



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2020 208 810.1**

(22) Anmeldetag: **15.07.2020**

(43) Offenlegungstag: **20.01.2022**

(51) Int Cl.: **F16H 55/08 (2006.01)**

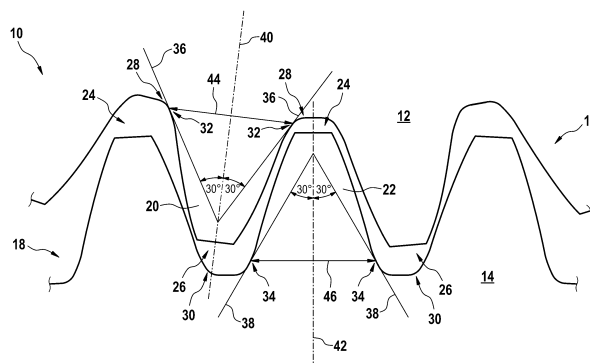
(71) Anmelder:
**Robert Bosch Gesellschaft mit beschränkter
Haftung, 70469 Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:
**Szemerszky, Gabor, 71732 Tamm, DE; Jung,
Philipp, 74321 Bietigheim-Bissingen, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Zahnradpaar für ein Getriebe und Verfahren zum Auslegen von Zahndicken an Zahnrädern eines Zahnradpaars**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Zahnradpaar (10) für ein Getriebe, mit einem ersten Zahnrad (12) und einem zweiten Zahnrad (14), wobei die Zahnräder (12, 14) eingerichtet und bestimmt sind, um miteinander zu kämmen, wobei die Zahnräder (12, 14) jeweils eine Verzahnung (16, 18) aufweisen, in der abwechselnd ein Zahn (20, 22) und ein Zahnzwischenraum (24, 26) aufeinander folgen, wobei im Bereich des Zahnzwischenraums (24, 26) jeweils eine Zahnfußausrundung (28, 30) vorgesehen ist. Es wird vorgeschlagen, dass der Zahn (20, 22) an beiden Zahnflanken jeweils einen Berührungspunkt (32, 34) zu einer 30°-Tangente (36, 38) aufweist, wobei die 30°-Tangente (36, 38) unter einem Winkel von 30° zu einer Zahnmittelachse (40, 42) orientiert ist und die Zahnfußausrundung (28, 30) am Berührungspunkt (32, 34) berührt, wobei die Länge einer Sehne (44, 46), die die Berührungspunkte (32, 34) an den Zahnflanken des Zahns (20, 22) miteinander verbindet, jeweils eine Zahndicke am Berührungspunkt der 30°-Tangente definiert, wobei das Verhältnis der Zahndicken am Berührungspunkt der 30°-Tangente des ersten Zahnrads (12) zum zweiten Zahnrad (14) im Bereich von 2,3 : 1,7 bis 1,7 : 2,3 liegt.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft ein Zahnradpaar für ein Getriebe gemäß Oberbegriff von Anspruch 1. Zudem betrifft die Erfindung ein Getriebe und eine Antriebseinheit mit den Merkmalen der nebengeordneten Ansprüche. Weiter betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Auslegen von Zahndicken an Zahnradern eines Zahnradpaars gemäß Oberbegriff des weiter nebengeordneten Anspruchs.

[0002] Die Anforderungen an geräuscharme Verzahnungen und Getriebe nehmen stetig zu, wodurch die Erfüllung von NVH-Zielen (Ziele hinsichtlich „Noise, Vibration, Harshness“, d.h. hinsichtlich Geräusch, Vibration, Rauigkeit) eine wachsende Herausforderung in der Auslegung von Getriebe-Verzahnungen darstellt. Verzahnungsgeräusche stellen ein Schwingungsphänomen dar. Eine zentrale Rolle in der Geräuschoptimierung von Verzahnungen spielt daher die Reduktion der Schwingungsanregung während des Zahneingriffs.

[0003] Eine Hauptursache für die Schwingungsanregung im Zahneingriff ist die elastische Verformung der sich im Eingriff befindlichen Zähne. Durch die Kräfte auf die Zahnflanken verformen sich die Zähne im Eingriff elastisch. Dadurch kommt es zu kurzzeitigen Teilungsfehlern (Änderungen in den Zahnabständen) an den im Eingriff befindlichen Zähnen.

