

(19)



(11)

**EP 3 752 302 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

**26.07.2023 Patentblatt 2023/30**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

**B21H 5/02** <sup>(2006.01)</sup> **B21D 53/28** <sup>(2006.01)</sup>

(21) Anmeldenummer: **19705746.6**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

**B21H 5/025; B21H 5/02; B21D 53/28**

(22) Anmeldetag: **14.02.2019**

(86) Internationale Anmeldenummer:

**PCT/EP2019/053712**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:

**WO 2019/158656 (22.08.2019 Gazette 2019/34)**

(54) **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR HERSTELLUNG DÜNNWANDIGER HOHLRÄDER MIT INNEN- UND AUSSENVERZÄHNUNG**

METHOD AND DEVICE FOR PRODUCING THIN-WALLED RING GEARS HAVING INNER AND OUTER TOOTHING

PROCÉDÉ ET DISPOSITIF DE PRODUCTION DE COURONNES À PAROIS MINCES COMPORTANT UNE DENTURE INTÉRIEURE ET EXTÉRIEURE

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO  
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(56) Entgegenhaltungen:

**EP-A1- 3 248 708 WO-A1-2013/159241  
CN-A- 102 500 690 DE-A1- 2 549 230  
DE-B3-102008 017 608 JP-A- H08 174 125  
JP-A- 2001 058 236 US-A1- 2018 036 791**

(30) Priorität: **16.02.2018 CH 1932018**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

**23.12.2020 Patentblatt 2020/52**

(73) Patentinhaber: **Ernst Grob AG**

**8708 Maennedorf (CH)**

- "FORMAGE : ROULAGE-LAMINAGE DE DENTURES", MACHINES PRODUCTION, SOFETEC. BOULOGNE/SEINE, FR, Nr. 553, 27. März 1991 (1991-03-27), Seite 77,79,81, XP000204634, ISSN: 0047-536X
- KRAPPENBAUER H: "NEUE KALTWALZVERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VERZÄHNTER HOHLTEILE", F & M. FEINWERKTECHNIK MIKROTECHNIK MESSTECHNIK, HANSER, MÜNCHEN, DE, Bd. 102, Nr. 9, 1. September 1994 (1994-09-01), Seiten S21-23, XP000465928, ISSN: 0944-1018
- KRAPPENBAUER H: "PLATZ SPARENDES KOMBIKALTWALZEN", WERKSTATT + BETRIEB, CARL HANSER VERLAG, MÜNCHEN DE, Bd. 133, Nr. 9, 1. September 2000 (2000-09-01), Seite 125/126, XP000966774, ISSN: 0043-2792

(72) Erfinder: **RUH, Fabian**  
**8636 Wald (CH)**

(74) Vertreter: **Frei Patent Attorneys**  
**Frei Patentanwaltsbüro AG**  
**Postfach**  
**8032 Zürich (CH)**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

**EP 3 752 302 B1**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Erzeugung von Laufradverzahnungen in Hohlradern und genauer auf entsprechende Innenverzahnungen. Laufradverzahnungen und insbesondere Evolventenverzahnungen finden Anwendung in Zahnradgetrieben und insbesondere in Planetengetrieben, zum Beispiel in solchen von Automatikgetrieben für Automobile, aber auch in anderen Bereichen des Fahrzeugbaus und des Maschinenbaus.

**[0002]** Innenliegende Laufradverzahnungen werden heute vor allem durch spanabhebende Verfahren erzeugt, insbesondere durch Räumen.

**[0003]** Räumen wird auch zur Erzeugung von Zahnna benprofilen wie Innenverzahnungen nach DIN 5480, DIN 5482, usw. eingesetzt.

**[0004]** Wenn durch Räumen topfförmig ausgebildete Werkstücke mit einer Laufradverzahnung erstellt werden sollen, muss zunächst in einem der Topfwandung entsprechenden Teil die Laufradverzahnung erstellt und danach dieser Teil mit einem Topfbodenteil verbunden werden, beispielsweise durch Laser- oder Elektronenstrahlschweissen.

**[0005]** Wenn in einem topfförmig ausgebildeten Werkstück eine Laufradverzahnung spanabhebend erzeugt werden soll, kommt das Stossen zur Anwendung, welches gegenüber dem Räumen jedoch eine geringere Wirtschaftlichkeit aufweist.

**[0006]** Für mechanisch wenig belastete Teile ist das Herstellen von innenverzahnnten Hohlradern durch Sintern eine Alternative, die es ausserdem erlaubt, topfförmig ausgebildete Hohlräder einstückig auszubilden, ohne dass ein anschliessender Verbindungsschritt für Topfboden und Wandung durchgeführt werden müsste.

**[0007]** Ein alternatives, auf Kaltumformen basierendes Verfahren zum Erstellen von innenliegenden Laufradverzahnungen ist aus WO 2013/159 241 A1 bekannt. Dort ist beschrieben, wie durch radial hämmerndes Bearbeiten eines dickwandigen Werkstücks von innen mittels eines Prägwerkzeugs eine innenliegende Laufradverzahnung in dem Werkstück erzeugt werden kann.

**[0008]** Aus dem Stand der Technik sind allem Anschein nach ausschliesslich dickwandige Hohlräder bekannt. Dadurch wird eine hohe Formstabilität des Hohlrades erreicht, wenn es, beispielsweise in einem Planetengetriebe, zum Einsatz kommt. Allerdings resultiert daraus auch ein relativ hohes Gewicht des Hohlrades. Ausssen behält ein solches Hohlrad in seinem innenverzahnnten Bereich meist die Form, die es schon als unverzahnter Rohling hatte, so dass bei zylinderverzahnnten Hohlradern, die ausgehend von entsprechend zylinderröhrenförmigen Rohlingen gefertigt werden, meist auch das mit der Innenverzahnung versehene Hohlrad aussen eine Zylindermantelfläche aufweist. Deren Durchmesser ist um das Doppelte der Restwandstärke der Innenverzahnung grösser als der Fusskreisdurchmesser der Innenverzahnung. Die Restwandstärke eines solchen dick-

wandigen Hohlrades ist mindestens 0.25 mal so gross bzw. in der Regel eher mindestens 0.5 mal so gross wie die Verzahnungstiefe der Innenverzahnung. Trotz des Jahrzehnten bestehenden allgemeinen Bedürfnisses nach Leichtbaukomponenten, vor allem auch im Fahrzeugbau scheint die Idee, ein laufradverzahnntes Hohlrad als ein Leichtbau-Teil auszuführen, noch nicht aufgenommen zu sein oder zumindest nicht realisiert worden zu sein. Natürlich kann beim Gewicht eines Hohlrades gespart werden, wenn sehr geringe Restwandstärken gewählt werden, beispielsweise wie im Falle der zuvor genannten Restwandstärke im Bereich zwischen 0.25 mal und 0.5 mal die Verzahnungstiefe. Allerdings sind der Restwandstärke nach unten Grenzen gesetzt durch Fertigungstauglichkeit und auch durch die im Einsatz erforderliche Formstabilität.

**[0009]** Aus einem anderen technischen Gebiet, nämlich der Erstellung von Steckverzahnungen, sind weitere kaltumformende Fertigungsverfahren bekannt. Beispielsweise können Steckverzahnungen (auch als "Passverzahnungen" bekannt) kaltumformend erstellt werden, indem in ein hohlzylindrisches Werkstück ein aussenprofiliertes Dorn eingebracht wird und dann eine der Profilierung des Dornes entsprechende Innenprofilierung des Werkstückes dadurch erzeugt wird, dass das Werkstück von aussen durch Schlagwalzen mittels planetenartig angetriebener und periodisch auf das Werkstück einwirkender unprofiliertes Werkzeuge bearbeitet wird. Solche Verfahren sind beispielsweise aus DE 37 15 393 C2, CH 670 970 A5, CH 675 840 A5, CH 685 542 A5 und EP 0 688 617 B1 bekannt.

**[0010]** Eine Erstellung von innenliegenden Laufradverzahnungen durch Kaltumformung ist allerdings nur schwer zu realisieren, da Laufradverzahnungen, zumindest im Vergleich mit Steckverzahnungen wesentlich grössere Zahnhöhen aufweisen und ausserdem im allgemeinen höhere Genauigkeitsanforderungen an die Zahnform stellen.

**[0011]** Ein Verfahren zum Erstellen einer Innen- und Aussenprofilierung in dünnwandigen zylindrischen Hohlteilen ist in WO 2007/009267 A1 beschrieben. Das dünnwandige Hohlteil sitzt auf einem aussenprofilierten Dorn und wird durch mindestens ein von aussen auf das Hohlteil schlagartig einwirkendes Profilierungswerkzeug kaltumformend bearbeitet. Dabei wird das Profilierungswerkzeug senkrecht zur Oberfläche, also radial, bewegt und das Hohlteil relativ gegenüber dem Profilierungswerkzeug bei gleichbleibender radialer Zustelltiefe axial verschoben. Durch dieses Verfahren kann die durch den Dorn vorgegebene Profilierung auf die Innenverzahnung des dünnwandigen Hohlteils übertragen werden, und eine durch das Profilierungswerkzeug vorgegebene Form kann auf die Aussenverzahnung des dünnwandigen Hohlteils übertragen werden. Zur Erstellung von Steckverzahnungen ist das Verfahren sehr gut geeignet, aber zur Erstellung einer innenliegenden Laufradverzahnung ist es völlig ungeeignet, da es nur bei dünnwandigen Blechteilen angewendet werden kann, wodurch we-

der eine für Laufradverzahnungen ausreichende Fertigungsgenauigkeit noch eine ausreichende Belastbarkeit im Einsatz erreichbar ist.

**[0012]** Es ist eine Aufgabe der Erfindung, ein alternatives Verfahren zu schaffen, durch das eine innenliegende Laufradverzahnung erzeugbar ist. Weiter soll eine entsprechende Vorrichtung zur Erzeugung entsprechender Hohlräder geschaffen werden. Und damit einhergehend soll eine Verwendung der Vorrichtung geschaffen werden.

**[0013]** Insbesondere ist es eine Aufgabe der Erfindung, Verfahren und Vorrichtungen zu schaffen, welche die Nachteile der Verfahren und Vorrichtungen des Standes der Technik nicht aufweisen.

**[0014]** Der Erfinder hat erkannt, dass Bemühungen um Leichtbau auch Hohlräder betreffen können, die mit einer Innenverzahnung versehen sind, bei der es sich um eine Laufradverzahnung handelt. Und darüber hinaus hat er eine Möglichkeit entwickelt, solche Hohlräder wirtschaftlich und dennoch mit hoher Genauigkeit herzustellen.

**[0015]** Und ausserdem ergeben sich aus der erfinderischen Idee Bauteile und Anwendungen, die mit aus dem Stand der Technik bekannten Hohlradern nicht durchführbar sind oder sich nur mit relativ grossem Aufwand und somit vermutlich nicht wirtschaftlich umsetzen bzw. herstellen lassen.

**[0016]** Das mit dem erfindungsgemässen Verfahren hergestellte Hohlrad weist nicht nur eine Innenverzahnung auf, die eine Laufradverzahnung ist, sondern auch noch eine Aussenverzahnung.

**[0017]** Dadurch kann einerseits eine solche Restwandstärke (die ja im Bereich eines Zahnfusses der Innenverzahnung gemessen wird) vorgesehen werden, die ausreichend ist für den geplanten Einsatz des Hohlrades, aber andererseits kann im Bereich der Zahnköpfe der Innenverzahnung eine Materialstärke des Hohlrades vorgesehen sein, die deutlich geringer ist, als es der Fall wäre, wenn das Hohlrad aussen die Form einer (unverzahnten) Zylindermantelfläche beschriebe. Dort, im Bereich der Zahnköpfe der Innenverzahnung, hat das Hohlrad also eine gegenüber den aus dem Stand der Technik bekannten innen laufradverzahnten und aussen rotations-symmetrischen, unprofilierten Hohlradern deutlich verringerte Materialstärke, so dass das Gewicht des Hohlrades deutlich verringert ist. Und dennoch kann eine Formstabilität erreichbar sein, die für einen geplanten Einsatz ausreichend ist.

**[0018]** Ausserdem ist die Aussenverzahnung nutzbar, beispielsweise um damit einen weiteren Körper verdrehsicher mit dem Hohlrad zu verbinden.

**[0019]** Mittels der oben genannten bekannten Sinterverfahren könnten Hohlräder hergestellt werden, die sowohl eine Innenverzahnung (als Laufradverzahnung) als auch eine Aussenverzahnung aufweisen. Auch in dem Fall kann das Hohlrad eine relativ geringe Masse aufweisen. Aber für Anwendungen, in denen das Hohlrad grösseren mechanischen Belastungen ausgesetzt ist, dürften diese ungeeignet sein.

**[0020]** Ferner ist davon auszugehen, dass ein Herstellen eines innen und aussen verzahnten Hohlrades mittels spanabhebender Verfahren wenig wirtschaftlich ist, da nicht nur die innenliegende Laufradverzahnung, sondern zusätzlich noch die Aussenverzahnung spanabhebend erstellt werden muss, was in erster Näherung einen verdoppelten Fertigungsaufwand bedeutet.

**[0021]** Und auch das aus WO 2013/159 241 A1 bekannte Kaltumformverfahren regt nicht dazu an, zu der vorliegenden Erfindung weiterentwickelt zu werden.

**[0022]** Ein das Herstellungsverfahren und die Vorrichtung zur Herstellung betreffender Aspekt der Erfindung ist, dass es zum Erreichen einer ausreichend grossen Genauigkeit, wie sie für Laufradverzahnungen nötig ist, eine Stabilisierung des Werkstücks während des Herstellungsprozesses braucht. Wenn mit dem hierin beschriebenen Verfahren kaltumformend hämmern auf ein Werkstück eingewirkt wird, kann dies zu unerwünschten Verformungen führen, zum Beispiel zu Abweichungen von der Zylindersymmetrie, was wiederum zu nicht ausreichend genau ausgebildeten Flankenformen der Laufradverzahnung führen kann.

**[0023]** Entsprechend ist mindestens ein Stabilisierungsabschnitt vorgesehen, der derartigen Problemen entgegenwirkt.

**[0024]** Noch ein weiterer das Herstellungsverfahren und die Vorrichtung zur Herstellung betreffender Aspekt der Erfindung ist, dass eine Matrize verwendet wird, die eine innenliegende Matrizenverzahnung aufweist, so dass ein Werkstück, das zu dem Hohlrad umgeformt werden soll, derart umgeformt wird, dass gleichzeitig eine Laufradverzahnung als Innenverzahnung und eine weitere Verzahnung als Aussenverzahnung entstehen. Durch ein hämmern des Bearbeiten des Werkstücks von innen mittels eines Prägwerkzeuges wird dort, wo das Prägwerkzeug (mit seinem vorstehenden Wirkungsbereich) zum Eingriff kommt, eine Zahnücke der Innenverzahnung erzeugt, und gleichzeitig wird dort (also an der gleichen Umfangsposition) ein Zahn der Aussenverzahnung erzeugt, nämlich indem das Material des Werkstücks mittels des Prägwerkzeugs in eine Zahnücke der Matrizenverzahnung getrieben wird. Durch die angrenzenden Zahnköpfe der Matrizenverzahnung hingegen wird ein radial nach aussen gerichteter Materialfluss unterbunden, so dass sich dort die Zahnfüsse der Aussenverzahnung ausbilden können.

**[0025]** Für eine gut definierte Ausbildung der Zahnköpfe der Innenverzahnung kann das Prägwerkzeug Kalibrierbereiche aufweisen, die gleichzeitig einen Materialfluss radial nach innen begrenzen, so dass ein neben einer Zahnücke der Innenverzahnung ausbildender Zahnkopf radial nicht zu weit nach innen ragt.

**[0026]** Die Umfangspositionen der Zähne der Innenverzahnung und der Zahnücken der Aussenverzahnung sind gleich. Und die Umfangspositionen der Zahnücken der Innenverzahnung und der Zähne der Aussenverzahnung sind ebenfalls gleich. Typischerweise hat die (als Laufradverzahnung ausgebildete) Innenverzahnung ei-

ne grössere Verzahnungstiefe als die Aussenverzahnung. Die Verzahnungstiefe einer Verzahnung ist definiert als die Hälfte der Differenz zwischen Kopfkreisdurchmesser und Fusskreisdurchmesser der Verzahnung. Sie ergibt sich auch als Summe von Kopfhöhe und Fusshöhe der Verzahnung.

**[0027]** Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist das Herstellen von Hohlrädern mit besonders geringem Gewicht.

**[0028]** Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, Hohlräder fertigen zu können, die eine innenliegende Laufradverzahnung von hoher Qualität aufweisen.

**[0029]** Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, eine sehr wirtschaftliche Fertigungsweise für Hohlräder mit einer innenliegenden Laufradverzahnung bereitzustellen und insbesondere, kurze Bearbeitungszeiten zu erreichen.

**[0030]** Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, eine Möglichkeit zu schaffen, innenliegende Laufradverzahnungen mit grossen Verzahnungstiefen zu erzeugen. Laufradverzahnungen mit schlanken Zähnen sollen in Hohlrädern erzeugbar sein.

**[0031]** Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, eine Möglichkeit zu schaffen, innenliegende Laufradverzahnungen in topfförmig ausgebildeten Hohlrädern zu erzeugen, insbesondere unter Sicherstellung einer präzisen Ausrichtung des Topfbodens gegenüber der Verzahnung.

**[0032]** Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, eine Möglichkeit zu schaffen, innenliegende Laufrad-Schrägverzahnungen zu erzeugen.

**[0033]** Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, eine Möglichkeit zu schaffen, innenliegende Laufrad-Pfeilverzahnungen zu erzeugen.

**[0034]** Mindestens eine dieser Aufgaben wird zumindest teilweise durch , Verfahren und Vorrichtung gemäss den unabhängigen Patentansprüchen gelöst.

