnfüße der Verzahnungen (1a, 2i) an Übergängen tangential aufeinander zu weisen.
 12. Zahnringmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** nur eine der beiden Verzahnungen (1a, 2i) ein Profil aufweist, für dessen Erzeugung der Rollkreis der Zahnköpfe und/oder der Rollkreis der Zahnfüße sich ändert.
 13. Zahnringmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Profile der Zahnköpfe und/oder Zahnfüße von beiden Verzahnungen (1a, 2i) je von oder aus den Ortskurven von Punkten an dem Umfang von Rollkreisen gebildet werden, deren Radien sich von dem Scheitelbereich zu den beiden Flankenbereichen der Zahnköpfe und/oder Zahnfüße stetig ändern.
 14. Zahnringmaschine nach einem der vorhergehenden

den Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die auf dem zugehörigen Wälzkreis gemessene Umfangserstreckung der Zahnücken der Außenverzahnung (1a) und Zähne der Innenverzahnung (2i) das 1.5 bis 3-fache der auf dem zugehörigen Wälzkreis gemessenen Umfangserstreckung der Zähne der Außenverzahnung (1a) und Zahnücken der Innenverzahnung (2i) beträgt.

5

15. Zahnringmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die auf dem zugehörigen Wälzkreis gemessene Umfangserstreckung der Zähne der Außenverzahnung (1a) und Zahnücken der Innenverzahnung (2i) das 1.5 bis 3-fache der auf dem zugehörigen Wälzkreis gemessenen Umfangserstreckung der Zahnücken der Außenverzahnung (1a) und Zähne der Innenverzahnung (2i) beträgt.

10

15

16. Zahnringmaschine nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** in den Zahnfüßen von wenigstens einer der Verzahnungen (1a, 2i) Einbuchtungen (8) für Quetschfluid vorgesehen sind.

20

25

17. Zahnringmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eines der Zahnräder (1, 2), vorzugsweise das äußere Zahnrad (2), für einen Motorbetrieb einen relativ zu dem Gehäuse (3) nicht drehbaren Stator bildet.

30

18. Zahnradsatz für eine Zahnringmaschine der Verdrängerbauart, vorzugsweise eine Zahnringmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der Zahnradsatz umfassend:

35

a) ein inneres Zahnrad (1) mit einer Außenverzahnung (1a),

b) ein äußeres Zahnrad (2) mit einer Innenverzahnung (2i), die wenigstens einen Zahn mehr aufweist als die Außenverzahnung (1a) und mit der Außenverzahnung (1a) in einem kämmenden Zahneingriff der Verzahnungen (1a, 2i), in dem eine Drehachse (D_1) des einen der Zahnräder (1, 2) zu einer Wälzkreisachse (D_2) des anderen der Zahnräder (1, 2) exzentrisch ist, expandierende und komprimierende Zellen bildet,

45

c) wobei die Zahnköpfe oder die Zahnfüße von wenigstens einer der Verzahnungen (1a, 2i) ein von einer Zykloide abgeleitetes Profil aufweisen, das durch Abrollen eines Rollkreises an einem Festkreis erzeugbar ist,

50

d) und wobei die miteinander kämmenden Verzahnungen (1a, 2i) ein radiales und ein tangentiales Zahnlaufspiel (P_R , P_T) aufweisen,

55

dadurch gekennzeichnet, dass

e) das tangentiale Zahnlaufspiel (P_T) kleiner ist als das radiale Zahnlaufspiel (P_R)

f) und das Profil der Zahnköpfe oder der Zahnfüße von der wenigstens einen der Verzahnungen (1a, 2i) von oder aus der Ortskurve eines Punktes an dem Umfang eines Rollkreises gebildet wird, dessen Radius sich von den beiden Flankenbereichen zu dem Scheitelpunkt im Falle der Zahnköpfe stetig verkleinert oder im Falle der Zahnfüße entweder stetig vergrößert oder stetig verkleinert.