[0004] Ein Teilungsfehler führt dazu, dass das gerade in den Eingriff einlaufende Zahnpaar nicht optimal, sondern bei Verkleinerung des Zahnabstandes zu früh bzw. bei Vergrößerung des Zahnabstandes zu spät in Kontakt kommt. Analog dazu verlässt das gerade aus dem Eingriff auslaufende Zahnpaar den Eingriff zu früh bzw. zu spät.

[0005] In beiden Fällen erfährt die Verzahnung mit jedem neu in den Eingriff einlaufenden oder gerade aus dem Eingriff auslaufenden Zahnpaar einen Stoß, der eine gleichförmige Rotationsbewegung der beiden Zahnradern behindert. Dadurch entsteht eine Schwingung, die sich der Rotationsbewegung der Zahnradern überlagert.

[0006] Je nach Frequenz (Drehzahl) und Amplitude (Stärke des Stoßes) ist diese Schwingung hörbar und stellt damit einen Qualitätsmangel in modernen Verzahnungen und Getrieben, bspw. in Fahrzeuggetrieben, dar.

[0007] DE 10 2004 037 540 B4 offenbart einen Getriebering für ein Spannungswellengetriebe, wobei offenbart wird, in wenigstens einer Zahnücke mindestens eine sich in den Grundkörper des Getrieberings erstreckende Hinterschneidung vorzusehen. Hierdurch können Deformationen des Zahnrades bzw. des Getrieberings aufgenommen werden.

[0008] EP 2 813 733 B1 offenbart ein Zahnrad mit einer Evolventenzahnflanke mit besonderer Geometrie.

Offenbarung der Erfindung

[0009] Das der Erfindung zugrunde liegende Problem wird durch ein Zahnradpaar mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen genannt.

[0010] Erfindungsgemäß wird ein Zahnradpaar für ein Getriebe vorgeschlagen, welches ein erstes Zahnrad und ein zweites Zahnrad aufweist, wobei die Zahnradern eingerichtet und bestimmt sind, um miteinander zu kämmen. Die Zahnradern weisen jeweils eine Verzahnung auf, in der (entlang der Umfangsrichtung) abwechselnd ein Zahn und ein Zahnzwischenraum aufeinanderfolgen. Im Bereich des Zahnzwischenraums ist jeweils eine Zahnfußausrundung vorgesehen. Der Zahn weist an beiden Zahnflanken jeweils einen Berührungspunkt zu einer 30°-Tangente auf, wobei die 30°-Tangente unter einem Winkel von 30° zu einer Zahnmittellachse orientiert ist und die Zahnfußausrundung am Berührungspunkt berührt. Die Länge einer Sehne (Zahndickensehne), die die Berührungspunkte an den Zahnflanken des Zahns (ein und derselbe Zahn) miteinander verbindet, (am Berührungspunkt der 30°-Tangente) definiert eine Zahndicke am Berührungspunkt der 30°-Tangente. Die Zahndicken am Berührungspunkt der 30°-Tangente der Zahnradern sind derart aufeinander abgestimmt, dass das Verhältnis der Zahndicken am Berührungspunkt der 30°-Tangente des ersten Zahnrad zum zweiten Zahnrad im Bereich von 2,3 : 1,7 (größere Zahndicke am Berührungspunkt der 30°-Tangente am ersten Zahnrad) bis 1,7: 2,3 (größere Zahndicke am Berührungspunkt der 30°-Tangente am zweiten Zahnrad) liegt.

[0011] Durch eine solche Ausgestaltung kann das geometrische Optimum zur Reduktion der Schwingungsanregung erzielt werden. Dies wird erreicht durch eine optimierte Zahngeometrie an erstem Zahnrad und zweitem Zahnrad, welche die Eingriffssteifigkeit maximiert und zu einer aufeinander abgestimmten Verformung der Zahnradpaare führt. Dies kann das Laufgeräusch von miteinander in Eingriff befindlichen Zahnradern in erheblichem Maße reduzieren und führt daher zu einem Komfortgewinn.

[0012] Bei dem ersten Zahnrad und dem zweiten Zahnrad kann es sich jeweils um ein Rad und um ein Ritzel handeln. Es sei angemerkt, dass die Zähnezahl eines Zahnrades und die Zahndicke, jedenfalls in einem gewissen Umfang, voneinander unabhängig sind. Dies bedeutet, dass bspw. ein Zahnrad mit geringerer Zähnezahl (Ritzel) eine größere oder eine geringere Zahndicke aufweisen kann als ein Zahnrad mit größerer Zähnezahl als das Ritzel.