**[0035]** Das Verfahren ist ein Verfahren zur Herstellung eines Hohlrades, das eine Innenverzahnung und eine Aussenverzahnung aufweist, wobei die Innenverzahnung eine Laufradverzahnung ist, und wobei ein Werkstück durch mindestens ein Prägewerkzeug bearbeitet wird.

**[0036]** Das Werkstück weist einen rohrförmigen Abschnitt mit einer Längsachse auf.

**[0037]** Dieser kann einen runden (kreisförmigen) Querschnitt aufweisen. Entsprechend kann der rohrförmige Abschnitt Zylindersymmetrie aufweisen und insbesondere zylinderrohrförmig sein.

**[0038]** Zusätzlich weist das Werkstück noch mindestens einen mit dem rohrförmigen Abschnitt verbundenen ersten Stabilisierungsabschnitt auf. Dieser dient der Formstabilisierung des rohrförmigen Abschnitts während der Bearbeitung durch das mindestens eine Prägewerkzeug .

**[0039]** Beispielsweise können Verformungen, die aus einem kreisförmigen Querschnitt des rohrförmigen Abschnitts einen ovalen Querschnitt machen würden, verhindert werden. Der erste Stabilisierungsabschnitt kann

direkt mit dem rohrförmigen Abschnitt verbunden sein, also direkt an diesen anschliessen. Der rohrförmige Abschnitt kann aber auch indirekt, nämlich über einen Übergangsbereich, mit dem rohrförmigen Abschnitt verbunden sein.

**[0040]** Weiter wird eine Matrize bereitgestellt, die eine rohrförmige Öffnung aufweist, in welcher eine innenliegende Matrizenverzahnung ausgebildet ist. Die rohrförmige Öffnung ist zur Aufnahme des rohrförmigen Abschnitts vorgesehen.

**[0041]** Sie kann dieselbe Anzahl Zähne aufweisen wie die zu erzeugenden Verzahnungen, also wie die Innenverzahnung und wie die Aussenverzahnung.

**[0042]** Der rohrförmige Abschnitt wird in die rohrförmige Öffnung eingebracht, und anschliessend wird das Werkstück an der Innenseite des rohrförmigen Abschnittes durch das mindestens eine Prägewerkzeug bearbeitet. Und zwar, so dass gleichzeitig die Innenverzahnung und die Aussenverzahnung erzeugt wird.

**[0043]** Dazu führt das Werkstück eine Rotationsbewegung mit zeitlich variierender Rotationsgeschwindigkeit um die genannte Längsachse durch; beispielsweise eine intermittierende Rotation. Insbesondere können das Werkstück und die Matrize die genannte Rotationsbewegung (gemeinsam) durchführen. Und das mindestens eine Prägewerkzeug führt radial oszillierende Bewegungen durch, die mit der genannten Rotationsbewegung synchronisiert sind. Dabei kennzeichnet der Begriff "radial" Ausrichtungen senkrecht zu der Längsachse. Der Begriff "axial" kennzeichnet Ausrichtungen parallel zu der Längsachse.

**[0044]** Die genannte Synchronisation ist so ausgestaltet, dass das mindestens eine Prägewerkzeug den rohrförmigen Abschnitt zum Erzeugen der Aussenverzahnung bei gleichzeitigem Erzeugen der Innenverzahnung durch wiederholtes hämmern des Bearbeiten des rohrförmigen Abschnitts in die Matrizenverzahnung einformt.

**[0045]** So kann also vorgesehen sein, dass - jeweils zum Zeitpunkt eines hämmern des Eingriffs des mindestens einen Prägewerkzeugs in das Werkstück - die Matrize eine solche Drehausrichtung hat, dass an der Umfangsposition, an welcher der Eingriff des Prägewerkzeuges stattfindet, eine Zahnücke der Matrizenverzahnung vorhanden ist.

**[0046]** Und dies kann für jede Zahnücke des Matrizenverzahnung vorgesehen sein, und zwar insbesondere so, dass das Prägewerkzeug den rohrförmigen Abschnitt an jeder der beschriebenen Umfangspositionen mehrmals in der beschriebenen Weise bearbeitet.

**[0047]** Das Verfahren ermöglicht es, Laufradverzahnungen der Qualität 8 oder 7 oder unter Umständen auch 6 nach DIN 3961 / DIN 3962 zu erzeugen. Und dies auf sehr wirtschaftliche Weise, beispielsweise weil sehr kurze Bearbeitungszeiten ermöglicht werden.

**[0048]** Und weiter kann von relativ preisgünstigem Material ausgegangen werden, denn durch das beschriebene Kaltumformen werden die Materialeigenschaften verbessert. Beispielsweise kann das Material eine höhe-

re Festigkeit erhalten.

**[0049]** Das Prägwerkzeug kann den rohrförmigen Abschnitt wiederholt an solchen Umfangspositionen bearbeiten, an denen die innenliegende Matrizenverzahnung Zahnلücken aufweist. Dadurch kann der rohrförmige Abschnitt sukzessive in die innenliegende Matrizenverzahnung eingeformt werden. So können Zähne der Aussenverzahnung und Zahnلücken der Innenverzahnung an den genannten Umfangspositionen (wo die innenliegende Matrizenverzahnung Zahnلücken aufweist) ausgebildet werden. Und gleichzeitig können Zahnلücken der Aussenverzahnung und Zähne der Innenverzahnung ausgebildet werden, und zwar an dazwischenliegenden Umfangspositionen, an denen die innenliegende Matrizenverzahnung Zähne aufweist.

**[0050]** Die zeitlich variierende Rotationsgeschwindigkeit des Werkstücks bildet aufeinanderfolgende Phasen relativ höherer Rotationsgeschwindigkeit und relativ geringerer Rotationsgeschwindigkeit, wobei insbesondere vorgesehen werden kann, dass das Werkstück in den Phasen der relativ geringeren Rotationsgeschwindigkeit zumindest momentan zum (Rotations-) Stillstand kommt (Rotationsstillstand hat auch eine Rotationsgeschwindigkeit, nämlich null). Die Bearbeitung des Werkstückes durch ein Prägwerkzeug findet normalerweise jeweils während einer der Phasen relativ geringerer Rotationsgeschwindigkeit statt. Je langsamer das Werkstück während des Eingriffs des jeweiligen Prägwerkzeuges rotiert bzw. je länger das Werkstück in den Phasen relativ geringerer Rotationsgeschwindigkeit langsam rotiert oder stillsteht, desto besser kann eine hohe Präzision der letztlich erzeugten Laufradverzahnung erreicht werden.

**[0051]** Zum Beispiel kann das Prägwerkzeug das Werkstück in solchen Phasen der Rotationsbewegung bearbeiten, in denen das Werkstück zumindest momentan stillsteht. Insbesondere kann die Rotationsbewegung des Werkstücks eine intermittierende Rotation sein, und das Prägwerkzeug bearbeitet das Werkstück in Phasen des Rotationsstillstandes des Werkstückes. Das Prägwerkzeug ist dann also in Phasen des Stillstandes der intermittierenden Werkstückrotation mit dem Werkstück in Eingriff. Es ist zu bemerken, dass eine intermittierende Rotation beinhaltet, dass zwischen Phasen der Rotation Phasen des Rotationsstillstandes vorgesehen sind, wobei Phasen Zeitdauern kennzeichnen, wodurch sich Stillstandsphasen von momentanem Stillstand unterscheiden. Normalerweise ist dann vorgesehen, dass innerhalb der Zeiten des Rotationsstillstandes das Werkstück umgeformt wird, und dass während der Rotation des Werkstückes das Prägwerkzeug so weit vom Werkstück entfernt ist (bzw. alle Prägwerkzeuge so weit vom Werkstück entfernt sind), dass sich das Werkstück drehen kann, ohne mit dem (bzw. mit einem) Prägwerkzeug in Kontakt zu kommen oder gar von mit dem (bzw. einem) Prägwerkzeug an der Rotation gehindert zu werden.

**[0052]** Die zeitlich variierende Rotationsgeschwindigkeit

des Werkstücks ist normalerweise eine zumindest abschnittsweise periodisch variierende Rotationsgeschwindigkeit.

**[0053]** Die Rotationsbewegung des Werkstücks wird von der Matrize mit ausgeführt. Zum Beispiel sind Werkstück und Matrize aneinander fixiert, so dass sie dieselbe Rotationsbewegung ausführen.

**[0054]** Werkstück und Matrize sind dabei zueinander zumindest im wesentlichen koaxial ausgerichtet sowie auch (zumindest im wesentlichen) koaxial zu der Längsachse ausgerichtet.

**[0055]** Material des rohrförmigen Abschnitts wird durch das Bearbeiten durch das mindestens eine Prägwerkzeug so umgeformt und in die Zahnلücken der Matrizenverzahnung eingeformt, dass es aussen seine Form an die Form der Zahnköpfe und an die Form von an die Zahnköpfe angrenzenden Abschnitten der Zahnflanken der Matrizenverzahnung anpasst. So entsteht die Aussenverzahnung, mit Flankenformen, die einem Negativ von Flankenformen (oder von Abschnitten von Flankenformen) der Matrizenverzahnung entsprechen und deren Zahnfußform einem Negativ der Zahnkopfform der Matrizenverzahnung entspricht.

**[0056]** Gleichzeitig wird die Innenverzahnung ausgebildet, deren Flankenformen einem Negativ von Flankenformen des Prägwerkzeugs entspricht, und deren Zahnfußform einem Negativ einer Werkzeugkopfform des Prägwerkzeugs entspricht.

**[0057]** Das Werkstück wird durch das Prägwerkzeug hämmernd bearbeitet. Es kann durch die radial oszillierende hämmernde Bewegung des Prägwerkzeuges periodisch bearbeitet werden.

**[0058]** Auf diese Weise können die Innen- und die Aussenverzahnung sukzessive ausgebildet werden. Die Zahnلücken der Innenverzahnung werden mit der Zeit (aufgrund der zunehmenden Anzahl hämmernder Eingriffe pro Zahnلücke der Innenverzahnung) immer tiefer, und gleichzeitig werden die Zähne der Aussenverzahnung immer höher.

**[0059]** Das Prägwerkzeug dient der periodischen Einwirkung auf das Werkstück, so dass die Erzeugung der Verzahnungen in eine Vielzahl von Einzel-Prägevorgängen zerlegt stattfinden kann.

**[0060]** Durch das Ausbilden der Innenverzahnung und der Aussenverzahnung durch das mindestens eine Prägwerkzeug entsteht kein Materialabtrag. Es findet dadurch keine Spanabtragung statt. Der rohrförmige Abschnitt wird durch das Prägwerkzeug lediglich kaltumgeformt. Ein spanabhebendes Nachbearbeiten einer der erzeugten Verzahnungen ist in der Regel nicht nötig.

**[0061]** Eine Querschnittsfläche des rohrförmigen Abschnitts in einer zu der Längsachse senkrecht ausgerichteten Ebene bleibt bei dem Erstellen der Verzahnungen im wesentlichen unverändert, sie ist also vor und nach den Einbringen der Verzahnungen gleich, zumindest innerhalb von 2% oder wenigstens innerhalb von 5%.

**[0062]** Es kann vorgesehen sein, dass das Werkstück nach Erstellen der Verzahnungen durch Wärmeeinwirkung

kung gehärtet wird. Aufgrund der kaltumformenden Bearbeitung mittels des Prägewerkzeuges ist ein Härteverzug, dem ein Hohlrad bei einer Härtung durch Wärme- einwirkung unterliegt, deutlich geringer als bei einem Hohlrad, bei dem die Laufradverzahnung spanabhebend erzeugt wurde.

**[0063]** Das Werkstück ist typischerweise aus Metall beispielsweise aus einem Stahl, zum Beispiel aus legiertem Vergütungsstahl (mit typischerweise mindestens 0.3% Kohlenstoffgehalt), der nachher typischerweise induktiv gehärtet oder lasergehärtet wird, oder aus legiertem Einsatzstahl (mit typischerweise höchstens 0.3% Kohlenstoffgehalt), der nachher typischerweise durch Gasnitrieren oder Nitrokarborieren gehärtet wird.

**[0064]** Die Matrize ist typischerweise aus Metall.

**[0065]** In einer Ausführungsform beträgt vor dem Einbringen des rohrförmigen Abschnitts in die rohrförmige Öffnung eine Materialstärke des Werkstücks in dem rohrförmigen Abschnitt weniger als das Doppelte, insbesondere weniger als das 1.5-fache einer Verzahnungstiefe der Innenverzahnung.

**[0066]** Bei allzu grossen Materialstärken kommt es zu keiner Ausbildung der Aussenverzahnung mehr.

**[0067]** In einer Ausführungsform beträgt vor dem Einbringen des rohrförmigen Abschnitts in die rohrförmige Öffnung eine Materialstärke des Werkstücks in dem rohrförmigen Abschnitt mindestens 0.2 mal, insbesondere mindestens ein Viertel einer Verzahnungstiefe der Innenverzahnung.

**[0068]** Bei allzu geringen Materialstärken hat das Material des rohrförmigen Abschnitts keine ausreichende Stabilität mehr, um in die gewünschte (innen und aussen verzahnte) Form umgeformt zu werden.

**[0069]** In einer Ausführungsform weist das mindestens ein Prägewerkzeug einen Wirkbereich auf, der einen Werkzeugkopf und zwei daran angrenzende Werkzeugflanken aufweist. Durch die Werkzeugflanken wird die Form der Flanken der Innenverzahnung bestimmt. Durch den Werkzeugkopf wird die Form der Zahnfüsse der Innenverzahnung bestimmt.

**[0070]** Entsprechend kann der Wirkbereich eine Form aufweisen, die ein Negativ einer Form einer Zahnücke der Innenverzahnung ist oder genauer: ein Negativ einer Form eines Zahnfusses einschliesslich der angrenzenden Zahnflanken der Innenverzahnung.

**[0071]** Weiter kann das mindestens ein Prägewerkzeug zwei jeweils an eine der zwei Werkzeugflanken angrenzende Kalibrierbereiche aufweisen. Deren Form kann jeweils ein Negativ einer Form eines Abschnittes eines Zahnkopfes der Innenverzahnung sein.

**[0072]** Dadurch ist es möglich, auch die Zahnköpfe der Innenverzahnung in definierter Art formen. Der Materialfluss, der sich aufgrund des hämmerns Bearbeitens ergibt, kann mittels der Kalibrierbereiche entsprechend gelenkt und begrenzt werden.

**[0073]** Durch die Kalibrierbereiche kann die Zahnkopf- form der Innenverzahnung und auch der jeweilige Bereich der Innenverzahnung genau definiert werden, wo

ein Zahnkopf der Innenverzahnung an Zahnflanken der Innenverzahnung angrenzt.

**[0074]** In einer Ausführungsform weist die Innenverzahnung eine Längsballigkeit auf.

**[0075]** In einer Ausführungsform sind die Werkzeugflanken derart geformt, dass die Innenverzahnung eine Längsballigkeit aufweist.

**[0076]** Entsprechend weisen die Werkzeugflanken eine Konkavität auf. Genauer ist dies eine Konkavität relativ zu der Form von Werkzeugflanken, die zur Ausbildung derselben Innenverzahnung ohne Längsballigkeit ausgebildet sind.

**[0077]** Beispielsweise für den Fall, dass die Innenverzahnung eine Geradverzahnung ist, weist das Prägewerkzeug (und genauer: der Wirkbereich des Prägewerkzeuges) in einem durch die Werkzeugflanken verlaufenden Schnitt, der senkrecht zu einer mittig zwischen den Werkzeugflanken verlaufenden Ebene verläuft, an beiden Werkzeugflanken eine Konkavität auf. In dem genannten Schnitt beschreiben beide Werkzeugflanken je eine konkave Linie. Das Prägewerkzeug (und genauer: der Wirkbereich des Prägewerkzeuges) weist in diesem Schnitt eine Taille auf.

**[0078]** Wegen der Konkavität der Werkzeugflanken weist die erzeugte Innenverzahnung eine entsprechende Konvexität auf: die Längsballigkeit.

**[0079]** Relativ zu den aus dem Stand der Technik bekannten dickwandigen Hohlräder (ohne eine entsprechende Aussenverzahnung) sind die hier beschriebenen Hohlräder dünnwandig. Dadurch können grosse mechanische Belastungen bei diesen Hohlradern eher zu elastischen Verformungen führen, als es bei dickwandigen Hohlradern gleicher Restwandstärke der Fall wäre. Für ein besseres Laufverhalten, zum Beispiel für mehr Lauf- ruhe, kann die genannte Längsballigkeit vorgesehen werden. Kantenträger können so vermieden werden; ein gut definierter Kontakt eines in dem Hohlrad laufenden aussenverzahnten Rades, beispielsweise im wesentlichen in der Mitte der durch die Innenverzahnung verzahnten Länge, kann sichergestellt werden.

**[0080]** Das Prägewerkzeug kann in Verlaufsrichtung des Werkzeugkopfes (entsprechend der Verzahnungs- richtung, also der Verlaufsrichtung der Zahnücken der Innenverzahnung) mindestens so lang sein wie, insbesondere sogar länger sein, als die Zahnücken der Lauf- radverzahnung. Dies bezieht sich natürlich auf den Wirk- bereich des Prägewerkzeuges, wo ja das Prägewerk- zeug in das Werkstück eingreift, also mit diesem in (um- formenden) Kontakt kommt. Dies kann dazu beitragen, sicherzustellen, dass die Laufradverzahnung über ihre gesamte Länge mit hoher Präzision erstellt wird. Und das Verfahren kann besonders wirtschaftlich sein. Und es kann vereinfachen, die oben beschriebene Längsballig- keit der Innenverzahnung zu erzeugen, insbesondere nämlich, indem ein Prägewerkzeug verwendet wird und bei jedem der hämmerns Eingriffe über die gesamte Verzahnungslänge der Innenverzahnung mit dem Werk- stück in umformenden Kontakt kommt, das die oben be-

schriebene Konkavität der Werkzeugflanken aufweist.