Fig. 1

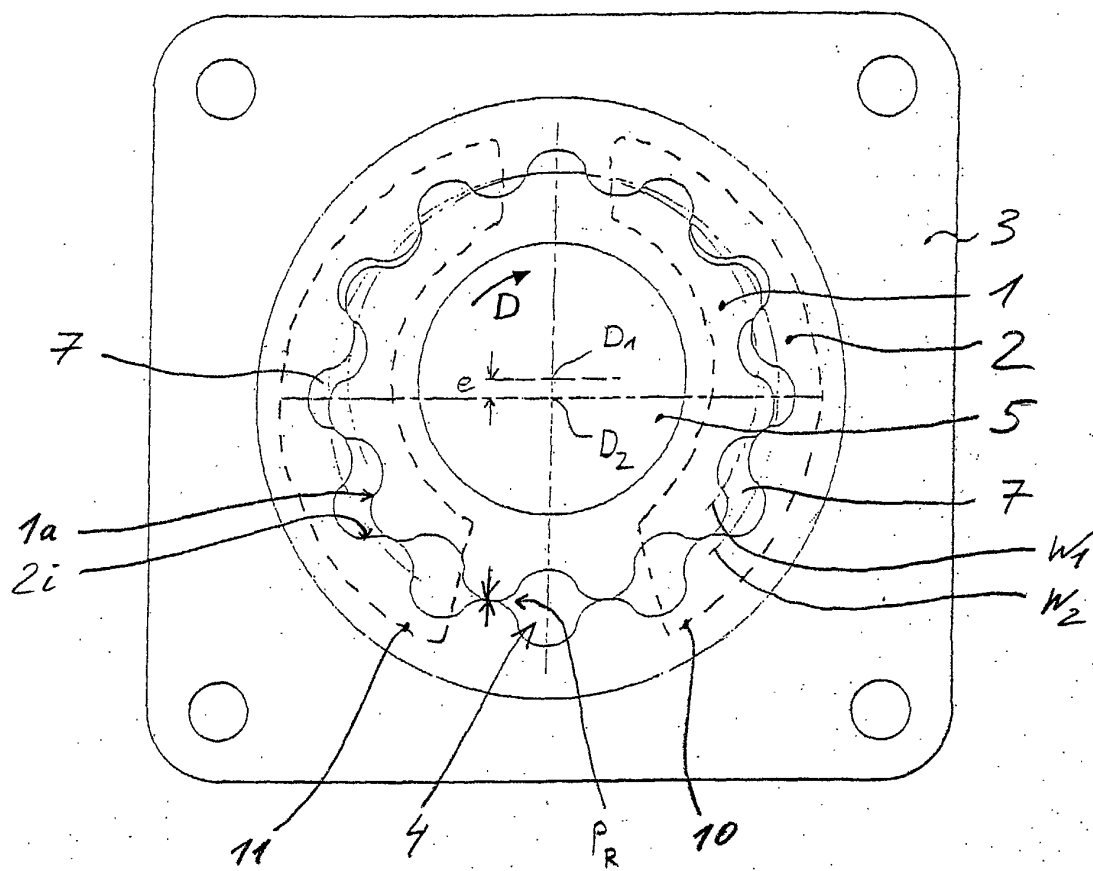