[0013] Das erste Zahnrad und das zweite Zahnrad sind insbesondere derart ausgebildet, dass diese stirnseitig jeweils eine umlaufende Verzahnung aufweisen. Sind die Zahnräder derart zueinander angeordnet, dass die Verzahnung miteinander eingreifen, kämmen die Zahnräder stirnseitig miteinander.

[0014] Das erste Zahnrad und das zweite Zahnrad sind jeweils als Stirnrad ausgebildet, insbesondere mit einer Evolventenverzahnung. Bei der Zahnmittelachse handelt es sich insbesondere um eine Symmetrieachse eines Zahns. Insbesondere handelt es sich bei der Zahnmittelachse um eine Achse, zu der das Zahnprofil des betreffenden Zahns achsensymmetrisch ist.

[0015] Gemäß einer Weiterbildung können die Zahndicken am Berührungspunkt der 30°-Tangente der Zahnräder derart aufeinander abgestimmt sein, dass das Verhältnis der Zahndicken am Berührungspunkt der 30°-Tangente des ersten Zahnrads zum zweiten Zahnrad im Bereich von 2,1 : 1,9 (größere Zahndicke am Berührungspunkt der 30°-Tangente am ersten Zahnrad) bis 1,9: 2,1 (größere Zahndicke am Berührungspunkt der 30°-Tangente am zweiten Zahnrad) liegt. Dies trägt zu einer verbesserten Eingriffssteifigkeit bei, so dass die Schwingungsanregung weiter reduziert werden kann.

[0016] Gemäß einer Weiterbildung können die Zahndicken am Berührungspunkt der 30°-Tangente der Zahnräder derart aufeinander abgestimmt sein, dass das erste Zahnrad und das zweite Zahnrad am Berührungspunkt der 30°-Tangente identische Zahndicken bzw. eine identische Zahndicke am Berührungspunkt der 30°-Tangente aufweisen. Mit anderen Worten kann das Verhältnis der Zahndicken am Berührungspunkt der 30°-Tangente des ersten Zahnrads zum zweiten Zahnrad 2:2 bzw. 1:1 betragen. Hiermit kann das Optimum der Eingriffssteifigkeit erreicht werden, was zu einer Minimierung der Schwingungsanregung führt.

[0017] Der Grundgedanke der Erfindung wird nachfolgend genauer erläutert. Bei einem Zahneingriff von miteinander kämmenden Zahnrädern belasten sich die in Kontakt befindlichen Zähne gegenseitig mit einer Biegebelastung. Jeder Zahn kann dabei als ein Biegebalken angesehen werden, der sich um seine Basis biegt. Die Steifigkeit dieser Basis ist somit entscheidend für die Biegesteifigkeit eines Zahns.

[0018] Aus der Literatur (ISO 6336) ist bekannt, dass bei Evolventenverzahnungen (welche bspw. im Automotive-Bereich Anwendung finden) unter Last die größte Biege-Dehnung an der 30°-Tangente im Bereich des Zahnfußes auftreten kann. Wie erläutert, ist die 30°-Tangente eine Tangente an die Zahnfußausrundung, die unter einem Winkel von 30° zur Zahnmittelachse steht. Die 30°-Tangente kann zu beiden Seiten eines Zahns (an beiden Zahnflanken) gezogen werden, wodurch sich auf beiden Seiten des Zahns ein Berührungspunkt zur 30°-Tangente ergibt. Die Länge der Sehne (Zahndickensehne) zwischen den beiden Berührungspunkten der 30°-Tangenten beschreibt die Zahndicke am Berührungspunkt der 30°-Tangente.

[0019] Übertragen auf das Biegebalkenmodell stellt die Zahndickensehne an der 30°-Tangente die oben genannte Basis dar, auf welcher der Zahn (Biegebalken) fußt. Folglich ist die Länge der Zahndickensehne an der 30°-Tangente ein Maß für die Biegesteifigkeit eines Zahnes. Nachfolgend wird ein Zahnrad als „Ritzel“ und das andere Zahnrad als „Rad“ bezeichnet (Rad und Ritzel kämmen miteinander).