**[0081]** Es ist möglich, das Verfahren mit den beschriebenen Bearbeitungsschritten so durchzuführen, dass anschließend keine zusätzlichen Schritte zur Kalibrierung oder Nachformung der Laufradverzahnung mehr durchgeführt werden müssen.

**[0082]** In einer Ausführungsform wird in einer Vielzahl von Umläufen der Rotation des Werkstückes durch die (periodische) Bearbeitung des Werkstücks mittels des Prägewerkzeugs eine in Verzahnungsrichtung fortschreitende Ausbildung der Innen- und der Aussenverzahnung bewirkt, bis eine vorgegebene verzahnte Länge erreicht ist. Typischerweise werden in dem Fall das mindestens ein Prägewerkzeug und das Werkstück (während der Rotationsbewegung des Werkstückes und während der radial oszillierenden Prägewerkzeugbewegung) in Axialrichtung relativ zueinander bewegt.

**[0083]** Die Relativbewegung von Werkstück und Prägewerkzeug beschreibt somit beispielsweise eine von der radial oszillierenden Bewegung des genannten Prägewerkzeuges überlagerte schraubenförmige Raumkurve.

**[0084]** Unabhängig davon, ob beispielsweise die Umformung des Werkstücks bei jedem hämmernden Eingriff über die gesamte Verzahnungslänge stattfindet oder ob das Werkstück bei jedem hämmernden Eingriff nur in einem Bereich umgeformt wird, der sich nur entlang eines Bruchteils der Verzahnungslänge erstreckt, ist es möglich, das Verfahren mit einem einzigen Prägewerkzeug durchzuführen oder auch zwei Prägewerkzeuge zu verwenden.

**[0085]** So oder so wird der rohrförmige Abschnitt mit den Verzahnungen, also mit der Innenverzahnung und der Aussenverzahnung, versehen.

**[0086]** In manchen Ausführungsformen ist der mit der Innen- und der Aussenverzahnung versehene Bereich des Werkstücks identisch mit dem rohrförmigen Abschnitt.

**[0087]** In manchen Ausführungsformen gehen die Innen- und die Aussenverzahnung über in eine Restverzahnung in einem Übergangsbereich, der an den rohrförmigen Abschnitt anschliesst. Mehr dazu weiter unten.

**[0088]** Der bereits erwähnte erste Stabilisierungsabschnitt kann mit dem rohrförmigen Abschnitt zusammen einstückig ausgebildet sein. Beispielsweise kann das Werkstück, dessen rohrförmiger Abschnitt in die rohrförmige Öffnung eingebracht wird, ein tiefgezogenes Blechteil sein, zum Beispiel eines aus Stahlblech.

**[0089]** Auch kann der erste Stabilisierungsabschnitt einen Kragen des Hohlrades bilden, insbesondere einen Kragen, der mit dem rohrförmigen Abschnitt zusammen einstückig ausgebildet ist.

**[0090]** Es kann insbesondere auch vorgesehen sein, dass der erste Stabilisierungsabschnitt (oder der genannte Kragen) weder die genannte Innenverzahnung noch die genannte Aussenverzahnung aufweist.

**[0091]** Der Kragen kann ein nicht-verzahrter Kragen sein.

**[0092]** Der Kragen kann auf die Längsachse zu oder von der Längsachse weg gerichtet sein.

**[0093]** So kann der erste Stabilisierungsabschnitt eine Versteifung des Werkstücks bewirken. unerwünschte Verformungen des Werkstücks, insbesondere auch im Bereich der Verzahnungen, können somit drastisch verringert werden, so dass die Umformung mittels des mindestens einen Prägewerkzeuges mit hoher Präzision stattfinden kann. Und ein grundsätzlich kreisrunder Querschnitt des rohrförmigen Abschnitts kann während des Umformens und auch im fertigen Hohlrad erhalten bleiben.

**[0094]** Die Formstabilisierung durch den ersten Stabilisierungsabschnitt ermöglicht es, Verformungen in radiale Richtung, die ungleichmässig über den Umfang sind, zu minimieren. Beispielsweise können unerwünschte Verformungen des rohrförmigen Abschnitts zu einem Oval verhindert oder wenigstens stark reduziert werden.

**[0095]** Weiter kann insbesondere das Vorsehen zweier Stabilisierungsabschnitte, beispielsweise an gegenüberliegenden Enden des rohrförmigen Abschnitts, Verformungen des rohrförmigen Abschnitts verhindern oder stark verringern, die eventuell anderenfalls auftreten und zu einer Konizität des rohrförmigen Abschnitts führen könnten, also zum Beispiel zu einer Veränderung des Durchmessers des rohrförmigen Abschnitts entlang einer Richtung parallel zur Längsachse.

**[0096]** Ein erster Stabilisierungsabschnitt, der am Hohlrad verbleibt, kann auch der Formstabilisierung des rohrförmigen Abschnittes im Einsatz dienen, zum Beispiel einerseits (i) unter Last, wie beispielsweise bei Belastung durch mindestens ein in dem Hohlrad laufendes Planetenrad, und/oder andererseits (ii) zur Stabilisierung gegen Fliehkräfte bei schneller Rotation des Hohlrades.

**[0097]** In manchen Ausführungsformen bildet der erste Stabilisierungsabschnitt einen Stabilisierungskragen.

**[0098]** In manchen Ausführungsformen bildet der erste Stabilisierungsabschnitt eine Stabilisierungsrippe.

**[0099]** In manchen Ausführungsformen ist der erste Stabilisierungsabschnitt auf die Längsachse zu gerichtet. Er kann vom rohrförmigen Abschnitt aus nach innen gerichtet sein. So kann die Ausdehnung des Hohlrades in Längsrichtung klein gehalten werden. Ausserdem kann dies das Entfernen des rohrförmigen Abschnitts aus der Matrize nach Erstellen der Verzahnungen vereinfachen.

**[0100]** Andererseits kann manchen Ausführungsformen der erste Stabilisierungsabschnitt von der Längsachse weg gerichtet sein, zum Beispiel gerichtet ein. Er kann vom rohrförmigen Abschnitt aus nach aussen gerichtet sein. So kann auch bei einer eher geringen radialen Ausdehnung des ersten Stabilisierungsabschnitts eine relativ gute Formstabilisierung erreicht werden. Und der erste Stabilisierungsabschnitt kann so ausgestaltet sein, dass durch ihn der Zugang zum Inneren des Hohlrades nicht behindert wird.

**[0101]** Der erste Stabilisierungsabschnitt (oder der genannte Kragen) kann umlaufend, insbesondere vollständ-

dig umlaufend ausgebildet sein. Er kann vollständig um den Umfang des rohrförmigen Abschnitts umlaufend sein.

**[0102]** Weiter kann der erste Stabilisierungsabschnitt (oder der genannte Kragen) rotationssymmetrisch um die Längsachse sein. Auf diese Weise werden alle radialen Richtungen gleichermaßen stabilisiert.

**[0103]** In manchen Ausführungsformen bildet der erste Stabilisierungsabschnitt eine umlaufende, gegenüber dem rohrförmigen Abschnitt gewinkelte Stirnfläche des Hohlrades. Die Stirnfläche kann beispielsweise in einer Ebene liegen, auf der die Längsachse senkrecht steht. So kann relativ zur Menge des für den ersten Stabilisierungsabschnitt aufgewendeten Materials eine besonders gute Formstabilisierung erreicht werden.

**[0104]** In manchen Ausführungsformen ist das Werkstück in dem ersten Stabilisierungsabschnitt relativ zu dem rohrförmigen Abschnitt aufgeweitet oder verengt oder um mindestens 90° nach innen oder nach aussen gerichtet.

**[0105]** Das Werkstück einschliesslich des ersten (und ggf. auch eines zweiten) Stabilisierungsabschnitts kann beispielsweise durch Umformung, zum Beispiel kaltumformend, aus einem rohrförmigen Grundkörper gewonnen.

**[0106]** Beispielsweise kann das Werkstück in dem ersten Stabilisierungsabschnitt gegenüber dem rohrförmigen Abschnitt aufgeweitet sein, und insbesondere einen sich mit zunehmendem Abstand von dem rohrförmigen Abschnitt vergrössernden Durchmesser aufweisen; oder er kann sich verjüngen, und insbesondere einen sich mit zunehmendem Abstand von dem rohrförmigen Abschnitt verkleinernden Durchmesser aufweisen.

**[0107]** Zum Beispiel kann der erste Stabilisierungsabschnitt eine rotationssymmetrische Kegelstumpfmantelform beschreiben. Insbesondere kann der erste Stabilisierungsabschnitt so ausgebildet sein, dass er in einem, beispielsweise in jedem, Querschnitt senkrecht zur Längsachse eine zu der Längsachse gewinkelt ausgerichtete gerade Linie beschreibt.

**[0108]** In manchen Ausführungsformen hingegen beschreibt der erste Stabilisierungsabschnitt eine Kreisringform. Auf diese Weise kann ein Platzbedarf des ersten Stabilisierungsabschnitts in axiale Richtung sehr klein gehalten werden. Der erste Stabilisierungsabschnitt kann im wesentlichen rechtwinklig zur Längsachse erstreckt sein.

**[0109]** Der beschriebene Kreisring kann einen Innendurchmesser aufweisen, der im wesentlichen dem Aussendurchmesser des rohrförmigen Abschnitts entspricht. In anderen Ausführungsformen kann der Kreisring einen Aussendurchmesser haben, der im wesentlichen dem Innendurchmesser des rohrförmigen Abschnitts entspricht.

**[0110]** In manchen Ausführungsformen ist der erste Stabilisierungsabschnitt mit einem ersten Ende des rohrförmigen Abschnittes direkt verbunden. In anderen Ausführungsformen ist der erste Stabilisierungsabschnitt in-

direkt, nämlich über einen Übergangsbereich, mit einem ersten Ende des rohrförmigen Abschnittes verbunden.

**[0111]** In einer Ausführungsform hat der erste Stabilisierungsabschnitt (oder der entsprechende Kragen) einen minimalen Abstand von der Längsachse, der geringer ist, insbesondere der um mindestens das 0.25-fache (zum Beispiel mindestens um das 0.4-fache) einer Verzahnungstiefe der Innenverzahnung geringer ist, als ein minimaler Abstand, den der rohrförmige Abschnitt (vor Erzeugung der Verzahnungen) von der Längsachse hat. Zum Beispiel kann der erste Stabilisierungsabschnitt (oder der entsprechende Kragen) rotationssymmetrisch um die Längsachse sein, ebenso wie der rohrförmige Abschnitt, und sein Innendurchmesser ist geringer als der Innendurchmesser des rohrförmigen Abschnitts (vor Erzeugung der Verzahnungen), beispielsweise um mindestens das 0.5-fache (insbesondere um mindestens das 0.8-fache) einer Verzahnungstiefe der Innenverzahnung. Dadurch kann eine geeignete Formstabilität realisierbar sein.

**[0112]** Und/oder der erste Stabilisierungsabschnitt (oder der entsprechende Kragen) hat einen minimalen Abstand von der Längsachse, der geringer ist, insbesondere der um mindestens das 0.2-fache (zum Beispiel mindestens um das 0.4-fache) einer Verzahnungstiefe der Innenverzahnung geringer ist, als ein minimaler Abstand, den ein Zahnkopf der Innenverzahnung von der Längsachse hat. Zum Beispiel kann der erste Stabilisierungsabschnitt (oder der entsprechende Kragen) rotationssymmetrisch um die Längsachse sein, und sein Innendurchmesser ist geringer als der Kopfkreisdurchmesser der Innenverzahnung, beispielsweise um mindestens das 0.3-fache oder 0.4-fache (insbesondere um mindestens das 0.8-fache) einer Verzahnungstiefe der Innenverzahnung geringer als der Kopfkreisdurchmesser der Innenverzahnung. Dadurch kann eine geeignete Formstabilität realisierbar sein.

**[0113]** In einer Ausführungsform hat der erste Stabilisierungsabschnitt (oder der entsprechende Kragen) einen maximalen Abstand von der Längsachse, der grösser ist, insbesondere der um mindestens das 0.25-fache (zum Beispiel mindestens um das 0.4-fache) einer Verzahnungstiefe der Innenverzahnung grösser ist, als ein maximaler Abstand, den der rohrförmige Abschnitt (vor Erzeugung der Verzahnungen) von der Längsachse hat. Zum Beispiel kann der erste Stabilisierungsabschnitt (oder der entsprechende Kragen) rotationssymmetrisch um die Längsachse sein, ebenso wie der rohrförmige Abschnitt, und sein Aussendurchmesser ist grösser als der Aussendurchmesser des rohrförmigen Abschnitts (vor Erzeugung der Verzahnungen), beispielsweise um mindestens das 0.5-fache (insbesondere um mindestens das 0.8-fache) einer Verzahnungstiefe der Innenverzahnung. Dadurch kann eine geeignete Formstabilität realisierbar sein.

**[0114]** Und/oder der erste Stabilisierungsabschnitt (oder der entsprechende Kragen) hat einen maximalen Abstand von der Längsachse, der grösser ist, insbeson-



dere der um mindestens das 0.2-fache (zum Beispiel mindestens um das 0.4-fache) einer Verzahnungstiefe der Innenverzahnung grösser ist, als ein maximaler Abstand, den ein Zahnkopf der Innenverzahnung von der Längsachse hat. Zum Beispiel kann der erste Stabilisierungsabschnitt (oder der entsprechende Kragen) rotationssymmetrisch um die Längsachse sein, und sein Aussendurchmesser ist grösser als der Kopfkreisdurchmesser der Innenverzahnung, beispielsweise um mindestens das 0.3-fache oder 0.4-fache (insbesondere um mindestens das 0.8-fache) einer Verzahnungstiefe der Innenverzahnung grösser als der Kopfkreisdurchmesser der Aussenverzahnung. Dadurch kann eine geeignete Formstabilität realisierbar sein.

**[0115]** Die genaue Dimensionierung des ersten Stabilisierungsabschnittes hängt von vielen Details ab, beispielsweise von den Materialeigenschaften des rohrförmigen Abschnitts und von dessen Materialstärke.

**[0116]** In manchen Ausführungsformen bildet der erste Stabilisierungsabschnitt einen Bodenteil des Werkstücks. Der rohrförmige Abschnitt kann zusammen mit dem Bodenteil topfförmig ausgebildet sein, wobei der rohrförmige Abschnitt eine Topfwandung und der Bodenteil einen Topfboden bildet. Der Bodenteil kann eine Öffnung aufweisen, insbesondere eine zentrale Öffnung.

**[0117]** Das Werkstück kann zusätzlich zu dem ersten Stabilisierungsabschnitt noch einen zweiten Stabilisierungsabschnitt aufweisen. Die für den zweiten Stabilisierungsabschnitt beschriebenen Eigenschaften und Funktionen können dieselben sein, wie sie für den ersten Stabilisierungsabschnitt beschrieben sind. Mit der Ausnahme, dass im allgemeinen nicht vorgesehen ist, dass beide Stabilisierungsabschnitte an ein und dasselbe Ende des rohrförmigen Abschnitts anschliessend sind. Hingegen kann zum Beispiel vorgesehen sein, dass der erste Stabilisierungsabschnitt an ein erstes Ende des rohrförmigen Abschnitts anschliessend ist (sei es direkt oder über einen ersten Übergangsbereich), und dass der zweite Stabilisierungsabschnitt an ein zweites Ende des rohrförmigen Abschnitts anschliessend ist (sei es direkt oder über einen zweiten Übergangsbereich).

**[0118]** Es können zum Beispiel die beiden Stabilisierungsabschnitte je an einem der gegenüberliegenden Enden des rohrförmigen Abschnitts anschliessend vorgesehen sein (direkt oder indirekt). Es kann also vorgesehen sein, dass zumindest ein Teil der Innenverzahnung und zumindest ein Teil der Aussenverzahnung bezüglich ihrer axialen Position zwischen dem ersten und den zweiten Stabilisierungsabschnitt angeordnet ist.

**[0119]** Wenn zwei Stabilisierungsabschnitte vorgesehen sind, kann vorgesehen sein, dass mindestens einer davon, zum Beispiel der erste Stabilisierungsabschnitt (oder der entsprechende Kragen) auf die Längsachse zu gerichtet ist. Und/oder dieser erste Stabilisierungsabschnitt (oder der entsprechende Kragen) weist die weiter oben angegebenen Dimensionen auf bezüglich dessen Minimalabstand zur Längsachse bzw. bezüglich seines Innendurchmessers. Ein Entfernen des rohrförmigen Ab-

schnitts aus der Matrize nach Bearbeitung durch das mindestens eine Prägwerkzeug kann dadurch erleichtert werden.

**[0120]** Im Falle zweier Stabilisierungsabschnitte können also beispielsweise

- beide Stabilisierungsabschnitte nach innen gerichtet sein; oder
- einer der Stabilisierungsabschnitte nach innen und ein weiterer nach aussen gerichtet sein.

**[0121]** In manchen Ausführungsformen weist das Werkstück (bzw. das Hohlrad) einen zweiten Stabilisierungsabschnitt auf, wobei dieser auf die Längsachse zu gerichtet ist, und wobei ein minimaler Abstand, den dieser von der Längsachse hat, geringer ist als ein minimaler Abstand, den ein Zahnkopf der Innenverzahnung von der Längsachse hat. Für mögliche Dimensionierungen wird auf die weiter oben angegebenen Dimensionierungen für den ersten Stabilisierungsabschnitt verwiesen.

**[0122]** In einer Ausführungsform haben der rohrförmige Abschnitt und der erste Stabilisierungsabschnitt vor dem Bearbeiten durch das Prägwerkzeug die gleiche Materialstärke. Entsprechende Werkstücke bzw. Rohlinge sind recht günstig und einfach zu fertigen.

