

Profilverschiebung bei Stirnrädern mit Außenverzahnung

DIN
3992

Addendum modification of external spur and helical gears
Déport de denture des roues cylindriques avec denture extérieure

**Mit DIN 3994 und DIN 3995 Blatt 1 bis 8
Ersatz für DIN 870**

Inhalt

	Seite
1. Zeichen und Benennungen	1
2. Geltungsbereich	2
3. Allgemeine Richtlinien	2
4. Wahl der Summe der Profilverschiebungsfaktoren	3
5. Aufteilung der Summe der Profilverschiebungsfaktoren bei Getrieben mit Radzähnezahlen bis 150	3
6. Aufteilung der Summe der Profilverschiebungsfaktoren bei Getrieben mit Radzähnezahlen größer als 150	3
7. Gefahr der Eingriffsstörungen	4
8. Beispiele	4
Schrifttum	6

1. Zeichen und Benennungen

In dieser Norm werden in Übereinstimmung mit DIN 3960, Bestimmungsgrößen und Fehler an Stirnrädern, folgende Zeichen und Benennungen benutzt:

a	Achsabstand	z	Zähnezahl
d_0	Teilkreisdurchmesser	z_v	virtuelle Zähnezahl eines Schrägzahnrades
d_b	Betriebswälzkreisdurchmesser	S_k	Kopfspiel
d_f	Fußkreisdurchmesser	α_{n0}	Normaleingriffswinkel
d_g	Grundkreisdurchmesser	α_{s0}	Stirneingriffswinkel
d_k	Kopfkreisdurchmesser	α_{sb}	Betriebseingriffswinkel
g	Eingriffsstrecke	β_0	Schrägungswinkel am Teilzylinder
h_{kw}	Kopfhöhe des Werkzeuges	β_g	Schrägungswinkel am Grundzylinder
i	Übersetzung	ε	Überdeckungsgrad (Profilüberdeckung)
m_n	Normalmodul	ω	Winkelgeschwindigkeit $\left(= \frac{\pi \cdot n}{30}, \text{ Einheit } s^{-1} \right)$.
m_s	Stirnmodul		
n	Drehzahl (Einheit min^{-1})		
s_k	Zahnkopfdicke		
t_{se}	Stirneingriffsteilung		
u	Zähnezahlverhältnis		
x	Profilverschiebungsfaktor (Profilverschiebung $x \cdot m_n$)		

Zusätzliche Indizes	
1	Kleinrad (Ritzel)
2	Großrad (Rad)
tr	treibendes Rad
getr	getriebenes Rad

Zahlen in eckigen Klammern weisen auf das am Schluß der Norm aufgeführte Schrifttum hin.

Fortsetzung Seite 2 bis 9

Ausschuß Verzahnungen im Deutschen Normenausschuß (DNA)

2. Geltungsbereich

Diese Norm gilt für außenverzahnte Stirnräder mit Bezugsprofil nach DIN 867 mit Zähnezahlen $z = 10$ und größer.

Begriffsbestimmungen für Stirnräder und Formeln zur Berechnung profilverschobener Verzahnungen siehe DIN 3960.

Allgemeine Angaben über Profilverschiebung bei Evolventenverzahnung siehe DIN 868 (Neuausgabe der Norm ist in Vorbereitung).

In dieser Norm werden Empfehlungen für die Wahl der Profilverschiebungsfaktoren gegeben. Die Angaben sind nicht bindend, Abweichungen sind zulässig und in Sonderfällen ¹⁾ zweckmäßig.

Für die zweckmäßige Wahl der Profilverschiebungsfaktoren ist zwischen Übersetzungen ins Langsame und Übersetzungen ins Schnelle zu unterscheiden.

Bei Übersetzungen ins Langsame ist die Winkelgeschwindigkeit ω_{tr} des treibenden Rades größer als die Winkelgeschwindigkeit ω_{getr} des getriebenen Rades. Das Übersetzungsverhältnis

$$i = \frac{\omega_{tr}}{\omega_{getr}} = \frac{n_{tr}}{n_{getr}}$$

ist hierbei also größer als 1.