[0020] Zwei im Eingriff befindliche Zähne (jeder der beiden Zähne mit seiner individuellen Biegesteifigkeit k_{Ritzel} bzw. k_{Rad}) stellen eine Reihenschaltung der beiden Biegebalken bzw. Biegesteifigkeiten dar. Somit ergibt sich die Eingriffssteifigkeit wie folgt:

$$\frac{1}{k_{\text{Eingriff}}} = \frac{1}{k_{\text{Ritzel}}} + \frac{1}{k_{\text{Rad}}}$$

Mit den Biegesteifigkeiten der Zähne k_{Ritzel} bzw. k_{Rad} :

$$k_{\text{Ritzel}} = E_{\text{Ritzel}} I_{\text{Ritzel}} \quad \text{und} \quad k_{\text{Rad}} = E_{\text{Rad}} I_{\text{Rad}}$$

Mit den werkstoffabhängigen E-Moduli E_{Ritzel} und E_{Rad} sowie den für die Biegung relevanten, axialen Flächenträgheitsmomenten I_{Ritzel} und I_{Rad} , die sich aus der Zahngeometrie ergeben.

[0021] I_{Ritzel} und I_{Rad} wiederum ergeben sich aus:

$$I_{\text{Ritzel}} = \frac{b_{\text{Ritzel}} \cdot s_{\text{nf},30,\text{Ritzel}}^3}{12} \quad \text{und} \quad I_{\text{Rad}} = \frac{b_{\text{Rad}} \cdot s_{\text{nf},30,\text{Rad}}^3}{12}$$

mit den Radbreiten b_{Ritzel} und b_{Rad} sowie den Zahndickensehnen an der 30°-Tangente $s_{\text{nf},30,\text{Ritzel}}$ und $s_{\text{nf},30,\text{Rad}}$.

[0022] Damit lässt sich die Eingriffssteifigkeit formulieren als:

$$k_{\text{Eingriff}} = \frac{1}{\frac{12}{E_{\text{Ritzel}} \cdot b_{\text{Ritzel}} \cdot s_{\text{nf},30,\text{Ritzel}}^3} + \frac{12}{E_{\text{Rad}} \cdot b_{\text{Rad}} \cdot s_{\text{nf},30,\text{Rad}}^3}}$$

wobei die E-Moduli und die Radbreiten weder von der Geometrie des Zahnprofils beeinflusst werden, noch dieses selbst beeinflussen. Sie spielen also bei der Auslegung des Zahnprofils keine oder zumindest eine vernachlässigbare Rolle und können als Konstante zusammengefasst werden:

$$k_{\text{Eingriff}} = \frac{1}{\frac{C_{\text{Ritzel}}}{s_{\text{nf},30,\text{Ritzel}}^3} + \frac{C_{\text{Rad}}}{s_{\text{nf},30,\text{Rad}}^3}}$$

So wird ersichtlich, dass die Eingriffssteifigkeit in dritter Potenz von den Längen der Zahndickensehne an den 30°-Tangenten der beiden Zahnräder abhängt. Ihr Maximum erreicht die Eingriffssteifigkeit dann, wenn die Längen der Sehnen an den 30°-Tangenten von Rad und Ritzel gleich groß sind. Dies ist in **Fig. 2** veranschaulicht.

[0023] Die eingangs genannte Aufgabe wird auch durch ein Getriebe mit den Merkmalen des nebengeordneten Anspruchs gelöst. Das Getriebe weist mindestens ein Zahnradpaar wie voranstehend beschrieben auf.

[0024] Hinsichtlich der mit dem Getriebe erzielbaren Vorteile sei auf die diesbezüglichen Ausführungen zum Zahnradpaar verwiesen. Zur weiteren Ausgestaltung des Getriebes können die im Zusammenhang mit dem Zahnradpaar beschriebenen Maßnahmen dienen.

[0025] Das Getriebe kann ein Getriebegehäuse aufweisen, an und/oder in dem die Komponenten des Getriebes angeordnet sind. Das erste Zahnrad und das zweite Zahnrad können jeweils drehbar am oder im Getriebegehäuse gelagert sein, bspw. mittels entsprechender Wellen. Das Getriebe kann ein solches Zahnradpaar oder mehrere solcher Zahnradpaare aufweisen.

[0026] Die eingangs genannte Aufgabe wird auch durch eine Antriebseinheit für ein Fahrzeug mit den Merkmalen des weiter nebengeordneten Anspruchs gelöst. Die Antriebseinheit weist eine elektrische Maschine und ein damit gekoppeltes Getriebe wie voranstehend beschrieben auf.

[0027] Hinsichtlich der mit der Antriebseinheit erzielbaren Vorteile sei auf die diesbezüglichen Ausführungen zum Zahnradpaar verwiesen. Zur weiteren Ausgestaltung der Antriebseinheit können die im Zusammenhang mit dem Zahnradpaar und/oder mit dem Getriebe beschriebenen Maßnahmen dienen.