**[0123]** In manchen Ausführungsformen ist die Innenverzahnung als eine Hochverzahnung ausgebildet, mit einer Verzahnungstiefe von mehr als dem 2.0-fachen eines Normalmoduls der Innenverzahnung, beispielsweise mit einer Verzahnungstiefe von mehr als dem 2.2-fachen eines Normalmoduls der Innenverzahnung. Insbesondere kann die Innenverzahnung eine Verzahnungstiefe von mindestens dem 2.4-fachen eines Normalmoduls der Innenverzahnung haben. Grosse Verzahnungstiefen ermöglichen einen grossen Überdeckungsgrad, was die entsprechenden Hohlräder besonders belastbar macht.

**[0124]** Eine Verzahnungstiefe, die dem 2.2-fachen eines Normalmoduls einer Laufradverzahnung entspricht, entspricht einem gebräuchlichen Wert für Laufrad-Evolventenverzahnungen.

**[0125]** In manchen Ausführungsformen hat die Innenverzahnung einen Modul zwischen 0.5 und 5, insbesondere zwischen 1 und 3 und/oder einen Modul von mindestens 1.25.

**[0126]** In manchen Ausführungsformen weist die Innenverzahnung einen Teilkreisdurchmesser und eine verzahnte Länge auf, für die gilt, dass der Teilkreisdurchmesser mindestens 2 mal und höchstens 20 mal so gross ist, insbesondere mindestens 3 mal und höchstens 15 mal so gross ist oder mindestens 4 mal und höchstens 10 mal so gross ist wie die verzahnte Länge.

**[0127]** Bekanntermassen gilt für den Stirn-Modul  $m_s$ :  $m_s = T_d/p$ , wobei  $T_d$  den Teilkreisdurchmesser bezeichnet und  $p$  die Anzahl Zähne der Verzahnung. Und es gilt für den Stirn-Modul  $m_s$ :  $m_s = t/\pi$ , wobei  $\pi$  die Kreiszahl und  $t$  die Teilung (Stirnteilung) der Verzahnung bezeich-

net. Und der Normalmodul  $m_N$  ergibt sich als  $m_N = m \cos \beta$ , wobei  $\beta$  der Schrägungswinkel einer Schrägverzahnung ist; für Geradverzahnungen ist  $\beta = 0^\circ$ .

**[0128]** Die Innenverzahnung und die Aussenverzahnung können Geradverzahnungen sein.

**[0129]** In manchen Ausführungsformen aber sind die Innenverzahnung und die Aussenverzahnung Schrägverzahnungen. Dabei kann für den Schrägungswinkel insbesondere gelten:  $40^\circ \geq |\beta| \geq 5^\circ$ .

**[0130]** In weiteren Ausführungsformen sind die Innenverzahnung und die Aussenverzahnung Pfeilverzahnungen.

**[0131]** Die Innenverzahnung kann eine Evolventenverzahnung sein. Aber auch andere Laufradverzahnungen sind herstellbar. Beispielsweise kann die Innenverzahnung eine Zykloidenverzahnung sein.

**[0132]** In manchen Ausführungsformen ist eine Verzahnungstiefe der Aussenverzahnung kleiner als eine Verzahnungstiefe der Matrizenverzahnung. Eine entsprechende Dimensionierung der Matrice (bzw. der Zahnfüllen der Matrizenverzahnung) kann die Herstellung des Hohlrades und insbesondere das Umformen erleichtern.

**[0133]** In manchen Ausführungsformen ist eine Verzahnungstiefe der Aussenverzahnung kleiner als eine Verzahnungstiefe der Innenverzahnung. Eine entsprechende Dimensionierung des Prägewerkzeugs (bzw. dessen Wirkbereichs) und der Matrice (bzw. der Zahnfüllen der Matrizenverzahnung) kann die Herstellung des Hohlrades und insbesondere das Umformen erleichtern.

**[0134]** Die Matrice kann aus einem Metall gefertigt sein. Sie kann einstückig ausgebildet sein.

**[0135]** Die meisten das Werkstück betreffenden Merkmale können auf das (fertiggestellte) Hohlrad übertragen werden. Auch wenn manche der Eigenschaften des Werkstücks bzw. des Hohlrades, wie zum Beispiel die Eigenschaften des ersten Stabilisierungsabschnitts, zumindest scheinbar in einem speziellen Zusammenhang, wie zum Beispiel im Zusammenhang mit dem Herstellungsverfahren, beschrieben sind, können diese grundsätzlich ebenso Eigenschaften des fertiggestellten Hohlrades sein. Um den Text knapp zu fassen, werden die meisten dieser Eigenschaften darum nicht nochmals als explizit das fertiggestellte Hohlrad betreffende Merkmale wiederholt. Dennoch:

Das Hohlrad weist auf:

- einen rohrförmigen Abschnitt mit einer Längsachse, der eine Innenverzahnung und eine Aussenverzahnung aufweist, wobei die Innenverzahnung eine Laufradverzahnung ist;
- einen ersten Stabilisierungsabschnitt.

**[0136]** Der erste Stabilisierungsabschnitt kann verzahnungsfrei sein. Und er kann mit dem rohrförmigen Abschnitt zusammen einstückig ausgebildet sein. Er kann

einen Kragen des Hohlrades bilden. Dabei kann der Kragen insbesondere auf die Längsachse zu oder von der Längsachse weg gerichtet sein. Der Kragen kann direkt an den rohrförmigen Abschnitt angrenzend sein oder an einen Übergangsbereich angrenzen, der seinerseits direkt an den rohrförmigen Abschnitt angrenzt. Der rohrförmige Abschnitt kann grundsätzlich zylinderrohrförmig sein. Der erste Stabilisierungsabschnitt kann rotations-symmetrisch bezüglich der Längsachse sein.

**[0137]** Eine relative Dünwandigkeit des Hohlrades kann dadurch beschrieben werden, dass eine Differenz von Fusskreisdurchmesser der Aussenverzahnung und Kopfkreisdurchmesser der Innenverzahnung weniger als das Doppelte, insbesondere weniger als das 1.5-fache einer Verzahnungstiefe der Innenverzahnung beträgt.

**[0138]** Weiter kann vorgesehen sein, dass eine Differenz von Fusskreisdurchmesser der Aussenverzahnung und Kopfkreisdurchmesser der Innenverzahnung mehr als das 0.2-fache, insbesondere mehr als das 0.3-fache einer Verzahnungstiefe der Innenverzahnung beträgt.

**[0139]** Wenn ein Hohlrad in der beschriebenen Weise hergestellt wird, können charakteristische Formen entstehen, deren Existenz und Ausprägung unter anderem davon abhängen können, wie der erste Stabilisierungsabschnitt relativ zu den Innenverzahnung und der Aussenverzahnung zugeordnet ist. Sie können aber am fertigen Produkt Hohlrad erkennen lassen, dass dieses in der beschriebenen Weise gefertigt wurde - ausser vielleicht, die charakteristische Formen wurden anschliessend entfernt.

**[0140]** In einer Ausführungsform des Hohlrades ist der Kragen von der Längsachse weg gerichtet, und in einem Übergangsbereich zwischen dem rohrförmigen Abschnitt und dem ersten Stabilisierungsabschnitt ist eine an die Innenverzahnung anschliessende innenliegende Restverzahnung ausgebildet. Und weiter ist

- ein Kopfkreisdurchmesser der innenliegenden Restverzahnung kleiner als ein Kopfkreisdurchmesser der Innenverzahnung; und/oder
- an jedem Zahnfuss der innenliegenden Restverzahnung ein axial vorstehender Wulst ausgebildet.

**[0141]** Wenn der Eingriff des mindestens einen Prägewerkzeugs sich bis dort erstreckt, wo bezüglich seiner axialen Position der erste Stabilisierungsabschnitt beginnt, ist dort ein radial nach aussen gerichteter Materialfluss durch den ersten Stabilisierungsabschnitt stark erschwert. Entsprechend muss sich das Material beim Kaltumformen andere Wege suchen. In der beschriebenen Anordnung bedeutet das einerseits Materialfluss radial nach innen (beidseitig des Wirkbereichs des Prägewerkzeugs), so dass es zu den verkleinerten Kopfkreisdurchmesser der innenliegenden Restverzahnung kommt. Und andererseits fliesst das Material auch un-

gefähr in die axiale Richtung, die vom rohrförmigen Abschnitt wegweist, so dass sich die Wulste bilden.

**[0142]** In einer anderen Ausführungsform des Hohlrades ist in einem Übergangsbereich zwischen dem rohrförmigen Abschnitt und dem ersten Stabilisierungsabschnitt eine an die Aussenverzahnung anschliessende äussere Restverzahnung ausgebildet, wobei in dem Übergangsbereich eine Verzahnungstiefe der äusseren Restverzahnung von einer Verzahnungstiefe der Aussenverzahnung auf null stetig abnimmt. Insbesondere können Zähne der äusseren Restverzahnung in dem Übergangsbereich, insbesondere in einem an den rohrförmigen Abschnitt angrenzenden Abschnitt des Übergangsbereichs eine abgerundete Schulter aufweisen. Dabei kann der Kragen des ersten Stabilisierungsabschnitts auf die Längsachse zu gerichtet sein; aber der erste Stabilisierungsabschnitt kann auch anders ausgebildet sein und zum Beispiel einen nach aussen gerichteten Kragen aufweisen.

**[0143]** Es kann vorgesehen sein, dass ein Abschnitt des Übergangsbereichs rohrförmig, insbesondere zylinderrohrförmig, ausgebildet sein kann. Zum Beispiel kann ein an den rohrförmigen Abschnitt angrenzender Abschnitt des Übergangsbereichs rohrförmig, insbesondere zylinderrohrförmig, ausgebildet sein.

**[0144]** Der Übergangsbereich kann (als Ganzes) rohrförmig ausgebildet sein.

**[0145]** Um den genannte stetige Abnahme quantitativ genauer zu beschreiben, kann man sagen, dass in einem die Längsachse enthaltenden Schnitt durch einen Zahn der Aussenverzahnung ein Winkel, der die Abnahme beschreibt, kleiner als  $80^\circ$ , insbesondere kleiner als  $70^\circ$  ist. Und weiter kann dieser Winkel grösser als  $5^\circ$  sein, insbesondere grösser als  $10^\circ$ . Der Winkel lässt sich zum Beispiel so definieren, dass man in dem genannten Schnitt einen ersten Punkt bestimmt, an dem der Zahn (im Bereich der Restverzahnung) noch 90% der Höhe hat, die er im rohrförmigen Abschnitt hat, und einen zweiten Punkt bestimmt, an dem der Zahn (im Bereich der Restverzahnung) noch 10% der Höhe hat, die er im rohrförmigen Abschnitt hat, und der Winkel, den eine diese beiden Punkte verbindende Gerade mit der Längsachse einschliesst, ist der genannte Winkel.

**[0146]** Selbstverständlich kann ein Werkstück sowohl

- in einem Übergangsbereich zwischen dem rohrförmigen Abschnitt und einem von der Längsachse weg gerichteten Kragen eines Stabilisierungsabschnitts eine innere Restverzahnung (mit dem Wulst oder den genannten Kopfkreisdurchmesserverhältnissen) als auch
- in einem anderen Übergangsbereich zwischen dem rohrförmigen Abschnitt und einem anderen Stabilisierungsabschnitt eine äussere Restverzahnung (mit abgerundeter Schulter)

aufweisen.

**[0147]** Der Durchmesser (Teilkreisdurchmesser) der Innenverzahnung liegt typischerweise im Bereich 50 mm bis 500 mm, insbesondere im Bereich 100 mm bis 400 mm und oft im Bereich 150 mm bis 350 mm.

**[0148]** Weiter beschreiben wir noch ein Hohlradbauteil. Dieses weist ein Hohlrad der beschriebenen Art auf sowie zusätzlich noch einen Körper. Der Körper ist dadurch gegenüber dem Hohlrad drehgesichert, dass er eine zu der Aussenverzahnung passende Innenprofilierung aufweist.

**[0149]** Die Aussenverzahnung kann also beispielsweise einer drehsicheren Aufnahme des Hohlrades dienen.

**[0150]** Die Drehsicherung betrifft eine Drehung um die Längsachse.

**[0151]** Beispielsweise kann der Körper formschlüssig mit der Aussenverzahnung verbunden sein. Zum Beispiel kann der Körper an die Aussenverzahnung angegossen sein.

**[0152]** Ein Schritt bei der Herstellung des genannten Körpers kann also beispielsweise sein, dass die Aussenverzahnung eingegossen wird, wodurch zumindest ein Teil des genannten Körpers gebildet wird.

**[0153]** In manchen Ausführungsformen ist das Hohlrad ein Getriebehohlrad.

**[0154]** Das Hohlrad kann in Planetengetrieben Anwendung finden.

**[0155]** Das Planetengetriebe weist ein Hohlrad der beschriebenen Art auf sowie mindestens ein in das Hohlrad eingebrachtes aussenverzahnantes Zahnrad. Dieses ist für ein Zusammenwirken mit dem Hohlrad in geeigneter Weise verzahnt.

**[0156]** Typischerweise werden ein Sonnenrad und mindestens zwei Planetenräder in das Hohlrad eingebracht.

**[0157]** Entsprechend beinhaltet das Verfahren zum Herstellen eines Planetengetriebes, dass ein Hohlrad in der beschriebenen Art und Weise hergestellt wird, und es umfasst weiter das Bereitstellen mindestens eines aussenverzahnanten Zahnrades und ein Einbringen dessen in das Hohlrad.

**[0158]** Das genannte Zahnrad weist eine Aussenverzahnung auf, die zu der Innenverzahnung des Hohlrades passend ist. Und typischerweise werden ein Sonnenrad und mindestens zwei Planetenräder in das Hohlrad eingebracht.

**[0159]** Weiter betrifft die Erfindung auch eine Vorrichtung, die zur Durchführung des Herstellungsverfahrens geeignet ist bzw. eine Vorrichtung mit den folgenden Eigenschaften:

Vorrichtung zur Herstellung von Hohlradern, die eine Innenverzahnung und eine Aussenverzahnung aufweisen, wobei die Innenverzahnung eine Laufradverzahnung ist, und die Vorrichtung weist auf:

- eine Matrize, die zur Aufnahme eines rohrförmigen Abschnitts eines Werkstücks eine rohrförmige Öffnung aufweist, in welcher eine innenliegende Matrizenverzahnung ausgebildet ist;

- einen um eine Längsachse rotierbaren Matrizenhalter zur Halterung der Matrize, derart, dass ein rohrförmiger Abschnitt eines in die Matrize aufgenommenen Werkstücks an seiner Innenseite bearbeitbar ist;
- einen Drehantrieb für die Rotation des Matrizenhalters, der ausgelegt ist zur Erzeugung einer Rotation mit *zeitlich variierender Rotationsgeschwindigkeit*, insbesondere zur Erzeugung einer intermittierenden Rotation;
- einen Werkzeughalter zum Halten mindestens eines Prägewerkzeuges, der zu einer senkrecht zu der Längsachse verlaufenden oszillierenden Bewegung antreibbar ist, so dass der rohrförmige Abschnitt an seiner Innenseite durch das mindestens eine Prägewerkzeug wiederholt, insbesondere periodisch bearbeitbar ist;
- eine Synchronisationsvorrichtung zur Synchronisation der mittels des Drehantriebs erzeugbaren Rotation des Matrizenhalters mit der senkrecht zu der Längsachse verlaufenden oszillierenden Bewegung des Werkzeughalters.

**[0160]** Viele weitere Details der Vorrichtung ergeben sich direkt aus dem oben beschriebenen Verfahren. Diese werden hier darum nicht wiederholt.

**[0161]** In einer Ausführungsform weist die Vorrichtung eine Ladevorrichtung zum Einführen eines rohrförmigen Abschnitts eines in die Matrize aufzunehmenden Werkstücks in die rohrförmige Öffnung der Matrize auf. Die Ladevorrichtung weist einen weiteren Antrieb auf, für eine parallel zu der Längsachse verlaufende Relativbewegung von Werkstück und Matrize. So lässt sich das Einführen des rohrförmigen Abschnitts in die rohrförmige Öffnung der Matrize automatisieren.

**[0162]** Weiter kann es relevant sein, sicherzustellen, dass zumindest zu Beginn der kaltumformenden Bearbeitung durch das Prägewerkzeug eine Relativposition von Werkstück und Matrize (axial und/oder radial) fixiert ist.

**[0163]** Entsprechend kann die Vorrichtung eine Haltevorrichtung zum Fixieren einer Position eines in die Matrize aufgenommenen Werkstücks relativ zu der Matrize während der genannten Rotation des Matrizenhalters aufweisen. Beispielsweise kann mittels der Haltevorrichtung ein Anpressdruck erzeugbar sein, durch welchen Werkstück und Matrize in axialer Richtung aufeinander zu gepresst werden. So führen Werkstück und Matrize dieselbe Rotationsbewegung durch.

**[0164]** Die Anpressvorrichtung kann mit der genannten Rotation des Matrizenhalters mitrotierbar sein.

**[0165]** Das Fixieren kann zum Beispiel durch Druckbeaufschlagung an einem Stabilisierungsabschnitt des Werkstücks erfolgen.

**[0166]** Beispielsweise kann ein axiales Anpressen des

Werkstücks an die Matrize oder der Matrize an das Werkstück stattfinden.

**[0167]** Die Haltevorrichtung kann zu dem zusätzlichen Antrieb vorgesehen sein. Es ist aber auch möglich, dass mindestens ein Teil der Haltevorrichtung mit mindestens einem Teil des weiteren Antriebs identisch ist.

**[0168]** Die beschriebene Vorrichtung kann zum gleichzeitigen Erstellen einer Innenverzahnung und einer Außenverzahnung in einem rohrförmigen Abschnitt eines Werkstücks verwendet werden, wobei die Innenverzahnung eine Laufradverzahnung ist.