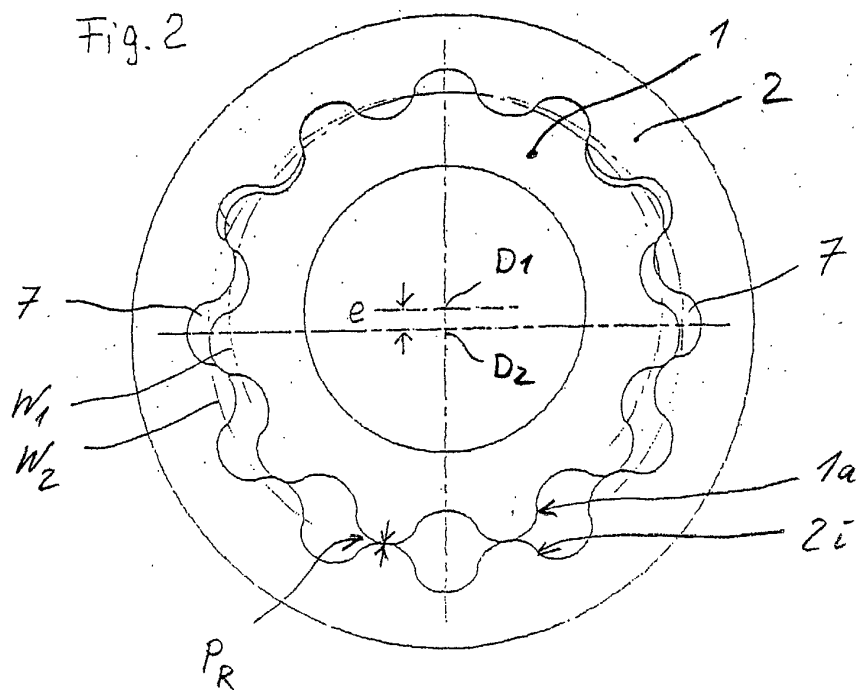
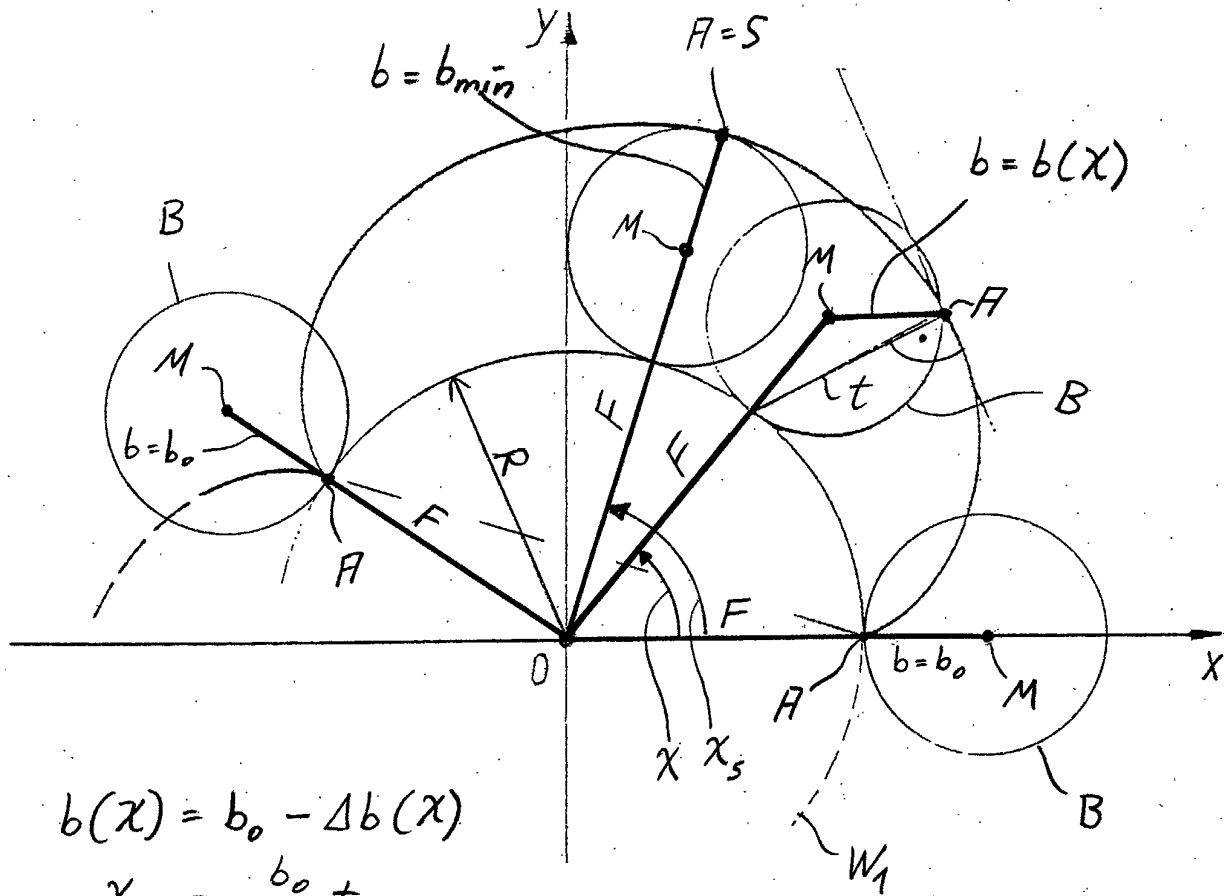