Bei Übersetzungen ins Schnelle ist die Winkelgeschwindigkeit ω_{tr} des treibenden Rades kleiner als die Winkelgeschwindigkeit ω_{getr} des getriebenen Rades. Das Übersetzungsverhältnis i ist hierbei also kleiner als 1. Das Zähnezahlverhältnis

$$u = \frac{z_{Rad}}{z_{Ritzel}} = \frac{z_2}{z_1}$$

ist dagegen stets gleich oder größer als 1.

Die Diagramme Bild 1 und 2 gelten für Gerad- und Schrägverzahnungen. Bei Schrägverzahnungen ist an Stelle der Zähmezahl z die virtuelle Zähmezahl z_v zugrunde zu legen.

Die virtuelle Zähmezahl z_v eines Schrägstirnrades kann nach folgenden Gleichungen berechnet werden:

$$z_v = \frac{z}{\cos^2 \beta_g \cdot \cos \beta_0} \quad (1)$$

$$\sin \beta_g = \sin \beta_0 \cdot \cos \alpha_{n0} \quad (2)$$

Diese Funktion ist im mittleren Diagramm von Bild 1 und 2 graphisch dargestellt. Bei Benutzung dieses Diagrammes kann man also auch bei Schrägstirnrädern unmittelbar von den Zähnezahlen z_1 oder z_2 bzw. der Zähnezahlsomme ($z_1 + z_2$) ausgehen.

3. Allgemeine Richtlinien

Grundsätzlich kann man die Profilverschiebungsfaktoren frei wählen, wenn folgende Bedingungen eingehalten werden:

3.1. Bei Geradstirnrädern sollte eine Mindestprofilüberdeckung von $\varepsilon = 1,1$ nicht unterschritten werden.

¹⁾ Beispielsweise liegt ein Sonderfall vor, wenn die Verzahnung des Großrades im Laufe seiner Lebensdauer ein oder mehrere Male nachgeschnitten werden soll, wobei jeweils ein neues passendes Ritzel dazu angefertigt wird. Das Großrad muß dann im neuen Zustand eine relativ große Profilverschiebung erhalten.

Bei Schrägstirnrädern sind kleinere Werte möglich, aber nicht zu empfehlen.

3.2. Ein Mindestkopfspeil (z. B. $S_k = 0,2 \cdot m_n$) darf nicht unterschritten werden. Diese Bedingung wird eingehalten, wenn die Kopfkreisdurchmesser nach folgenden Gleichungen bestimmt werden:

$$d_{k1} = 2(a + m_n - x_2 \cdot m_n) - d_{02} \quad (3)$$

$$= 2a - d_{f2} - 2S_k$$

$$d_{k2} = 2(a + m_n - x_1 \cdot m_n) - d_{01} \quad (4)$$

$$= 2a - d_{f1} - 2S_k$$

3.3. Die Zahnkopfdicken dürfen ein Mindestmaß (z. B. $s_k = 0,4 \cdot m_n$) nicht unterschreiten.

3.4. An den Zahnfüßen dürfen keine Eingriffsstörungen (Interferenzen) auftreten, d. h. nur evolventenförmige Teile der Flanken dürfen miteinander in Eingriff kommen. Bei ungünstig gewählten Profilverschiebungen oder Werkzeugabmessungen können trotz ausreichenden Kopfspeiles Eingriffsstörungen am Zahnfuß des Ritzels oder des Rades infolge ungenügender Längen der Fußevolventen auftreten. Sie werden durch zusätzliche Kopfkürzungen vermieden.

3.5. Unterschnitt soll nach Möglichkeit vermieden werden. Werden die Profilverschiebungen nach den Abschnitten 4, 5, 6 und 7 dieser Norm festgelegt, so brauchen die in Abschnitt 3.1 bis 3.5 genannten Bedingungen nicht kontrolliert zu werden, weil sie beim Aufstellen der Diagramme beachtet wurden.