[0028] Bei der Antriebseinheit kann vorgesehen sein, dass die elektrische Maschine das Getriebe antreibt (bspw. ist die Ausgangswelle der elektrischen Maschine mit einer Eingangswelle des Getriebes drehfest gekoppelt). Die Antriebseinheit kann bspw. als E-Achse ausgebildet sein oder Bestandteil einer E-Achse bilden.

[0029] Die eingangs genannte Aufgabe wird auch durch ein Verfahren zum Auslegen von Zahndicken an Zahnrädern mit den Merkmalen des nebengeordneten Verfahrensanspruchs gelöst.

[0030] Das Verfahren dient zum Auslegen von Zahndicken an Zahnrädern eines Zahnradpaars, insbesondere eines Zahnradpaars wie oben beschrieben. Das Zahnradpaar weist ein erstes Zahnrad und ein zweites Zahnrad auf, wobei die Zahnräder eingerichtet und bestimmt sind, um miteinander zu kämmen. Die Zahnräder weisen jeweils eine Verzahnung auf, in der (entlang der Umfangsrichtung) abwechselnd ein Zahn und ein Zahnzwischenraum aufeinanderfolgen, wobei im Bereich des Zahnzwischenraums jeweils eine Zahnfußausrundung vorgesehen ist. Der Zahn weist an beiden Zahnflanken jeweils einen Berührungspunkt zu einer 30°-Tangente auf, wobei die 30°-Tangente unter einem Winkel von 30° zu einer Zahnmittelachse orientiert ist und die Zahnfußausrundung am Berührungspunkt berührt. Die Länge einer Sehne, die die Berührungspunkte an den Zahnflanken des Zahns miteinander verbindet, definiert (am Berührungspunkt der 30°-Tangente) eine Zahndicke. Die Zahndicke am Berührungspunkt der 30°-Tangente am ersten Zahnrad und am zweiten Zahnrad wird jeweils derart abgestimmt, dass das Verhältnis der Zahndicke am Berührungspunkt der 30°-Tangente des ersten Zahnrad zum zweiten Zahnrad im Bereich von 2,3 : 1,7 (größere Zahndicke am ersten Zahnrad) bis 1,7 : 2,3 (größere Zahndicke am zweiten Zahnrad) liegt.

[0031] Hinsichtlich der damit erzielbaren Vorteile sei auf die diesbezüglichen Ausführungen zum Zahnradpaar verwiesen.

[0032] Gemäß einer Weiterbildung können die Zahndicken am Berührungspunkt der 30°-Tangente der Zahnräder derart aufeinander abgestimmt werden, dass das Verhältnis der Zahndicken am Berührungspunkt der 30°-Tangente des ersten Zahnrad zum zweiten Zahnrad im Bereich von 2,1 : 1,9 (größere Zahndicke am ersten Zahnrad) bis 1,9 : 2,1 (größere Zahndicke am zweiten Zahnrad) liegt. Dies trägt zu einer verbesserten Eingriffssteifigkeit bei, so dass die Schwingungsanregung weiter reduziert werden kann.

[0033] Gemäß einer Weiterbildung können die Zahndicken am Berührungspunkt der 30°-Tangente der Zahnräder derart aufeinander abgestimmt werden, dass das erste Zahnrad und das zweite Zahnrad am Berührungspunkt der 30°-Tangente identische Zahndicken, d.h. eine identische Zahndicke am Berührungspunkt der 30°-Tangente, aufweisen. Mit anderen Worten kann das Verhältnis der Zahndicken am Berührungspunkt der 30°-Tangente des ersten Zahnrad zum zweiten Zahnrad 2:2 bzw. 1:1 betragen. Hiermit kann das Optimum der Eingriffssteifigkeit erreicht werden, was zu einer Minimierung der Schwingungsanregung führt.

[0034] Nachfolgend werden mögliche Ausführungsformen der Erfindung unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Schnittansicht durch ein Zahnradpaar; und

Fig. 2 ein schematisches Diagramm mit Darstellung der Eingriffssteifigkeit in Abhängigkeit des Verhältnisses der Zahndicken des ersten Zahnrad und des zweiten Zahnrad.