Fig. 2





$$b(\chi) = b_0 - \Delta b(\chi)$$

$$\chi = \frac{b_0}{R} t$$

Fig. 3

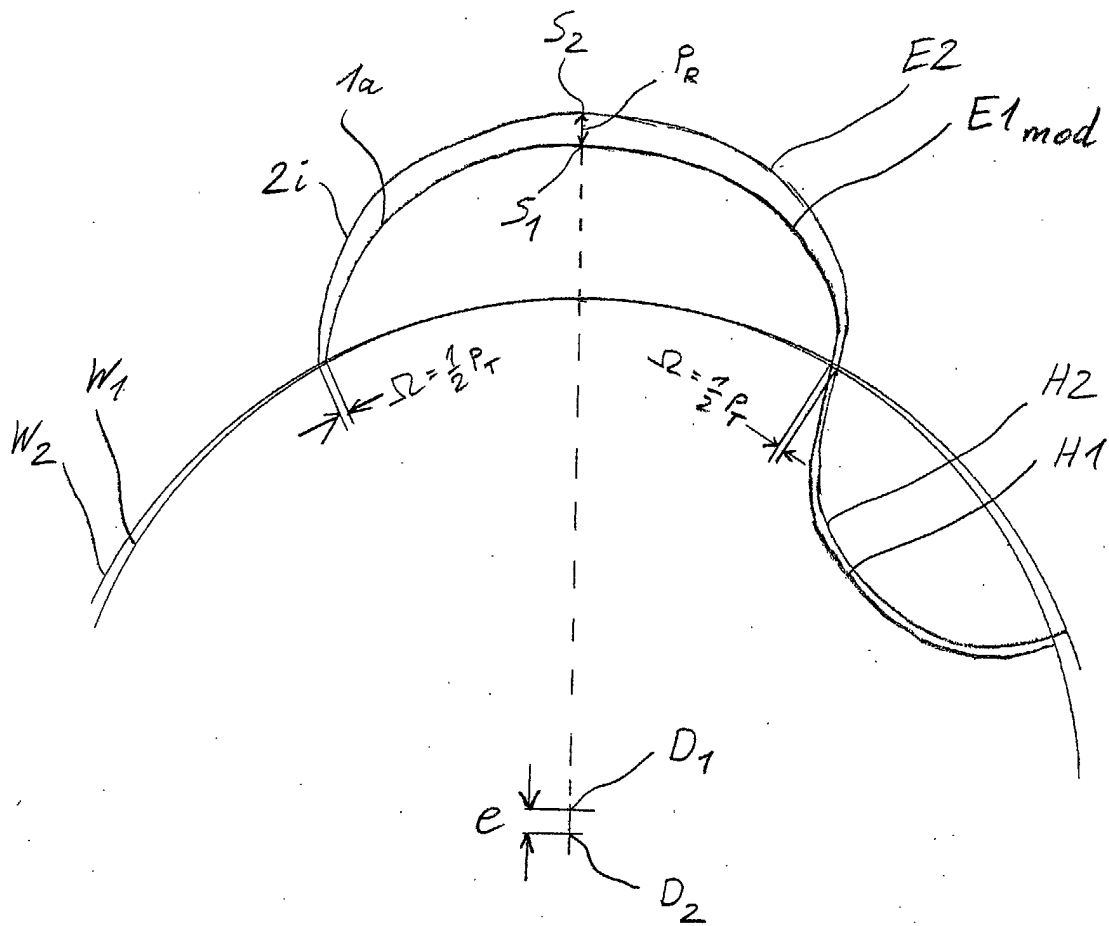