**[0169]** Weiter Details der Verwendung der Vorrichtung ergeben sich aus der obigen Beschreibung des Herstellungsverfahrens, des Hohlrades und der Vorrichtung.

**[0170]** Weitere Ausführungsformen und Vorteile gehen aus den abhängigen Patentansprüchen und den Figuren hervor.

**[0171]** Im folgenden wird der Erfindungsgegenstand anhand von Ausführungsbeispielen und den beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen schematisch:

Fig. 1 Details einer Vorrichtung zur Herstellung von Hohlradern, in einem durch die Längsachse verlaufenden Schnitt;

Fig. 2a eine Veranschaulichung des Verfahrens vor einem ersten Prägewerkzeugeingriff in das Werkstück, in einem Schnitt senkrecht zur Längsachse;

Fig. 2b eine Veranschaulichung des Verfahrens während eines Prägewerkzeugeingriffs bei Fertigstellung eines Hohlrades, in einem Schnitt senkrecht zur Längsachse;

Fig. 3a ein Werkstück mit zwei auf die Längsachse zu gerichteten Stabilisierungsabschnitten, in einem durch die Längsachse verlaufenden Schnitt;

Fig. 3b ein Werkstück mit einem auf die Längsachse zu gerichteten Stabilisierungsabschnitt und einem von der Längsachse weg gerichteten Stabilisierungsabschnitt, in einem durch die Längsachse verlaufenden Schnitt;

Fig. 3c ein Detail eines Werkstücks mit einem auf die Längsachse zu gerichteten Stabilisierungsabschnitt und einem von der Längsachse weg gerichteten Stabilisierungsabschnitt, in einem durch die Längsachse verlaufenden Schnitt;

Fig. 3d ein Detail eines Hohlrades mit einem auf die Längsachse zu gerichteten Stabilisierungsabschnitt und einem von der Längsachse weg gerichteten Stabilisierungsabschnitt, in einem durch die Längsachse verlaufenden Schnitt;

- Fig. 4 ein Detail eines Hohlrades zur Veranschaulichung einer äusseren Restverzahnung, in einem durch die Längsachse verlaufenden Schnitt;
- Fig. 5 ein Detail eines Hohlrades mit einem von der Längsachse weg gerichteten Stabilisierungsabschnitt zur Veranschaulichung einer innenliegenden Restverzahnung mit Wulst, in einem durch die Längsachse verlaufenden Schnitt durch einen Zahnfuss der Innenverzahnung;
- Fig. 6 ein Detail eines Hohlrades mit einem von der Längsachse weg gerichteten Stabilisierungsabschnitt zur Veranschaulichung einer innenliegenden Restverzahnung, in einem durch die Längsachse verlaufenden Schnitt durch einen Zahnkopf der Innenverzahnung;
- Fig. 7a ein Detail eines Prägewerkzeuges, in einem Schnitt senkrecht zum Verlauf des Werkzeugkopfes;
- Fig. 7b ein Detail des Prägewerkzeuges aus Fig. 7a in einem Schnitt parallel zum Verlauf des Werkzeugkopfes entlang der gestrichelten Linie aus Fig. 7 durch die Werkzeugflanken;
- Fig. 8a eine Veranschaulichung einer Geradverzahnung;
- Fig. 8b eine Veranschaulichung einer Schrägverzahnung;
- Fig. 8c eine Veranschaulichung einer Pfeilverzahnung;
- Fig. 9 eine Veranschaulichung eines Planetengetriebes;
- Fig. 10 ein Hohlradbauteil aufweisend ein Hohlrad und einen damit formschlüssig verbundenen Körper, in einen Schnitt senkrecht zur Längsachse.

**[0172]** Für das Verständnis der Erfindung nicht wesentliche Teile sind zum Teil nicht dargestellt. Die beschriebenen Ausführungsbeispiele stehen beispielhaft für den Erfindungsgegenstand oder dienen seiner Erläuterung und haben keine beschränkende Wirkung. Die meisten der folgenden Ausführungen beziehen sich der Einfachheit halber implizit oder explizit auf Geradverzahnungen, sind aber auf andere Verzahnungstypen übertragbar.

**[0173]** Fig. 1 zeigt Details einer Vorrichtung zur Herstellung von Hohlrädern, in einer stark schematisierten Schnittdarstellung. Ein Werkstück 1 ist dünnwandig und

kann mittels der Vorrichtung mit einer Innenverzahnung und einer Aussenverzahnung versehen werden, wobei die Innenverzahnung eine Laufradverzahnung ist, beispielsweise eine Evolventenverzahnung.

**[0174]** Das Werkstück 1 hat eine Längsachse Z und einen rohrförmigen Abschnitt 3, der zylindrisch ist und koaxial zu der Längsachse Z ausgerichtet ist, und in den mittels eines Prägewerkzeuges 2 die beiden genannten Verzahnungen eingebracht werden.

**[0175]** Der in Fig. 1 dargestellte Schnitt verläuft durch die Längsachse Z.

**[0176]** Die Vorrichtung weist weiter eine Matrize 5 auf, die eine innenliegende Matrizenverzahnung 5z sowie eine rohrförmige Öffnung 5o zur Aufnahme des Werkstücks 1 aufweist. Die Matrize 5 ist in einem Matrizenhalter 15 gehalten, der zu Rotationen um eine Drehachse antreibbar ist, beispielsweise mittels eines angetriebenen Spindelstocks 8.

**[0177]** Mittels eines Werkzeughalters 12 ist das Prägewerkzeug 2 gehalten, durch den ein Werkstück 1 periodisch bearbeitet werden kann. Dazu führt der Werkzeughalter 12 eine oszillierende Bewegung in radialer Richtung durch (versinnbildlicht durch den kleinen Doppelpfeil in Fig. 2). Richtungen, die senkrecht zu der Längsachse Z verlaufen, werden als radial bezeichnet.

**[0178]** Mittels einer Ladevorrichtung 16 wird das Werkstück 1 in die rohrförmige Öffnung 5o der Matrize 5 eingeführt, wie durch die offenen Pfeile symbolisiert in axialer Richtung. Mittels einer Haltevorrichtung 18, die teilweise mit der Ladevorrichtung 16 identisch sein kann, wird das Werkstück 1 dann in einer fixen Position relativ zur Matrize 5 gehalten, typischerweise vor und während der Werkstück- und Matrizen-Rotation, beispielsweise durch Gegeneinanderpressen der beiden Teile in axialer Richtung.

**[0179]** Während der Bearbeitung des Werkstücks 1 durch das Prägewerkzeug 2 sind die Matrize 5 (und insbesondere ihre Matrizenverzahnung 5z), das Werkstück 1 (und insbesondere dessen rohrförmiger Abschnitt 3 und seine Längsachse Z) und die Drehachse des Matrizenhalters 15 koaxial zueinander ausgerichtet. Und das Werkstück 1 dreht sich mit dem Matrizenhalter 15 mit, beispielsweise, indem die Haltevorrichtung 18 drehbar gelagert ist.

**[0180]** Weil also während der Bearbeitung die Längsachse Z des Werkstücks 1 mit der Rotationsachse des drehbaren Matrizenhalters 15 zusammenfällt, werden der Einfachheit halber die entsprechenden Achsen im weiteren beide als Längsachse Z oder als Achse Z bezeichnet.

**[0181]** Der Matrizenhalter 15 muss nicht direkt zu seiner Rotation antreibbar sein. Beispielsweise kann auch die Haltevorrichtung 18 (beispielsweise direkt) zur Rotation angetrieben sein, und der Matrizenhalter 15 ist drehbar gelagert und dreht sich, einschliesslich Matrize 5 und Werkstück 1 mit der Haltevorrichtung 18 mit.

**[0182]** Die genannte Rotation findet mit zeitlich variierender Rotationsgeschwindigkeit statt, synchronisiert mit

der radial oszillierenden Bewegung des Prägewerkzeugs 2.

**[0183]** Zur Erzeugung der radial oszillierenden Bewegung des Prägewerkzeugs 2 kann der Werkzeughalter 12 wie dargestellt einen Schaft aufweisen, der zu einer oszillierenden Bewegung angetrieben ist. Das Prägewerkzeug 2 kommt auf diese Weise wiederholt, im allgemeinen periodisch, in Eingriff mit dem Werkstück. Das Werkstück 1 seinerseits wird um die Achse Z mit variierender Rotationsgeschwindigkeit gedreht, insbesondere intermittierend gedreht (versinnbildlicht durch den gestrichelten Kreispfeil in Fig. 1). Die oszillierende Bewegung des Werkzeughalters 12, die einer oszillierenden Bewegung des Prägewerkzeugs 2 entspricht, ist mit der Rotation des Werkstückes 1 so synchronisiert, dass in Phasen minimaler Werkstückrotationsgeschwindigkeit (im Falle einer intermittierenden Werkstückrotation: in Phasen des Stillstandes der intermittierenden Rotation des Werkstückes) das Prägewerkzeug 2 mit dem Werkstück 1 in Eingriff kommt. Im Falle einer intermittierenden Werkstückrotation kann das Werkstück 1 weiterrotiert werden (typischerweise um eine Teilung), sobald der Werkzeughalter 12 weit genug (in radiale Richtung) verschoben ist, dass kein Prägewerkzeug während der Werkstückrotation mit dem Werkstück 1 in Kontakt kommt. Bei einer nicht-intermittierenden Werkstückrotation ist das Geschwindigkeitsprofil (zeitliche Variation der Rotationsgeschwindigkeit) entsprechend zu wählen.

**[0184]** Danach - also im Falle intermittierender Rotation innerhalb der nächsten Stillstandsphase - greift das Prägewerkzeug 2 wieder in das Werkstück 1 ein, zur Weiterbildung der nächsten Zahnflanke der zur erzeugenden Verzahnungen usw. Die Verzahnungen werden somit durch ein Nacheinanderausführen einer Vielzahl von Prägeschritten kaltumformend erzeugt.

**[0185]** Die bei der prägenden Umformung durch das Prägewerkzeug 2 auf das dünnwandige Werkstück 1 wirkenden Kräfte sind so gross, dass ohne weitere Vorkehrungen unerwünschte Deformationen des rohrförmigen Abschnitts 3 auftreten können. Statt seinen grundsätzlich kreisförmigen Querschnitt zu behalten, kann sich ein ovaler oder elliptischer Querschnitt des rohrförmigen Abschnitts 3 ausbilden und zu mangelnder Genauigkeit der Verzahnungen führen, was sehr unerwünscht ist. Auch kann sich eine unerwünschte Konizität des rohrförmigen Abschnitts 3 ausbilden, so dass sich dessen Durchmesser in einer Richtung entlang der Längsachse zunehmend wäre.

**[0186]** Darum weist das Werkstück (während seiner Bearbeitung) mindestens einen Stabilisierungsabschnitt auf. Im Beispiel aus Fig. 1 hat das Werkstück 1 einen nach innen (auf die Längsachse zu) gerichteten Stabilisierungsabschnitt 4 und einen nach aussen (von der Längsachse weg) gerichteten Stabilisierungsabschnitt 4', die beide jeweils an ein Ende des rohrförmigen Abschnitts 3 anschliessend sind. Die Stabilisierungsabschnitte 4, 4' bilden Krägen des Werkstücks 1 und sind mit dem rohrförmigen Abschnitt 3 einstückig ausgebildet.

**[0187]** Durch ihre Ausdehnung in radiale Richtung bewirken die Stabilisierungsabschnitte 4, 4' eine Formstabilisierung, so dass die genannten Deformationen verhindert oder zumindest auf ein akzeptables Mass reduziert werden können.

**[0188]** Zur gleichzeitigen Erstellung der Innen- und der Aussenverzahnung in dem rohrförmigen Abschnitt 3 wird das dünnwandige Werkstück 1 mittels des Prägewerkzeugs in der beschriebenen Weise in die Matrizenverzahnung 5z der Matrize 5 eingeformt. Dies wird anhand der Figuren 2a, 2b veranschaulicht.

**[0189]** Fig. 2a ist eine schematische Veranschaulichung des Verfahrens vor einem ersten Prägewerkzeugeingriff in das Werkstück 1, in einem Schnitt senkrecht zur Längsachse; und Fig. 2b ist eine schematische Veranschaulichung des Verfahrens während eines Prägewerkzeugeingriffs bei Fertigstellung des Hohlrades 1a, in dem gleichen Schnitt.

**[0190]** Vor dem ersten Prägewerkzeugeingriff (Fig. 2a) befindet sich das noch unverzahnnte Werkstück 1 in der Öffnung 5o der Matrize 5. Ein Zahnkopf 5a, ein Zahnfuss 5b und eine Zahnflanke 5f der innenliegenden Matrizenverzahnung sind in Fig. 2a gekennzeichnet. Viele hämmern Eingriffe des Prägewerkzeugs 2 an jeder der Umfangspositionen, an denen die Zahnflanken der Matrizenverzahnung sind, später sind die Innen- und die Aussenverzahnung fertiggestellt. Fig. 2b zeigt das Werkstück, das nun ein verzahntes Hohlrad 1a ist, während eines letzten umformenden Eingriffs des Prägewerkzeugs 2.

**[0191]** Die dicke gestrichelte Linie in Figs. 2a, 2b kennzeichnet eine radiale Richtung, entlang welcher die periodische Linearbewegung des Prägewerkzeugs 2 zum Umformen des Werkstücks verläuft.

**[0192]** Die dünnen gestrichelten Linien in Fig. 2b kennzeichnen den Fusskreisdurchmesser bzw. den Kopfkreisdurchmesser der Innenverzahnung. Der offene Pfeil in Fig. 2b kennzeichnet die Verzahnungstiefe  $t_6$  der Innenverzahnung. In dem Ausführungsbeispiel von Figs. 2a, 2b beträgt die Materialstärke D des unverzahnnten rohrförmigen Abschnitts 3 (Fig. 2a) etwa 0.4 mal die Verzahnungstiefe  $t_6$  der Innenverzahnung.

**[0193]** Das Prägewerkzeug 2 weist einen Wirkbereich 2w auf, der einen Werkzeugkopf 2k und zwei Werkzeugflanken 2f aufweist. Der Wirkbereich 2w weist eine Form auf, die ein Negativ einer Form einer Zahnflanke der zu erzeugenden Innenverzahnung ist (Fig. 2b). Weiter weist das Prägewerkzeug 2 zwei Kalibrierbereiche 2x auf, durch welche die Zahnköpfe 6a (Fig. 2b) der Innenverzahnung geformt werden, zum Beispiel kann vorgesehen sein, dass die Form eines Abschnittes eines Kalibrierbereichs 2x ein Negativ der Form eines Abschnittes eines Zahnkopfes 6a der Innenverzahnung ist.

**[0194]** Die Werkzeugflanken 2f haben die Form eines Negativs einer Flanke 6f der Innenverzahnung, und der Werkzeugkopf 2k hat die Form eines Negativs eines Zahnfusses 6b der Innenverzahnung (Fig. 2b).

**[0195]** Während die Form der Innenverzahnung im we-

sentlichen durch die Form des Prägewerkzeugs 2 bestimmt wird, wird die Form der Aussenverzahnung im wesentlichen durch die Form der Matrizenverzahnung bestimmt.

**[0196]** Die Form eines Zahnkopfes 5a der Matrizenverzahnung entspricht einem Negativ der Form eines Zahnfusses 7b der zu erzeugenden Aussenverzahnung. Und die Form der Zahnflanken 5f der Matrizenverzahnung entspricht einem Negativ der Form von Zahnflanken 7f der Aussenverzahnung. Allerdings ist die Form des Zahnkopfes 7a der Aussenverzahnung durch freien Materialfluss bestimmt. Zwischen den Zahnköpfen 7a der Aussenverzahnung und den jeweiligen Zahnfüssen 5b der Matrizenverzahnung verbleibt ein Abstand. Von den Zahnflanken 5f der Matrizenverzahnung ist es nur ein Abschnitt, der mit dem Werkstück in Kontakt kommt und somit die Form der Flanken 7f der Aussenverzahnung bestimmt.

**[0197]** Ein hämmerndes Einformen des zunächst unverzahnten rohrförmigen Abschnitts 3 in die Matrizenverzahnung findet an solchen über den Umfang des rohrförmigen Abschnitts 3 verteilten Stellen statt, an denen sich Zahnücken der Matrizenverzahnung befinden, also dort, wo die Zähne der Aussenverzahnung und Zahnücken der Innenverzahnung zu liegen kommen (entstehen). Beispielsweise kann das Werkstück 1 durch das Prägewerkzeug 2 zunächst in jeder Zahnücke der Matrizenverzahnung 5z einmal bearbeitet werden (also genau einen radial hämmernden Schlag aufnehmen und dadurch umgeformt werden), bevor es bei einer der Zahnücken der Matrizenverzahnung 5z ein weiteres mal bearbeitet wird.

**[0198]** Es findet ein Erzeugen der Innenverzahnung bei gleichzeitigem Erzeugen der Aussenverzahnung statt.

**[0199]** Die Anzahl Zähne und die Anzahl Zahnücken ist identisch für die Innenverzahnung und für die Aussenverzahnung und für die Matrizenverzahnung. Und die Zahnfüsse 6b der Innenverzahnung befinden sich an den gleichen Positionen entlang des Umfangs des rohrförmigen Abschnitts wie die Zahnköpfe 7a der Aussenverzahnung. Und entsprechend befinden sich die Zahnköpfe 6a der Innenverzahnung an den gleichen Positionen entlang des Umfangs des rohrförmigen Abschnitts 3 wie die Zahnfüsse 7b der Aussenverzahnung.

**[0200]** Es ist auch möglich, ein zweites Prägewerkzeug einzusetzen. Dieses kann, zumindest bezüglich des Wirkbereichs und des Kalibrierbereichs, dieselbe Form aufweisen wie das andere Prägewerkzeug.