[0035] Das Zahnradpaar für ein Getriebe trägt in **Fig. 1** insgesamt das Bezugszeichen 10. Das Zahnradpaar 10 weist ein erstes Zahnrad 12 und ein zweites Zahnrad 14 auf. Bei dem ersten Zahnrad 12 kann es sich um ein Ritzel und bei dem zweiten Zahnrad 14 um ein angetriebenes Zahnrad handeln. Die Zahnräder 12, 14 sind eingerichtet und bestimmt, um miteinander zu kämmen. Bspw. können die Zahnräder 12, 14 in einem Getriebe eingebaut und drehbar an oder in einem Getriebegehäuse gelagert sein (nicht dargestellt).

[0036] Die Zahnräder 12, 14 weisen jeweils eine Verzahnung 16, 18 auf, in der entlang der Umfangsrichtung abwechselnd ein Zahn 20, 22 und ein Zahnzwischenraum 24, 26 aufeinander folgen. Im Bereich des Zahnzwischenraums 24, 26 ist jeweils eine Zahnfußausrundung 28, 30 vorgesehen.

[0037] Der Zahn 20, 22 weist an beiden seiner Zahnflanken jeweils einen Berührungspunkt 32, 34 zu einer 30°-Tangente 36, 38 auf, wobei die 30°-Tangente unter einem Winkel von 30° zu einer Zahnmittelachse 40, 42 orientiert ist und die Zahnfußausrundung 28, 30 am Berührungspunkt 32, 34 berührt.

[0038] Die Länge einer Sehne 44, 46 (Zahndickensehne 44, 46), die die Berührungspunkte 32, 34 an den Zahnflanken des betreffenden (ein und desselben) Zahns 20, 22 miteinander verbindet, definiert (am Berührungspunkt der 30°-Tangente) jeweils eine Zahndicke. Das Verhältnis der Zahndicken am Berührungspunkt der 30°-Tangente des ersten Zahnrad 12 zum zweiten Zahnrad 14 kann im Bereich von 2,3 : 1,7 (größere Zahndicke am ersten Zahnrad) bis 1,7 : 2,3 (größere Zahndicke am zweiten Zahnrad) liegen (vgl. **Fig. 2**).

[0039] Im Beispiel ist das geometrische Optimum zur Reduktion der Schwingungsanregung dargestellt (vgl. **Fig. 1**). Die Zahndicken am Berührungspunkt der 30°-Tangente der Zahnräder 12, 14 sind derart aufeinander abgestimmt, dass das erste Zahnrad 12 und das zweite Zahnrad 14 identische Zahndicken am Berührungspunkt der 30°-Tangente, d.h. eine identische Zahndicke, aufweisen (Zahndickensehne 44, 46 am Berührungspunkt der 30°-Tangente weisen die gleiche Länge auf). Mit anderen Worten beträgt das Verhältnis der Zahndicke am Berührungspunkt der 30°-Tangente des ersten Zahnrad 12 zum zweiten Zahnrad 14 2:2 bzw. 1:1.

[0040] **Fig. 2** zeigt ein schematisches Diagramm mit Darstellung der Eingriffssteifigkeit in Abhängigkeit des Verhältnisses der Zahndicken am Berührungspunkt der 30°-Tangente des ersten Zahnrad 12 und des zweiten Zahnrad 14.

[0041] Sind die Zahndicken am Berührungspunkt der 30°-Tangente der Zahnräder 12, 14 derart aufeinander abgestimmt, dass das Verhältnis der Zahndicken am Berührungspunkt der 30°-Tangente des ersten Zahnrad 12 zum zweiten Zahnrad 14 im Bereich von 2,3 : 1,7 (größere Zahndicke am ersten Zahnrad 12) bis 1,7: 2,3 (größere Zahndicke am zweiten Zahnrad 14) liegt, können 80% und mehr der maximal erreichbaren Eingriffssteifigkeit erzielt werden (vgl. Linie A).

[0042] Sind die Zahndicken am Berührungspunkt der 30°-Tangente der Zahnräder 12, 14 derart aufeinander abgestimmt, dass das Verhältnis der Zahndicken am Berührungspunkt der 30°-Tangente des ersten Zahnrad 12 zum zweiten Zahnrad 14 im Bereich von 2,1 : 1,9 (größere Zahndicke am ersten Zahnrad) bis 1,9: 2,1 (größere Zahndicke am zweiten Zahnrad) liegt, können über 90% und mehr der maximal erreichbaren Eingriffssteifigkeit erzielt werden (vgl. Linie B).