Fig. 4

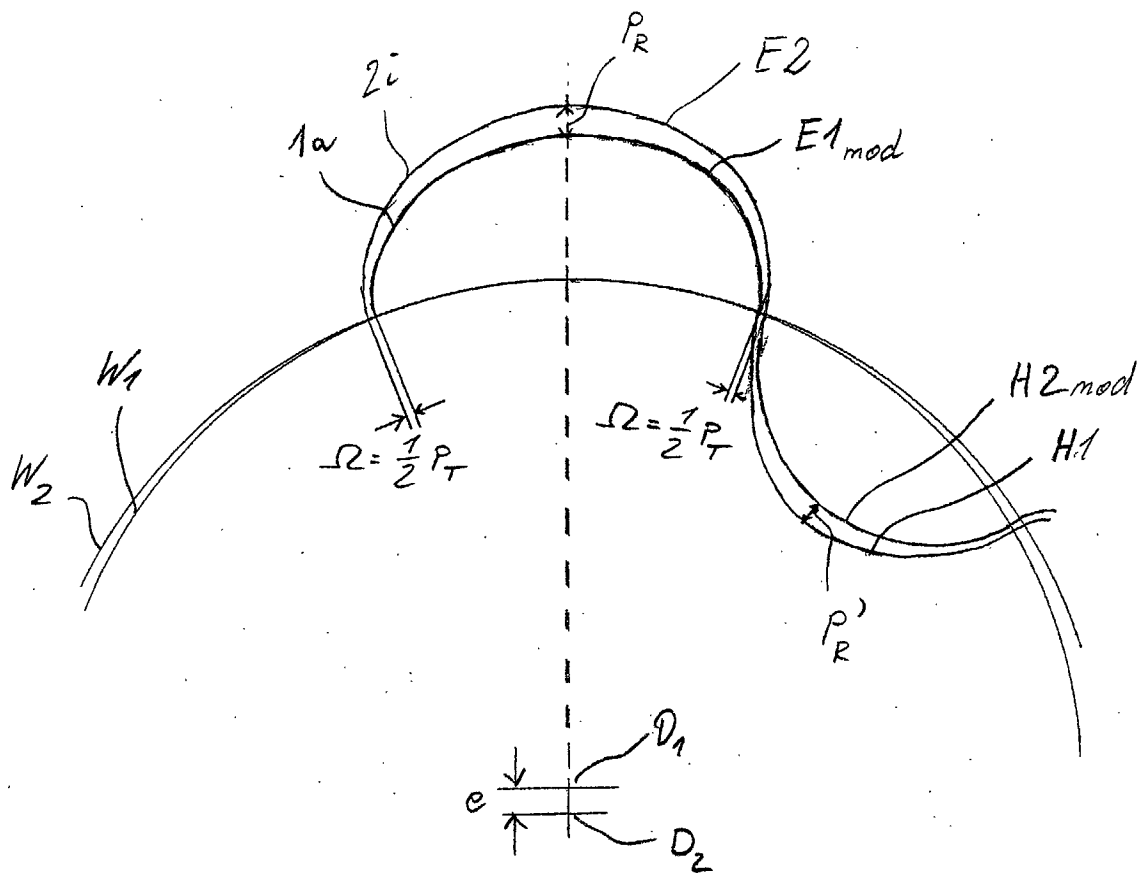


Fig. 5

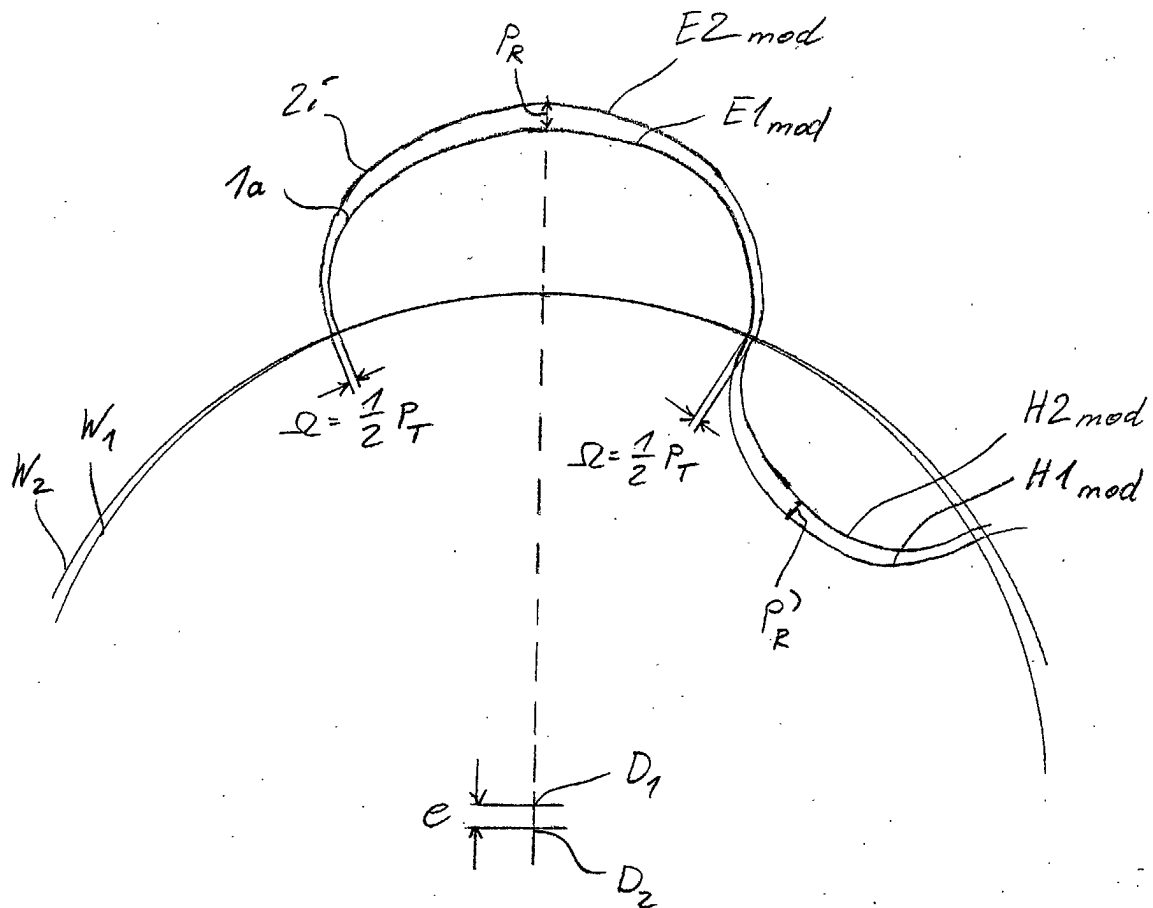