**[0201]** Zwischen den einzelnen hämmernden Bearbeitungsschritten wird das Prägewerkzeug jeweils wieder vom Werkstück radial beabstandet.

**[0202]** Im Gegensatz zu manchen, als "Abwälzen" bezeichneten Verfahren zur Profilierung von Werkstücken findet in dem hier beschriebenen Verfahren kein Wälzen des Prägewerkzeuges am Werkstück statt. Und das Werkzeug ist auch nicht dauerhaft mit dem Werkstück in Kontakt, sondern immer nur kurzzeitig mit einer an-

schliessenden Phase, in der kein Kontakt und keine Umformung stattfindet. Und das Werkzeug hat nicht eine Vielzahl von über seinen Umfang verteilten Zähnen, sondern, wie dargestellt, nur einen zahnartigen Wirkbereich oder allenfalls zwei (nicht dargestellt).

**[0203]** Fig. 3a zeigt ein Werkstück 1 mit zwei auf die Längsachse Z zu gerichteten Stabilisierungsabschnitten 4, 4', in einem durch die Längsachse Z verlaufenden Schnitt. Die Stabilisierungsabschnitte 4, 4' bilden jeweils einen Kragen, was auch bei den weiteren Ausführungsformen der Fall ist. Die im folgenden beschriebenen Eigenschaften können auch dem entsprechenden Kragen zugeschrieben werden.

**[0204]** Fig. 3b zeigt ein Werkstück 1 mit einem auf die Längsachse zu gerichteten Stabilisierungsabschnitt 4' und einem von der Längsachse weg gerichteten Stabilisierungsabschnitt 4, in einem durch die Längsachse Z verlaufenden Schnitt.

**[0205]** Die in Figs. 3a, 3b gezeigten Stabilisierungsabschnitte bilden jeweils kreisringförmige Stirnflächen 4f des Werkstücks 1. Ein Öffnungswinkel der Stirnflächen 4f muss allerdings nicht 90° betragen, wie in Figs. 1 und 3a und 3b. Allerdings ist bei 90° eine hohe Formstabilität bei sehr geringen Ausmassen entlang der Längsachse Z erreichbar.

**[0206]** Fig. 3c zeigt ein Detail eines weiteren rotationsymmetrischen Werkstücks 1 mit einem auf die Längsachse Z zu gerichteten Stabilisierungsabschnitt 4' und einem von der Längsachse Z weg gerichteten Stabilisierungsabschnitt 4, in einem durch die Längsachse Z verlaufenden Schnitt, wobei dieser einen Öffnungswinkel von etwa 45° aufweist. Dort vergrössert sich der Durchmesser des Werkstücks 1 mit zunehmendem Abstand vom rohrförmigen Abschnitt 3. Die Stirnfläche 4f, die Stabilisierungsabschnitt 4 bildet, ist eine rotationssymmetrische Kegelschalenform.

**[0207]** In den dargestellten Schnitten, die die Längsachse Z enthalten muss ein Stabilisierungsabschnitt aber keine gerade Linie zeigen; es sind auch andere Formen möglich. Fig. 3d zeigt ein Beispiel

**[0208]** Fig. 3d zeigt ein Detail eines Werkstücks 1, das bereits zu einem verzahnten Hohlrad 1a umgeformt ist, mit einem auf die Längsachse Z zu gerichteten Stabilisierungsabschnitt 4' und einem von der Längsachse weg gerichteten Stabilisierungsabschnitt 4, in einem durch die Längsachse Z verlaufenden Schnitt. Der Stabilisierungsabschnitt 4 hat die Form eines Trichters mit gebogener, konischer Wandung.

**[0209]** Unabhängig von der Form der Stabilisierungsabschnitte 4, 4' sind in Fig. 3d ein Zahnkopf 7a der Aussenverzahnung und ein Zahnkopf 6a der Innenverzahnung angedeutet (auch wenn diese nicht genau in derselben Schnittebene liegen). Die verzahnte Länge ist zu erkennen; diese muss sich nicht über die Gesamtlänge des rohrförmigen Abschnitts 3 erstrecken.

**[0210]** Fig. 3d illustriert auch, dass ein Maximalabstand d4, den ein Teil des Stabilisierungsabschnitts 4 von der Längsachse Z hat, was bei der hier angenommenen

Rotationssymmetrie der Hälfte eines Aussendurchmessers des Stabilisierungsabschnitts 4 entspricht, grösser ist, als die Hälfte  $k_7$  des Kopfkreisdurchmessers der Aussenverzahnung.

**[0211]** Und Fig. 3d illustriert auch, dass ein Minimalabstand  $d_4'$ , den ein Teil des Stabilisierungsabschnitts 4' von der Längsachse Z hat, was bei der hier angenommenen Rotationssymmetrie der Hälfte eines Innendurchmessers des Stabilisierungsabschnitts 4' entspricht, kleiner ist als ein minimaler Abstand  $k_6$ , den ein Zahnkopf 6a der Innenverzahnung von der Längsachse Z hat, also kleiner ist, als die Hälfte  $k_6$  des Kopfkreisdurchmessers der Innenverzahnung.

**[0212]** Die typischerweise ein oder zwei Stabilisierungsabschnitte sind im allgemeinen unverzahnt (verzahnungsfrei); zumindest sind sie frei von der zu erzeugenden Innenverzahnung und frei von der zu erzeugenden Aussenverzahnung.

**[0213]** Fig. 4 zeigt ein Detail eines Hohlrades 1a zur Veranschaulichung einer äusseren Restverzahnung 45a, in einem durch die Längsachse Z verlaufenden Schnitt durch einen Zahnkopf 7a der Aussenverzahnung. Eine solche äussere Restverzahnung 45a bildet sich aufgrund des gewählten kaltumformenden Herstellungsverfahrens, begründet durch den freien Materialfluss nicht nur in radialer sondern auch in axialer Richtung innerhalb von Zahnlücken der Matrizenverzahnung.

**[0214]** In diesem Ausführungsbeispiel, bei dem im übrigen der Stabilisierungsabschnitt 4 auch nach innen statt nach aussen gerichtet sein könnte, gibt es einen Übergangsbereich 45 zwischen dem rohrförmigen Abschnitt 3 und dem Stabilisierungsabschnitt 4. In dem Übergangsbereich gibt es eine an die Aussenverzahnung anschliessende äussere Restverzahnung mit Zahnköpfen 45a, in welcher die Verzahnungstiefe der Restverzahnung langsam abnimmt, nämlich von der Verzahnungstiefe  $t_7$  der Aussenverzahnung auf null. Ein Winkel der Abnahme der Verzahnungstiefe kann beispielsweise wie weiter oben beschrieben definiert werden: Die Punkte, an denen die Restverzahnung eine Verzahnungstiefe von 90% der Verzahnungstiefe  $t_7$  der Aussenverzahnung hat bzw. nur noch 10% der Verzahnungstiefe  $t_7$  der Aussenverzahnung hat, sind in Fig. 4 dort, wo die gepunkteten Linien rechtwinklig die Richtung ändern. Die dicke gestrichelte Linie bildet mit der Längsachse Z denselben Winkel wie eine Gerade durch die beiden genannten Punkte, ist aber der Übersichtlichkeit halber nicht dort gezeichnet. Der Winkel beträgt in Fig. 4 etwa  $20^\circ$ .

**[0215]** In Fig. 4 ist unabhängig davon auch noch dargestellt, dass der Übergangsbereich 45, der im übrigen einen Bereich beschreibt, der entlang der Längsachse Z erstreckt ist, einen unverzahrten Abschnitt aufweisen kann und/oder einen nicht mit dem Prägewerkzeug 2 bearbeiteten Bereich aufweisen kann.

**[0216]** Wie weiter oben schon erwähnt, bilden sich weitere für das Herstellungsverfahren charakteristische Strukturen auch dort in einem Übergangsbereich 45 aus, wo nahe einem Stabilisierungsabschnitt eine innenlie-

gende Restverzahnung erzeugt wird, zum Beispiel weil für das Erzeugen der Innen- und der Aussenverzahnung ein Prägewerkzeug verwendet wird, das länger ist als die Länge der Innenverzahnung. Figs. 5 und 6 zeigen entsprechende Beispiele.

**[0217]** Fig. 5 zeigt ein Detail eines Werkstücks 1, das bereits zum verzahnten Hohlrad 1a umgeformt ist, mit einem von der Längsachse Z weg gerichteten Stabilisierungsabschnitt 4 zur Veranschaulichung einer innenliegenden Restverzahnung mit Wulst 45w, in einem durch die Längsachse Z verlaufenden Schnitt durch einen Zahnfuß 6b der Innenverzahnung. Der Schnitt verläuft somit auch durch einen Zahnfuß 45b der innenliegenden Restverzahnung. Pro Zahnfuß 6b der Innenverzahnung bildet sich ein Wulst 45w. Diese kann wie in Fig. 5 illustriert, axial vorstehen.

**[0218]** Fig. 6 zeigt ein Detail eines Werkstücks 1, das bereits zum verzahnten Hohlrad 1a umgeformt ist, mit einem von der Längsachse Z weg gerichteten Stabilisierungsabschnitt 4 zur Veranschaulichung einer innenliegenden Restverzahnung, in einem durch die Längsachse Z verlaufenden Schnitt durch einen Zahnkopf 6a der Innenverzahnung. Der Schnitt verläuft somit auch durch einen Zahnkopf 45i der innenliegenden Restverzahnung. Wie in Fig. 6 ersichtlich ist, weist die innenliegende Restverzahnung einen Kopfkreisdurchmesser auf, der kleiner ist als ein Kopfkreisdurchmesser der Innenverzahnung. Insbesondere ist der kleinste Kopfkreisdurchmesser der Restverzahnung kleiner als der Kopfkreisdurchmesser der Innenverzahnung. Der halbe minimale Kopfkreisdurchmesser der innenliegenden Restverzahnung ist in Fig. 6 als  $k_{45}$  angeschrieben, und der halbe Kopfkreisdurchmesser der Innenverzahnung ist als  $k_6$  angeschrieben.

**[0219]** Weil die beschriebenen Hohlräder dünnwandig sind, können diese unter Belastung eher zu elastischen Verformungen neigen. Für ein gutes Laufverhalten kann es darum zuträglich sein, eine Längsballigkeit der Innenverzahnung vorzusehen. Kantenträger sind auf diese Weise vermeidbar. Dies kann erreicht werden durch eine entsprechende Ausbildung des Prägewerkzeugs 2.

**[0220]** Fig. 7a zeigt ein Detail eines Prägewerkzeuges 2, in einem Schnitt senkrecht zum Verlauf des Werkzeugkopfes 2k, also in der gleichen Weise wie in Figs. 2a, 2b.

**[0221]** Fig. 7b zeigt ein Detail des Prägewerkzeuges 2 aus Fig. 7a, aber in einem Schnitt parallel zum Verlauf des Werkzeugkopfes 2k, entlang der gestrichelten Linie aus Fig. 7a durch die Werkzeugflanken 2f. In Fig. 7b ist eine Konkavität des Prägewerkzeugs 2 zu erkennen, mittels der die Längsballigkeit erzeugt werden kann. Diese ist in Fig. 7b allerdings übertrieben gross dargestellt. Die Werkzeugflanken 2f sind durch ihre Konkavität zur Ausbildung der Längsballigkeit der Innenverzahnung ausgebildet.

**[0222]** Figs. 8a bis 8c veranschaulichen ein Geradverzahnung, eine Schrägverzahnung bzw. eine Pfeilverzahnung. All diese und noch weitere Verzahnungen lassen sich mittels des beschriebenen Verfahrens herstellen.



Die breiten schwarzen Linien geben die Lage der Zahnköpfe 6a der Innenverzahnung wieder. Die eingezeichnete gestrichelte Linie entspricht einer Achse Z' an, die parallel zur Längsachse Z verläuft. Die Darstellung kann so verstanden werden, dass sie gedanklich gewonnen werden kann, indem das Hohlrad aufgeschnitten wird und dann mit nach unten zeigender Aussenverzahnung auf eine Ebene gedrückt (flachgedrückt) wird.

**[0223]** In Fig. 8b bezeichnet  $\beta$  den Schrägungswinkel der Schrägverzahnung.

**[0224]** Fig. 9 zeigt eine Veranschaulichung eines Planetengetriebes 20 mit einem Sonnenrad 22, drei Planetenrädern 24 und einem Hohlrad 1a der hier beschriebenen Art. Die entsprechenden Aussenverzahnungen der Räder 22, 24, 1a sind durch die dicken Linien veranschaulicht. Die dünn gezeichnete Kreislinie aussen illustriert die Aussenverzahnung 7 des Hohlrades 1a. Stabilisierungsabschnitte sind in Fig. 9 nicht dargestellt.

**[0225]** Fig. 10 veranschaulicht ein Hohlradbauteil 10, aufweisend ein Hohlrad 1a, das in Fig. 10 übertrieben dünnwandig und ohne Stabilisierungsabschnitt dargestellt ist, und einen damit formschlüssig verbundenen Körper 11, in einen Schnitt senkrecht zur Längsachse Z. Zum Beispiel kann der Körper 11 aus einem Kunststoff sein. Der Körper 11 kann beispielsweise an das Hohlrad 1a, genauer: an dessen Aussenverzahnung, angegossen sein.

**[0226]** In der beschriebenen Weise können neuartige, insbesondere leichtbaugereignete Hohlräder, Bauteile und Getriebe geschaffen werden. Die entsprechenden innenliegenden Zylinderverzahnungen können wirtschaftlich und mit grosser Präzision erzeugt werden. Der mindestens eine Kragen, sei er nach innen oder nach aussen gerichtet, ermöglicht eine Formstabilität während der Fertigung, die für hochgenaue Verzahnungen notwendig ist.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Hohlrades (1a), das eine Innenverzahnung und eine Aussenverzahnung aufweist, wobei die Innenverzahnung eine Laufverzahnung ist, wobei ein Werkstück durch mindestens ein Prägewerkzeug (2) bearbeitet wird, wobei das Werkstück einen rohrförmigen Abschnitt (3) mit einer Längsachse (Z) aufweist sowie mindestens einen mit dem rohrförmigen Abschnitt (3) verbundenen ersten Stabilisierungsabschnitt (4; 4') zur Formstabilisierung des rohrförmigen Abschnitts (3) während der Bearbeitung durch das mindestens eine Prägewerkzeug (2), wobei eine Matrize (5) bereitgestellt wird, die zur Aufnahme des rohrförmigen Abschnitts (3) eine rohrförmige Öffnung (5o) aufweist, in welcher eine innenliegende Matrizenverzahnung (5z) ausgebildet ist, und der rohrförmige Abschnitt (3) in die rohrförmige Öffnung (5o) eingebracht wird und anschliessend das Werkstück durch das min-

destens ein Prägewerkzeug (2) zur gleichzeitigen Erzeugung der Innenverzahnung und der Aussenverzahnung an der Innenseite des in die rohrförmige Öffnung (5o) eingebrachten rohrförmigen Abschnitts (3) bearbeitet wird, indem das Werkstück eine Rotationsbewegung mit zeitlich variierender Rotationsgeschwindigkeit um die genannte Längsachse (Z) durchführt und das mindestens ein Prägewerkzeug (2) radial oszillierende Bewegungen durchführt, die mit der genannten Rotationsbewegung synchronisiert sind, so dass das mindestens ein Prägewerkzeug (2) den rohrförmigen Abschnitt (3) zum Erzeugen der Aussenverzahnung bei gleichzeitigem Erzeugen der Innenverzahnung durch wiederholtes hämmern des Bearbeiten des rohrförmigen Abschnitts (3) in die Matrizenverzahnung (5z) einformt, wobei der Begriff radial Ausrichtungen senkrecht zu der Längsachse (Z) kennzeichnet.

2. Verfahren gemäss Anspruch 1, wobei vor dem Einbringen des rohrförmigen Abschnitts (3) in die rohrförmige Öffnung (5o) eine Materialstärke des Werkstücks in dem rohrförmigen Abschnitt (3) weniger als das Doppelte, insbesondere weniger als das 1.5-fache einer Verzahnungstiefe ( $t_6$ ) der Innenverzahnung beträgt.

3. Verfahren gemäss Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei das mindestens ein Prägewerkzeug (2) einen Wirkbereich (2w) aufweist, der einen Werkzeugkopf (2k) und zwei daran angrenzende Werkzeugflanken (2f) aufweist, insbesondere wobei der Wirkbereich (2w) eine Form aufweist, die ein Negativ einer Form einer Zahnücke der Innenverzahnung ist.

4. Verfahren gemäss Anspruch 3, wobei das mindestens ein Prägewerkzeug (2) zwei jeweils an eine der zwei Werkzeugflanken (2f) angrenzende Kalibrierbereiche (2x) aufweist, deren Form jeweils ein Negativ einer Form eines Abschnitts eines Zahnkopfes (6a) der Innenverzahnung ist.

5. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der erste Stabilisierungsabschnitt (4; 4')

- einen mit dem rohrförmigen Abschnitt (3) zusammen einstückig ausgebildeten nicht-verzahnnten Kragen des Hohlrades (1a) bildet, der auf die Längsachse zu oder von der Längsachse (Z) weg gerichtet ist, und/oder

- eine umlaufende, gegenüber dem rohrförmigen Abschnitt (3) gewinkelte Stirnfläche des Hohlrades (1a) bildet, insbesondere wobei der erste Stabilisierungsabschnitt (4; 4') eine Kreisringform oder eine rotationssymmetrische Kegelstumpmantelform beschreibt.

6. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei

- der erste Stabilisierungsabschnitt (4; 4') einen maximalen Abstand von der Längsachse (Z) aufweist, der um mindestens das 0.25-fache einer Verzahnungstiefe ( $t_6$ ) der Innenverzahnung grösser ist als ein maximaler Abstand, den der rohrförmige Abschnitt (3) von der Längsachse (Z) hat, insbesondere wobei der erste Stabilisierungsabschnitt (4; 4') einen Aussendurchmesser hat, der um mindestens das 0.5-fache einer Verzahnungstiefe ( $t_6$ ) der Innenverzahnung grösser ist als ein Aussendurchmesser des rohrförmigen Abschnitts (3);  
 oder  
 - der erste Stabilisierungsabschnitt (4; 4') einen minimalen Abstand von der Längsachse (Z) hat, der um mindestens das 0.25-fache einer Verzahnungstiefe ( $t_6$ ) der Innenverzahnung geringer ist als ein minimaler Abstand, den der rohrförmige Abschnitt (3) von der Längsachse hat, insbesondere wobei der erste Stabilisierungsabschnitt (4; 4') einen Innendurchmesser hat, der um mindestens das 0.5-fache einer Verzahnungstiefe ( $t_6$ ) der Innenverzahnung geringer ist als der Innendurchmesser des rohrförmigen Abschnitts (3).

7. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Werkstück (1) einen zweiten Stabilisierungsabschnitt (4; 4') aufweist, und wobei mindestens einer der zwei Stabilisierungsabschnitte (4; 4') auf die Längsachse (Z) zu gerichtet ist, und insbesondere wobei ein minimaler Abstand, den dieser von der Längsachse (Z) hat, geringer ist als ein minimaler Abstand, den ein Zahnkopf (6a) der Innenverzahnung von der Längsachse (Z) hat.

8. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Innenverzahnung als eine Hochverzahnung ausgebildet ist mit einer Verzahnungstiefe ( $t_6$ ) von mehr als dem 2.0-fachen eines Normalmoduls der Innenverzahnung, insbesondere mit einer Verzahnungstiefe ( $t_6$ ) von mindestens dem 2.4-fachen eines Normalmoduls der Innenverzahnung.

9. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei eine Verzahnungstiefe ( $t_7$ ) der Aussenverzahnung kleiner ist als eine Verzahnungstiefe der Matrizenverzahnung (5z) und kleiner ist als eine Verzahnungstiefe ( $t_6$ ) der Innenverzahnung.

10. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die Innenverzahnung eine Geradverzahnung oder eine Schrägverzahnung oder eine Pfeilverzahnung ist.

11. Verfahren zum Herstellen eines Planetengetriebes (20), umfassend, dass ein Hohlrad (1a) durch ein Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 10 hergestellt wird, und weiter umfassend das Bereitstellen mindestens eines aussenverzahnten Zahnrades und ein Einbringen des Zahnrades in das Hohlrad (1a).

12. Vorrichtung zur Herstellung von Hohlrädern, die eine Innenverzahnung und eine Aussenverzahnung aufweisen, wobei die Innenverzahnung eine Laufradverzahnung ist, aufweisend

- eine Matrize (5), die zur Aufnahme eines rohrförmigen Abschnitts (3) eines Werkstücks (1) eine rohrförmige Öffnung (5o) aufweist, in welcher eine innenliegende Matrizenverzahnung (5z) ausgebildet ist;  
 - einen um eine Längsachse (Z) rotierbaren Matrizenhalter (15) zur Halterung der Matrize (5), derart, dass ein rohrförmiger Abschnitt (3) eines in die Matrize (5) aufgenommenen Werkstücks an seiner Innenseite bearbeitbar ist;  
 - einen Drehantrieb für die Rotation des Matrizenhalters (15), der ausgelegt ist zur Erzeugung einer Rotation mit *zeitlich variierender Rotationsgeschwindigkeit*, insbesondere zur Erzeugung einer intermittierenden Rotation;  
 - einen Werkzeughalter (12) zum Halten mindestens eines Prägewerkzeuges (2), der zu einer senkrecht zu der Längsachse (Z) verlaufenden oszillierenden Bewegung antreibbar ist, so dass der rohrförmige Abschnitt (3) an seiner Innenseite durch das mindestens eine Prägewerkzeug (2) wiederholt, insbesondere periodisch bearbeitbar ist;  
 - eine Synchronisationsvorrichtung zur Synchronisation der mittels des Drehantriebs erzeugbaren Rotation des Matrizenhalters (15) mit der senkrecht zu der Längsachse (Z) verlaufenden oszillierenden Bewegung des Werkzeughalters (12).

13. Vorrichtung gemäss Anspruch 12, aufweisend eine Ladevorrichtung (16) zum Einführen eines rohrförmigen Abschnitts (3) eines in die Matrize (5) aufzunehmenden Werkstücks in die rohrförmige Öffnung (5o) der Matrize (5), aufweisend einen weiteren Antrieb für eine parallel zu der Längsachse (Z) verlaufende Relativbewegung von Werkstück und Matrize (5).

14. Vorrichtung gemäss Anspruch 12 oder Anspruch 13, aufweisend eine Haltevorrichtung (18) zum Fixieren einer Position eines in die Matrize (5) aufgenommenen Werkstücks relativ zu der Matrize (5) während der genannten Rotation des Matrizenhalters (15), insbesondere wobei mittels der Haltevorrichtung

(18) ein Anpressdruck erzeugbar ist, durch welchen Werkstück und Matrice (5) in axialer Richtung aufeinander zu gepresst werden.

15. Verwendung einer Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 12 bis 14 zum gleichzeitigen Erstellen einer Innenverzahnung und einer Aussenverzahnung in einem rohrförmigen Abschnitt (3) eines Werkstücks, wobei die Innenverzahnung eine Lauf-  
radverzahnung ist.

## Claims

1. A method for manufacturing a hollow wheel (1a) which comprises an internal toothing and an external toothing, wherein the internal toothing is a gear toothing, wherein a workpiece is machined by way of at least one stamping tool (2), wherein the workpiece comprises a tubular section (3) with a longitudinal axis (Z) as well as at least one first stabilisation section (4; 4') which is connected to the tubular section (3) for shape stabilisation of the tubular section (3) during the machining by way of the at least one stamping tool (2), wherein a die (5) is provided for receiving the tubular section (3), the die comprising a tubular opening (5o) in which an internal die toothing (5z) is provided, and the tubular section (3) is inserted into the tubular opening (5o), and the workpiece is subsequently machined on the inner side of the tubular section (5o) inserted into the tubular opening (3) by way of the at least one stamping tool (2) for simultaneously producing the internal toothing and external toothing, as the workpiece executes a rotation movement with a temporally varying rotation speed about said longitudinal axis (Z) and the at least one stamping tool (2) executes radially oscillating movements which are synchronised with said rotation movement, so that the at least one stamping tool (2) forms the tubular section (3) into the die toothing (5z) for producing the external toothing and simultaneously producing the internal toothing by way of repeated hammering machining of the tubular section (3), wherein the term radially characterizes alignments perpendicular to the longitudinal axis (Z).
2. The method according to claim 1, wherein a material thickness of the workpiece in the tubular section (3) is less than twice, in particular less than 1.5 times a toothing depth (t6) of the internal toothing, before the insertion of the tubular section (3) into the tubular opening (5o).
3. The method according to claim 1 or 2, wherein the at least one stamping tool (2) comprises an active region (2w) which comprises a tool head (2k) and two tool flanks (2f) adjoining the tool head, in particular wherein the active region (2w) has a shape

which is a negative of a shape of a tooth gap of the internal toothing.

4. The method according to claim 3, wherein the at least one stamping tool (2) comprises two calibrating regions (2x) adjoining one of the two tool flanks (2f) each and having a shape which is a negative of a shape of a section of a tooth tip (6a) of the internal toothing.
5. The method according to one of the claims 1 to 4, wherein the first stabilisation section (4; 4')

- forms a non-toothed collar of the hollow wheel (1a), said collar forming a unitary part together with the tubular section (3) and being directed towards the longitudinal axis or away from the longitudinal axis (Z),  
and/or

- forms a peripheral end-face of the hollow wheel (1a) which is angled with respect to the tubular section, in particular wherein the first stabilisation section (4; 4') describes an annulus shape or a rotationally symmetrical truncated cone shell shape

6. The method according to one of the claims 1 to 5, wherein

- the first stabilisation section (4; 4') has a maximal distance to the longitudinal axis (Z) which is larger than a maximal distance the tubular section (3) has to the longitudinal axis (Z) by at least 0.25 times a toothing depth (t6) of the internal toothing, in particular wherein the first stabilisation section (4; 4') has an outer diameter which is larger than an outer diameter of the tubular section (3) by at least 0.5 times a toothing depth (t6) of the internal toothing;

or

- the first stabilisation section (4; 4') has a minimal distance to the longitudinal axis (Z) which is smaller than a minimal distance the tubular section (3) has to the longitudinal axis (Z) by at least 0.25 times a toothing depth (t6) of the internal toothing, in particular wherein the first stabilisation section (4; 4') has an inner diameter which is smaller than the inner diameter of the tubular section (3) by at least 0.5 times a toothing depth (t6) of the internal toothing.

7. The method according to one of the claims 1 to 6, wherein the workpiece (1) comprises a second stabilisation section (4; 4') and wherein at least one of the two stabilisation sections (4; 4') is directed towards the longitudinal axis (Z), and in particular wherein a minimal distance the second stabilisation section has to the longitudinal axis (Z) is smaller than

a minimal distance a tooth crown (6a) of the internal toothing has to the longitudinal axis (Z).

8. The method according to one of the claims 1 to 7, wherein the internal toothing is designed as a full-depth toothing with a toothing depth (t6) of more than 2.0 times a normal module of the internal toothing, in particular with a toothing depth (t6) of at least 2.4 times a normal module of the internal toothing.
9. The method according to one of the claims 1 to 8, wherein a toothing depth (t7) of the external toothing is smaller than a toothing depth of the die toothing (5z) and is smaller than a toothing depth (t6) of the internal toothing.
10. The method according to one of the claims 1 to 9, wherein the internal toothing is a spur toothing or a helical toothing or a herringbone toothing.
11. A method for manufacturing a planetary gear (20), comprising manufacturing a hollow wheel (1a) by way of a method according to one of the claims 1 to 10, and further comprising providing at least one externally toothed gearwheel and inserting of the gearwheel into the hollow wheel (1a).
12. An apparatus for manufacturing hollow wheels which comprise an internal toothing and an external toothing, wherein the internal toothing is a gear toothing, comprising
  - a die (5) which for receiving a tubular section (3) of a workpiece (1) comprises a tubular opening (5o) in which an internal die toothing (5z) is formed;
  - a die holder (15) which is rotatable about a longitudinal axis (Z), for holding the die (5) in a manner such that a tubular section (3) of a workpiece which is received in the die (5) is machinable at its inner side;
  - a rotation drive for the rotation of the die holder (15), said drive being designed for producing a rotation with a *temporally varying rotation speed*, in particular for producing an intermittent rotation;
  - a tool holder (12) for holding at least one stamping tool (2), said tool holder being drivable into an oscillating movement which runs perpendicularly to the longitudinal axis, so that the tubular section (3) is repeatedly, in particular periodically machinable at its inner side by the at least one stamping tool (2);
  - a synchronisation device for the synchronisation of the rotation of the die holder (15) which is producible by way of the rotation drive, with the oscillating movement of the tool holder (12) which runs perpendicularly to the longitudinal

axis (Z).

13. The apparatus according to claim 12, comprising a loading device (16) for inserting a tubular section (3) of a workpiece which is to be received in the die (5), into the tubular opening (5o) of the die (5), comprising a further drive for a relative movement of the workpiece and die (5), said relative movement running parallel to the longitudinal axis (Z).
14. The apparatus according to claim 12 or claims 13, comprising a holding device (16) for fixing a position of a workpiece which is received in the die (5), relative to the die during said rotation of the die holder (15), in particular wherein a pressing pressure can be produced by way of the holding device (18), by way of which pressure the workpiece and the die (5) are pressed onto one another in the axial direction.
15. A use of an apparatus according to one of the claims 12 to 14 for simultaneously creating an internal toothing and an external toothing in a tubular section (3) of a workpiece, wherein the internal toothing is a gear toothing.

## Revendications

1. Procédé de fabrication d'une couronne (1a) qui présente une denture intérieure et une denture extérieure, la denture intérieure étant une denture de roulement, une pièce étant travaillée par au moins un outil d'estampage (2), la pièce présentant une section tubulaire (3) avec un axe longitudinal (Z) ainsi qu'au moins une première section de stabilisation (4 ; 4') pour stabiliser la forme de la section tubulaire (3) pendant l'usinage par l'au moins un outil d'estampage (2), une matrice (5) étant mise à disposition, laquelle présente une ouverture tubulaire (5o) pour recevoir la section tubulaire (3), dans laquelle est formée une denture de matrice (5z) située à l'intérieur, et la section tubulaire (3) est introduite dans l'ouverture tubulaire (5o) et ensuite la pièce est usinée par l'au moins un outil d'estampage (2) pour produire simultanément la denture intérieure et la denture extérieure sur le côté intérieur de la section tubulaire (3) introduite dans l'ouverture tubulaire (5o), en ce que la pièce à usiner effectue un mouvement de rotation à une vitesse de rotation variable dans le temps autour dudit axe longitudinal (Z) et en ce que l'au moins un outil d'estampage (2) effectue des mouvements oscillants radialement qui sont synchronisés avec ledit mouvement de rotation, de sorte que l'au moins un outil d'estampage (2) forme la section tubulaire (3) pour produire la denture extérieure tout en produisant la denture intérieure par martelage répété de la section tubulaire (3) dans la denture de matrice (5z), le terme radial désignant

des orientations perpendiculaires à l'axe longitudinal (Z).

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel, avant l'introduction de la section tubulaire (3) dans l'ouverture tubulaire (5o), une épaisseur de matériau de la pièce dans la section tubulaire (3) est inférieure au double, en particulier inférieure à 1,5 fois une profondeur de denture (t6) de la denture intérieure.

3. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, dans lequel l'au moins un outil d'estampage (2) présente une zone active (2w) qui comporte une tête d'outil (2k) et deux flancs d'outil (2f) adjacents à celle-ci, en particulier dans lequel la zone active (2w) présente une forme qui est un négatif d'une forme d'un entredent de la denture intérieure.

4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel l'au moins un outil d'estampage (2) présente deux zones de calibrage (2x) respectivement adjacentes à l'un des deux flancs d'outil (2f), dont la forme est respectivement un négatif d'une forme d'une portion d'une tête de dent (6a) de la denture intérieure.

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel la première section de stabilisation (4 ; 4')

- forme un collet non denté de la roue creuse (1a), ledit collet formant une partie unitaire avec la section tubulaire (3) et étant dirigé vers l'axe longitudinal ou éloigné de l'axe longitudinal (Z) ; et/ou

- forme une surface frontale périphérique de la couronne (1a), inclinée par rapport à la section tubulaire (3), en particulier dans laquelle la première section de stabilisation (4 ; 4') décrit une forme d'anneau circulaire ou une forme d'enveloppe tronconique à symétrie de révolution.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel

- la première section de stabilisation (4 ; 4') présente une distance maximale par rapport à l'axe longitudinal (Z) qui est supérieure d'au moins 0.25 fois une profondeur de denture (t6) de la denture intérieure est supérieure à une distance maximale que la section tubulaire (3) présente par rapport à l'axe longitudinal (Z), en particulier dans lequel la première section de stabilisation (4 ; 4') présente un diamètre extérieur qui est supérieur d'au moins 0,5 fois une profondeur de denture (t6) de la denture intérieure à un diamètre extérieur de la section tubulaire (3) ; ou

- la première section de stabilisation (4 ; 4') a une distance minimale de l'axe longitudinal (Z)

qui est d'au moins 0.25 fois une profondeur de denture (t6) de la denture intérieure est inférieure à une distance minimale que la section tubulaire (3) a par rapport à l'axe longitudinal, en particulier dans lequel la première section de stabilisation (4 ; 4') a un diamètre intérieur qui est inférieur d'au moins 0,5 fois une profondeur de denture (t6) de la denture intérieure au diamètre intérieur de la section tubulaire (3).

7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel la pièce (1) comporte une deuxième portion de stabilisation (4 ; 4'), et dans lequel au moins l'une des deux portions de stabilisation (4 ; 4') est dirigée vers l'axe longitudinal (Z), et en particulier dans lequel une distance minimale qu'elle présente par rapport à l'axe longitudinal (Z) est inférieure à une distance minimale qu'une tête de dent (6a) de la denture intérieure présente par rapport à l'axe longitudinal (Z).

8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel la denture intérieure est réalisée sous forme d'une denture haute avec une profondeur de denture (t6) supérieure à 2,0 fois un module normal de la denture intérieure, en particulier avec une profondeur de denture (t6) d'au moins 2,4 fois un module normal de la denture intérieure.

9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel une profondeur de denture (t7) de la denture extérieure est inférieure à une profondeur de denture de la denture de matrice (5z) et est inférieure à une profondeur de denture (t6) de la denture intérieure.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel la denture intérieure est une denture droite ou une denture oblique ou une denture en flèche.

11. Procédé de fabrication d'un engrenage planétaire (20), comprenant la fabrication d'une couronne (1a) par un procédé selon l'une des revendications 1 à 10, et comprenant en outre la fourniture d'au moins une roue dentée à denture extérieure et l'insertion de la roue dentée dans la couronne (1a).