[0043] Sind die Zahndicken am Berührungspunkt der 30°-Tangente der Zahnräder 12, 14 derart aufeinander abgestimmt, dass das erste Zahnrad 12 und das zweite Zahnrad 14 eine identische Zahndicke am Berührungspunkt der 30°-Tangente aufweisen, d.h. das Verhältnis der Zahndicke am Berührungspunkt der 30°-Tangente des ersten Zahnrad 12 zum zweiten Zahnrad 14 beträgt 2:2 bzw. 1:1, kann die maximal erreichbare Eingriffssteifigkeit erreicht werden (vgl. Punkt C).

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

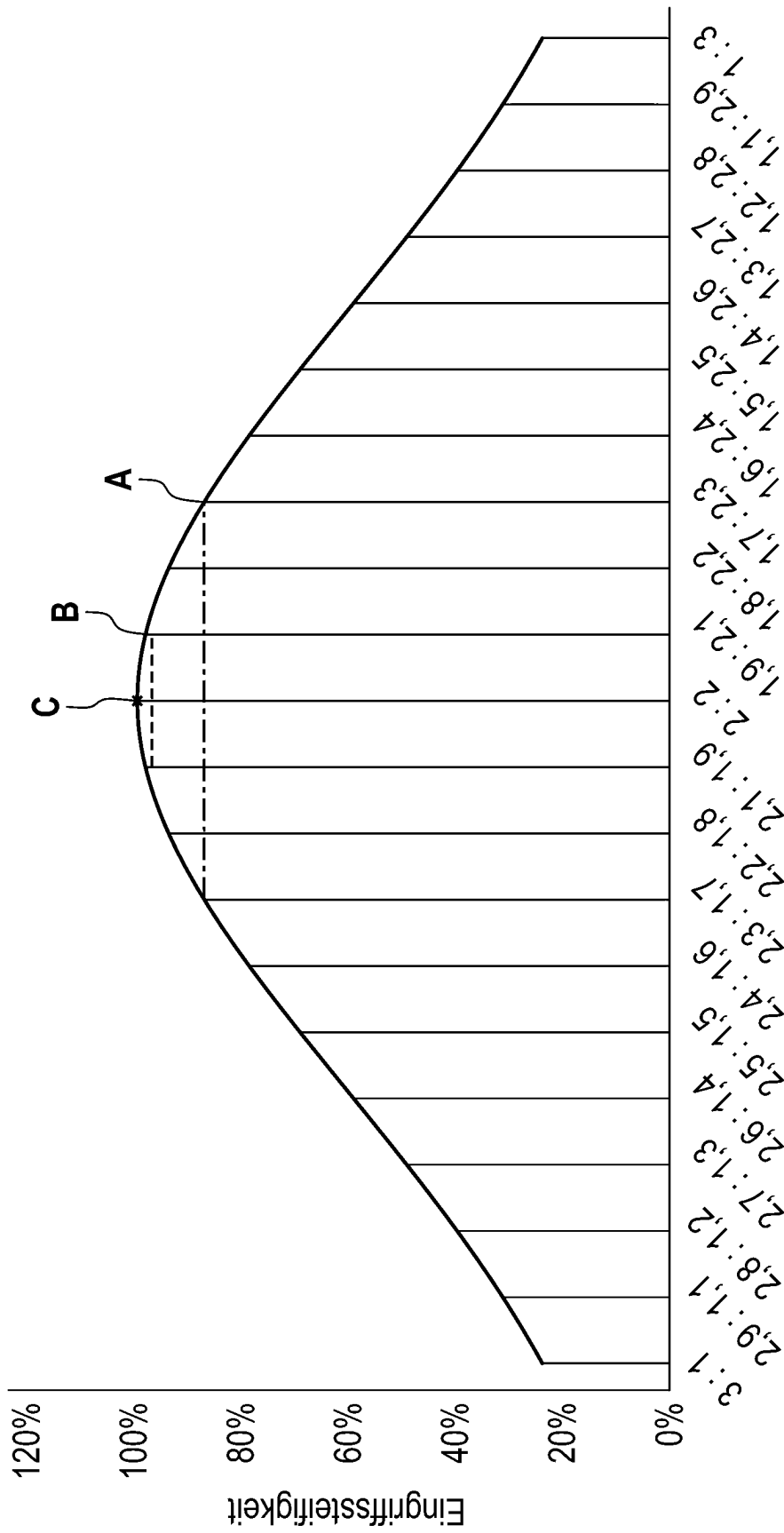
Zitierte Patentliteratur

- DE 102004037540 B4 [0007]
- EP 2813733 B1 [0008]