Fig. 6

Fig. 7

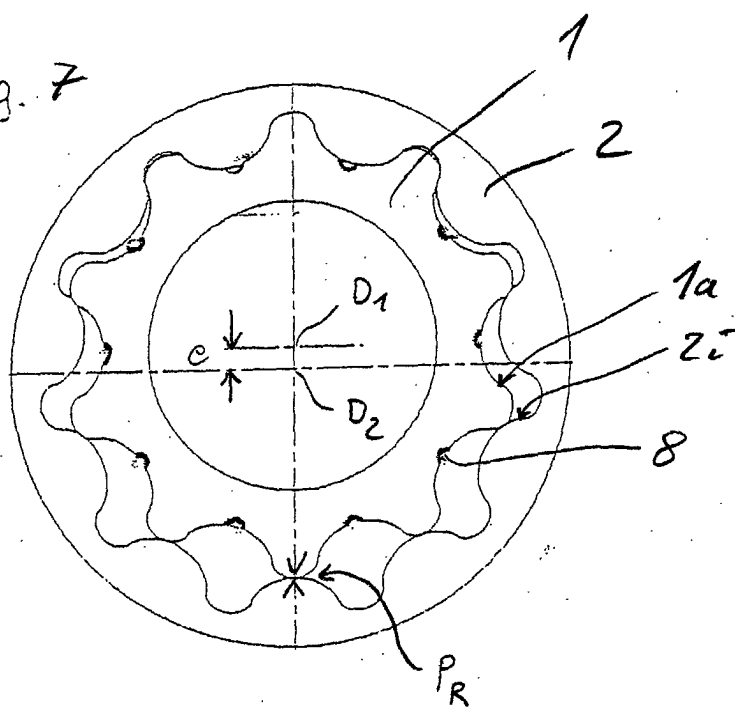


Fig. 8

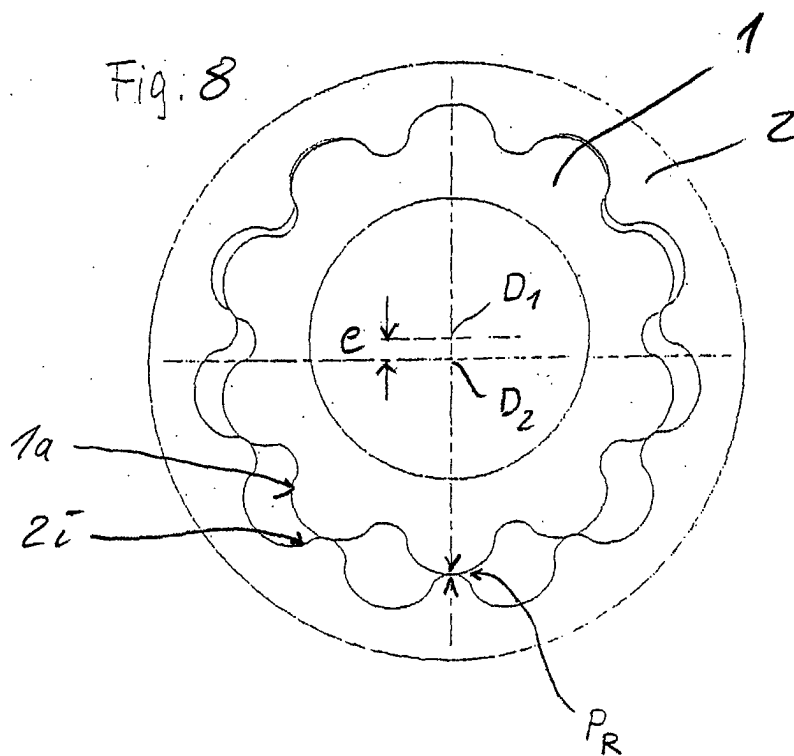