12. Dispositif pour la fabrication de couronnes, qui présentent une denture intérieure et une denture extérieure, la denture intérieure étant une denture de roulement, comprenant

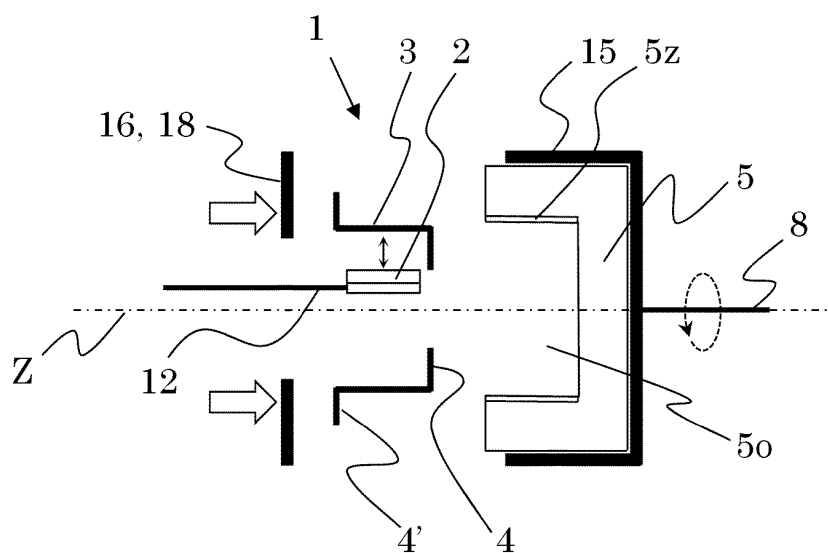
- une matrice (5) qui, pour recevoir une section tubulaire (3) d'une pièce (1), présente une ouverture tubulaire (5o) dans laquelle est formée une denture de matrice intérieure (5z) ;

- un porte-matrice (15) pouvant tourner autour d'un axe longitudinal (Z) pour maintenir la ma-

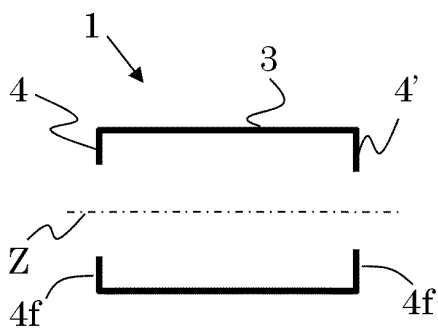
- trice (5) de telle sorte qu'une section tubulaire (3) d'une pièce reçue dans la matrice (5) puisse être usinée sur sa face intérieure ;
- un entraînement rotatif pour la rotation du porte-matrice (15), qui est configuré pour générer une rotation avec une vitesse de rotation variable dans le temps, en particulier pour générer une rotation intermittente ; 5
  - un porte-outil (12) pour maintenir au moins un outil d'estampage (2), qui peut être entraîné à un mouvement oscillant s'étendant perpendiculairement à l'axe longitudinal (Z), de sorte que la section tubulaire (3) peut être usiné de manière répétée, en particulier périodiquement, sur son côté intérieur par le au moins un outil d'estampage (2) ; 10 15
  - un dispositif de synchronisation pour synchroniser la rotation du porte-matrice (15), qui peut être générée au moyen de l'entraînement en rotation, avec le mouvement oscillant du porte-outil (12), qui s'étend perpendiculairement à l'axe longitudinal (Z). 20
13. Dispositif selon la revendication 12, présentant un dispositif de chargement (16) pour l'introduction d'une section tubulaire (3) d'une pièce à recevoir dans la matrice (5) dans l'ouverture tubulaire (5a) de la matrice (5), présentant un autre entraînement pour un mouvement relatif de la pièce et de la matrice (5) s'étendant parallèlement à l'axe longitudinal (Z). 25 30
14. Dispositif selon la revendication 12 ou la revendication 13, présentant un dispositif de support (18) pour fixer une position d'une pièce reçue dans la matrice (5) par rapport à la matrice (5) pendant ladite rotation du porte-matrice (15), en particulier le dispositif de support (18) permettant de générer une pression d'appui par laquelle la pièce et la matrice (5) sont pressées l'une vers l'autre dans la direction axiale. 35 40
15. Utilisation d'un dispositif selon l'une des revendications 12 à 14 pour produire simultanément une denture intérieure et une denture extérieure dans une portion tubulaire (3) d'une pièce, la denture intérieure étant une denture de roulement. 45

50

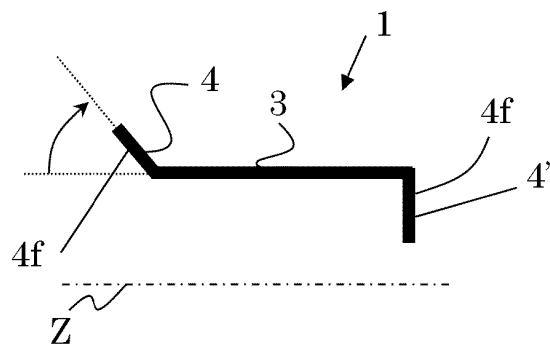
55



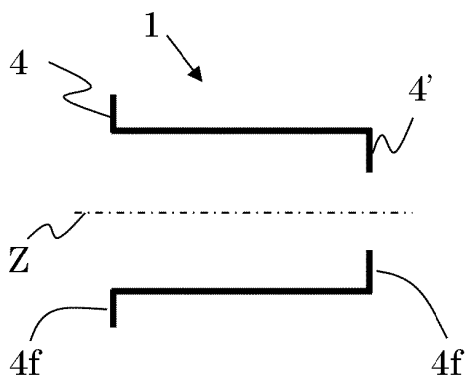
**Fig. 1**



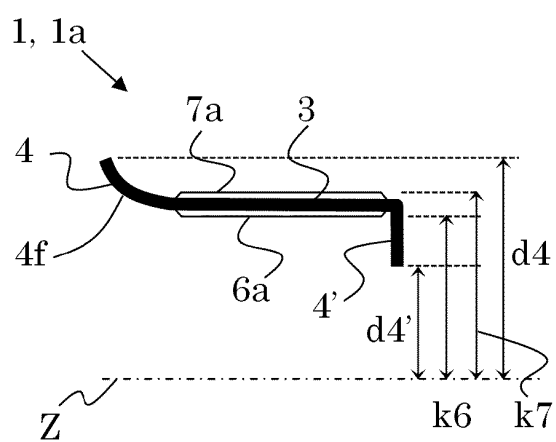
**Fig. 3a**



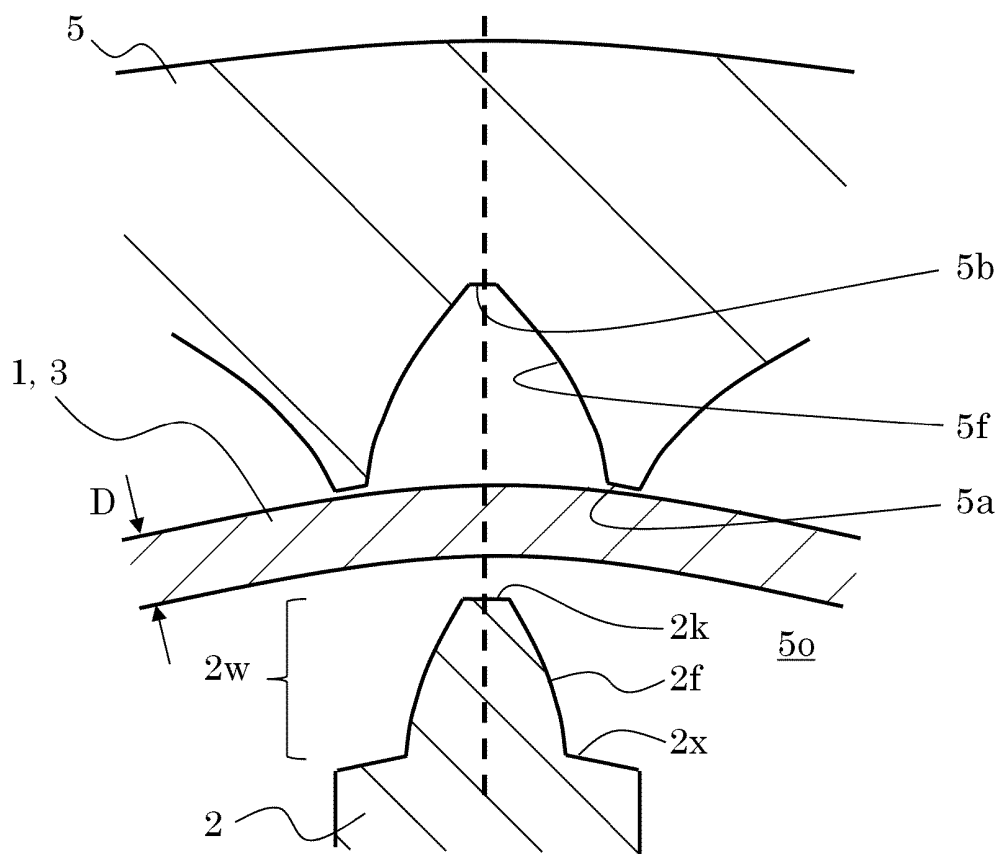
**Fig. 3c**



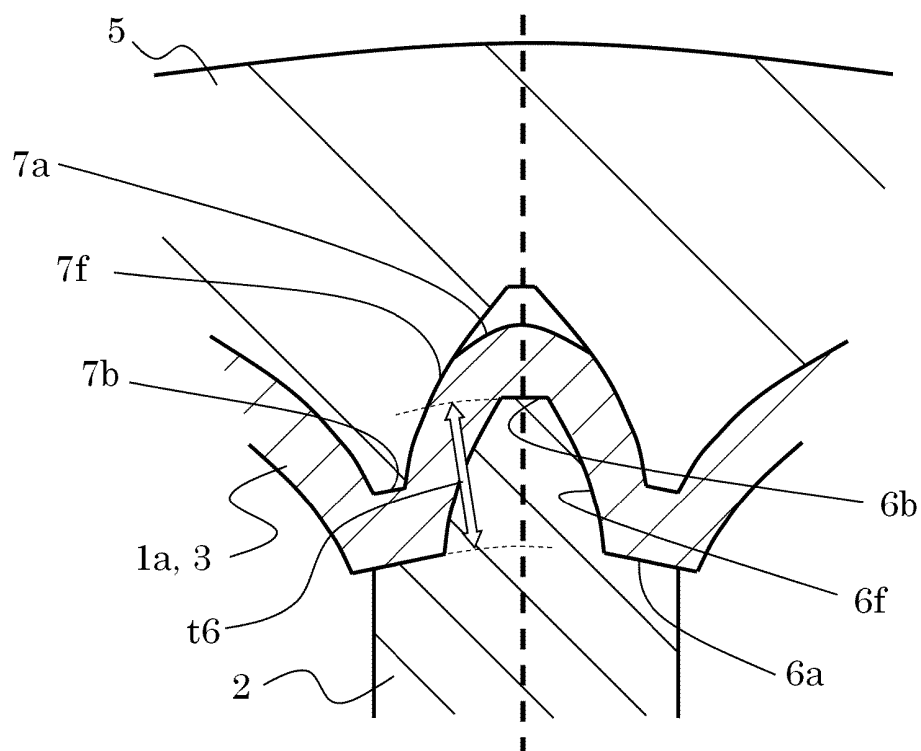
**Fig. 3b**



**Fig. 3d**

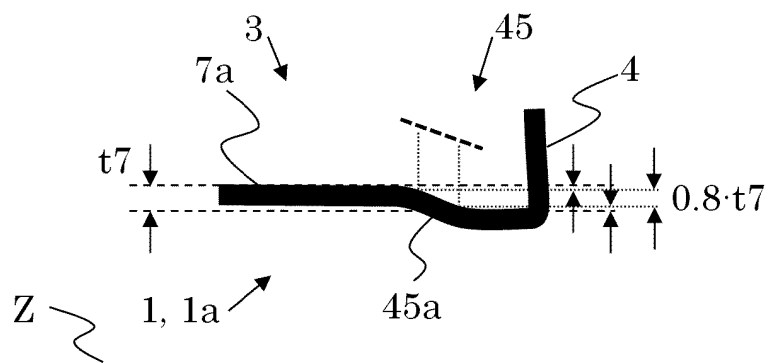


**Fig. 2a**

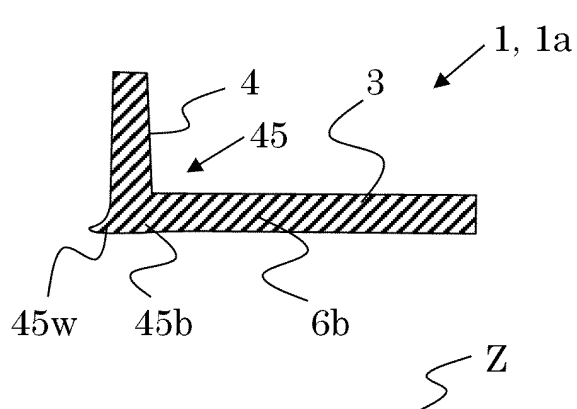


**Fig. 2b**

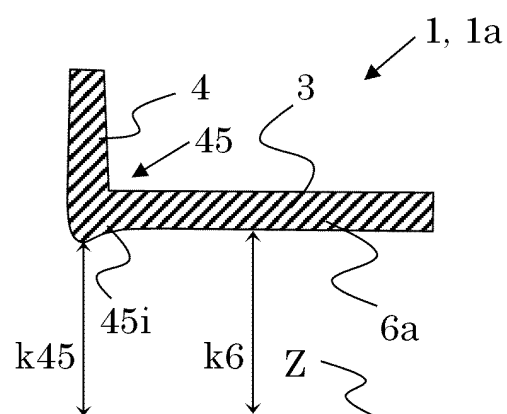




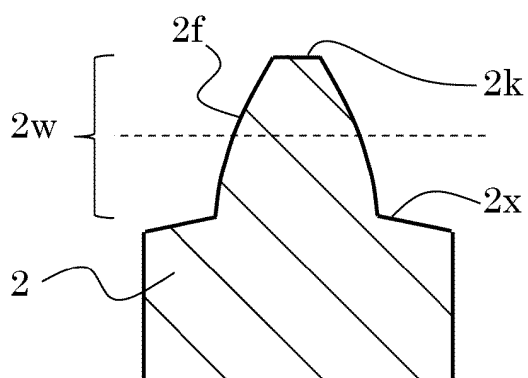
**Fig. 4**



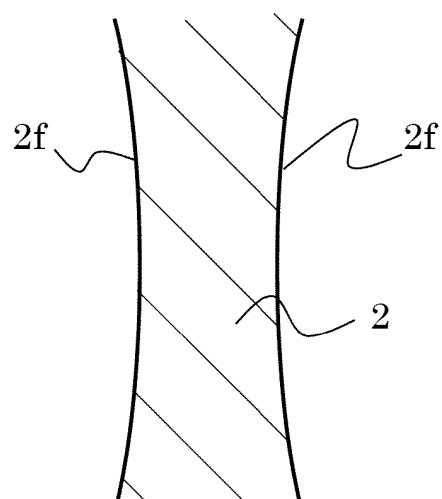
**Fig. 5**



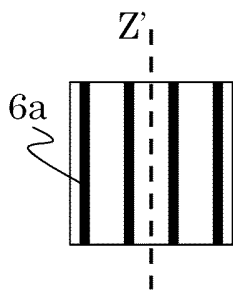
**Fig. 6**



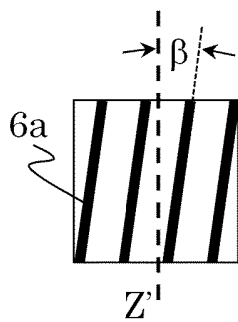
**Fig. 7a**



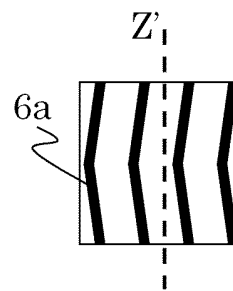
**Fig. 7b**



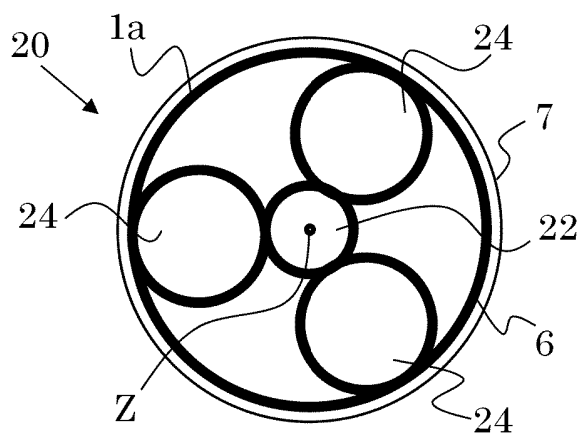
**Fig. 8a**



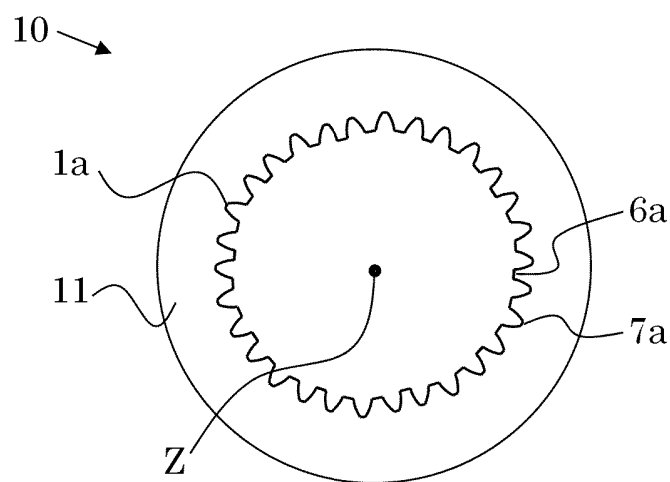
**Fig. 8b**



**Fig. 8c**



**Fig. 9**



**Fig. 10**

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- WO 2013159241 A1 [0007] [0021]
- DE 3715393 C2 [0009]
- CH 670970 A5 [0009]
- CH 675840 A5 [0009]
- CH 685542 A5 [0009]
- EP 0688617 B1 [0009]
- WO 2007009267 A1 [0011]