Patentansprüche

1. Zahnradpaar (10) für ein Getriebe, mit einem ersten Zahnrad (12) und einem zweiten Zahnrad (14), wobei die Zahnräder (12, 14) eingerichtet und bestimmt sind, um miteinander zu kämmen, wobei die Zahnräder (12, 14) jeweils eine Verzahnung (16, 18) aufweisen, in der abwechselnd ein Zahn (20, 22) und ein Zahnzwischenraum (24, 26) aufeinander folgen, wobei im Bereich des Zahnzwischenraums (24, 26) jeweils eine Zahnfußausrundung (28, 30) vorgesehen ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zahn (20, 22) an beiden Zahnflanken jeweils einen Berührungspunkt (32, 34) zu einer 30°-Tangente (36, 38) aufweist, wobei die 30°-Tangente (36, 38) unter einem Winkel von 30° zu einer Zahnmittelachse (40, 42) orientiert ist und die Zahnfußausrundung (28, 30) am Berührungspunkt (32, 34) berührt, wobei die Länge einer Sehne (44, 46), die die Berührungspunkte (32, 34) an den Zahnflanken des Zahns (20, 22) miteinander verbindet, jeweils eine Zahndicke am Berührungspunkt der 30°-Tangente definiert, wobei das Verhältnis der Zahndicken am Berührungspunkt der 30°-Tangente des ersten Zahnrads (12) zum zweiten Zahnrad (14) im Bereich von 2,3 : 1,7 bis 1,7: 2,3 liegt.
2. Zahnradpaar (10) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verhältnis der Zahndicken am Berührungspunkt der 30°-Tangente des ersten Zahnrads (12) zum zweiten Zahnrad (14) im Bereich von 2,1 : 1,9 bis 1,9: 2,1 liegt.
3. Zahnradpaar (10) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Zahnrad (12) und das zweite Zahnrad (14) am Berührungspunkt der 30°-Tangente identische Zahndicken aufweisen.
4. Getriebe mit mindestens einem Zahnradpaar (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche.
5. Antriebseinheit für ein Fahrzeug, mit einer elektrischen Maschine und einem damit gekoppelten Getriebe nach Anspruch 4.
6. Verfahren zum Auslegen von Zahndicken an Zahnrädern (12, 14) eines Zahnradpaars (10), insbesondere eines Zahnradpaars (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, mit einem ersten Zahnrad (12) und einem zweiten Zahnrad (14), wobei die Zahnräder (12, 14) eingerichtet und bestimmt sind, um miteinander zu kämmen, wobei die Zahnräder (12, 14) jeweils eine Verzahnung (16, 18) aufweisen, in der abwechselnd ein Zahn (20, 22) und ein Zahnzwischenraum (24, 26) aufeinander folgen, wobei im Bereich des Zahnzwischenraums (24, 26) jeweils eine Zahnfußausrundung (28, 30) vorgesehen ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zahn (20, 22) an beiden Zahnflanken jeweils einen Berührungspunkt (32, 34) zu einer 30°-Tangente (36, 38) aufweist, wobei die 30°-Tangente (36, 38) unter einem Winkel von 30° zu einer Zahnmittelachse (40, 42) orientiert ist und die Zahnfußausrundung (28, 30) am Berührungspunkt (32, 34) berührt, wobei die Länge einer Sehne (44, 46), die die Berührungspunkte (32, 34) an den Zahnflanken des Zahns (20, 22) miteinander verbindet, jeweils eine Zahndicke am Berührungspunkt der 30°-Tangente definiert, wobei die Zahndicken am ersten Zahnrad (12) und am zweiten Zahnrad (14) jeweils derart abgestimmt werden, dass das Verhältnis der Zahndicken am Berührungspunkt der 30°-Tangente des ersten Zahnrads (12) zum zweiten Zahnrad (14) im Bereich von 2,3 : 1,7 bis 1,7: 2,3 liegt.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verhältnis der Zahndicken am Berührungspunkt der 30°-Tangente des ersten Zahnrads (12) zum zweiten Zahnrad (14) im Bereich von 2,1 : 1,9 bis 1,9: 2,1 liegt.
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Zahnrad (12) und das zweite Zahnrad (14) am Berührungspunkt der 30°-Tangente identische Zahndicken aufweisen.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen



Verhältnis Zahndicke erstes Zahnrad 12 : zweites Zahnrad 14

FIG. 2