Fig. 9

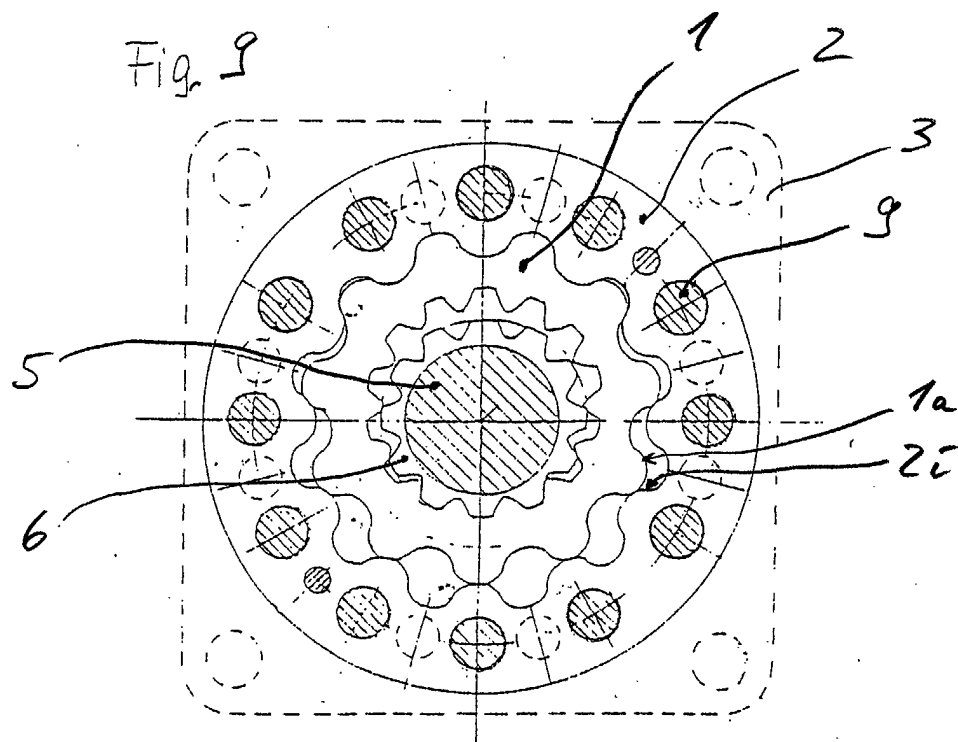
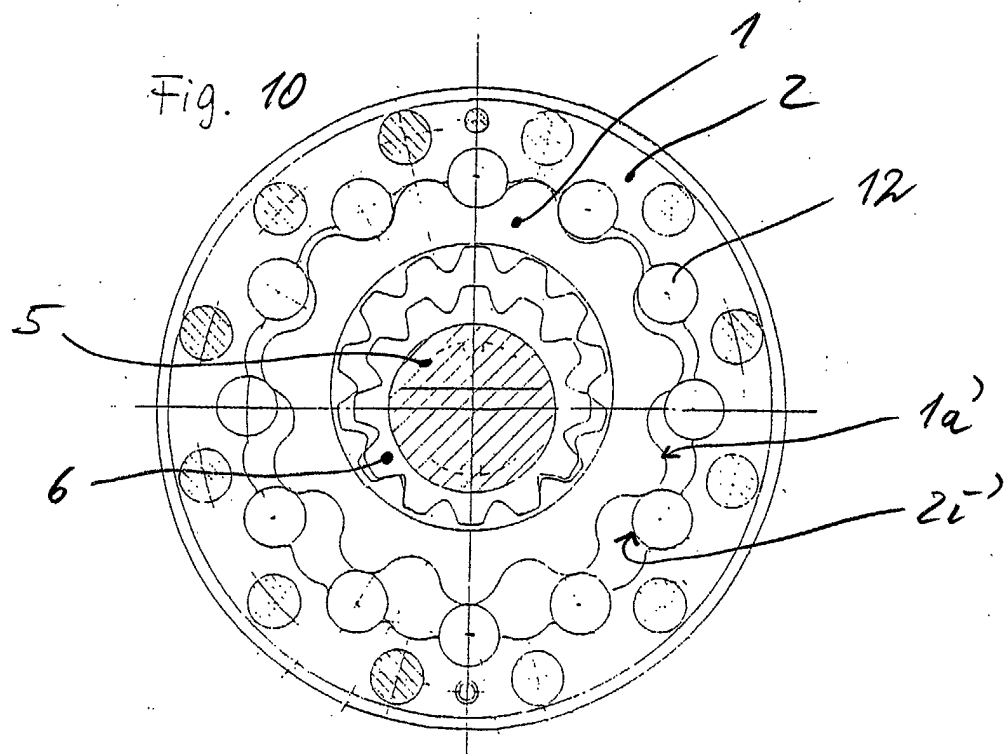


Fig. 10





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 02 00 4344

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
D,A	DE 42 00 883 C (EISENMANN SIGFRIED A.) 15. April 1993 (1993-04-15) * Abbildungen 1,2,3B,5 * * Spalte 5, Zeile 57 - Zeile 64 * * Spalte 11, Zeile 32 - Zeile 35 * * Spalte 8, Zeile 37 - Zeile 61 * * Spalte 9, Zeile 1 - Zeile 8 * * Spalte 9, Zeile 34 - Zeile 35 * * Spalte 10, Zeile 7 - Zeile 12 * ---	1,18	F04C2/08
A	EP 0 173 778 A (HOBURN EATON LTD) 12. März 1986 (1986-03-12) * Abbildungen 1-3 * * Seite 6, Zeile 9 - Zeile 12 * * Seite 7, Zeile 14 - Zeile 22 * ---	1,18	
A	DE 43 11 169 A (DANFOSS AS) 6. Oktober 1994 (1994-10-06) * Spalte 2, Zeile 29 - Zeile 35 * * Spalte 5, Zeile 16 - Zeile 25 * ---	1,18	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 13, 30. November 1998 (1998-11-30) -& JP 10 205458 A (MITSUBISHI MOTORS CORP), 4. August 1998 (1998-08-04) * Zusammenfassung * * Abbildungen 2,3 * ---	1,18	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7) F01C F04C
A	DE 14 26 765 A (OVAL GEAR ENG CO LTD) 28. August 1969 (1969-08-28) * Abbildungen 3A,3B * * Seite 1, Zeile 1 - Zeile 4 * * Seite 5, Zeile 1 - Zeile 18 * ---	1,18	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 3. Juli 2002	Prüfer Lequeux, F
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ----- & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 02 00 4344

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
A	DE 43 11 168 A (DANFOSS AS) 6. Oktober 1994 (1994-10-06) * Spalte 2, Zeile 67 - Spalte 3, Zeile 12 * * Spalte 4, Zeile 19 - Zeile 25 * * Spalte 4, Zeile 61 - Spalte 5, Zeile 14 * -----	1,18	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 3. Juli 2002	Prüfer Lequeux, F
KATEGORIE DER GENANNTE DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03/82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 02 00 4344

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

03-07-2002

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 4200883 C	15-04-1993	DE 4200883 C1	15-04-1993
		DE 59203844 D1	02-11-1995
		EP 0552443 A1	28-07-1993
		JP 2818723 B2	30-10-1998
		JP 5256268 A	05-10-1993
		KR 150804 B1	02-11-1998
		US 5368455 A	29-11-1994
EP 0173778 A	12-03-1986	EP 0173778 A1	12-03-1986
		DE 3481536 D1	12-04-1990
DE 4311169 A	06-10-1994	DE 4311169 A1	06-10-1994
		WO 9423207 A1	13-10-1994
		US 5649815 A	22-07-1997
JP 10205458 A	04-08-1998	KEINE	
DE 1426765 A	28-08-1969	DE 1426765 A1	28-08-1969
		US 3305167 A	21-02-1967
DE 4311168 A	06-10-1994	DE 4311168 A1	06-10-1994
		WO 9423208 A1	13-10-1994
		US 5772419 A	30-06-1998

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82