3.6. Mit Schneidrädern nach DIN 1825 bis DIN 1829 verzahnte V-Räder erhalten wegen der Paarungsbedingungen von V-Getrieben (Schneidrad/Werkrad) negative Fußkreisdurchmesser-Abmaße, die im allgemeinen den Wegfall oder die Verringerung der Kopfkürzung zugunsten eines höheren Überdeckungsgrades erlauben. Da andererseits die von Schneidrädern erzeugte Evolventenlänge nach Maßgabe der Schneidrad-Zähnezahl und des Stoßeingriffswinkels immer kürzer als die von Wälzfräsern oder Hobelkämmen gleicher Kopfhöhe erzeugte Evolventenlänge ist, müssen die Mindestkopfkürzungen und die geeigneten Werkzeugabmessungen in folgenden Fällen genauer bestimmt werden:

- a) wenn die Erzeugungseingriffswinkel wesentlich größer als die Betriebseingriffswinkel der Radpaarung sind,
- b) wenn die Schneidrad-Zähnezahl unterhalb der für unterschneidfreie Zahnäder gültigen Grenzzähnezahl liegt,
- c) wenn die Verzahnungsdaten für Radpaare nahe den für Wälzfräser oder Hobelkämme gültigen Interferenzgrenzen liegen oder
- d) wenn mehrere dieser Fälle zusammentreffen.

Sollen Zahnäder mit Satzradverzahnungen ausgeführt werden, wobei die Abmessungen jedes Rades vom Gegenrad unabhängig sind und wobei die Achsabstände nur eine Funktion der Zähnezahlsomme sind, so empfiehlt sich

bei Übersetzung ins Langsame: 05-Verzahnung nach DIN 3994 und DIN 3995,

bei Übersetzung ins Schnelle: Null-Verzahnung.

Bei der 05-Verzahnung erhält jedes Zahnrad, gleich welcher Zähnezahl, einheitlich die Profilverschiebung $x \cdot m_n = 0,5 \cdot m_n$. Die Profilverschiebungsfaktoren x_1 und x_2 sind beide 0,5. Das Bezugsprofil ist radial nach außen, also von der Radialachse weg, verschoben.

Bei der Null-Verzahnung sind die Profilverschiebungsfaktoren x_1 und x_2 für alle Zähnezahlen Null.

Beide Verzahnungsarten fügen sich in diese Norm ein (siehe Bild 1 und Bild 2).

4. Wahl der Summe der Profilverschiebungsfaktoren

Wenn die Zähnezahlsumme $(z_1 + z_2)$ gegeben ist oder gewählt wurde, so kann aus dem oberen Diagramm der Bilder 1 und 2 — bei Schrägverzahnung mit Hilfe der Kurven des mittleren Diagramms — die für die jeweiligen Anforderungen günstige Summe der Profilverschiebungsfaktoren x_1 und x_2 entnommen werden²⁾.

In diesen oberen Diagrammen der Bilder 1 und 2 ist jeweils die Summe der Profilverschiebungsfaktoren über der Zähnezahlsumme aufgetragen. Die Linien P1 bis P9 dienen zur Kennzeichnung der Verzahnungseigenschaften. Für Verzahnungen, die bezüglich Tragfähigkeit und Geräuschverhalten im Mittel gut ausgeglichen sind, wird der Bereich P3 bis P6 empfohlen (siehe dunkel gerastertes Feld). In Richtung von P1 auf P9 steigt die Tragfähigkeit der Verzahnung, während die Profilüberdeckung kleiner wird.

Das obere Feld „für Sonderfälle“ ergibt Verzahnungen mit großen Eingriffswinkeln bei relativ kleinen Überdeckungsgraden, das untere Feld „für Sonderfälle“ ergibt Verzahnungen mit kleinen Eingriffswinkeln bei relativ großer Profilüberdeckung.

Mit der aus den oberen Diagrammen von Bild 1 und 2 entnommenen Summe der Profilverschiebungsfaktoren wird der Achsabstand nach folgenden Gleichungen berechnet:

$$a = m_s \cdot \frac{z_1 + z_2}{2} \cdot \frac{\cos \alpha_{s0}}{\cos \alpha_{sb}} \quad (5)$$

$$\tan \alpha_{n0} = \tan \alpha_{s0} \cdot \cos \beta_0 \quad (6)$$

$$\operatorname{ev} \alpha_{sb} = \frac{2 \cdot \tan \alpha_{n0} \cdot (x_1 + x_2)}{z_1 + z_2} + \operatorname{ev} \alpha_{s0} \quad (7)$$

Der so errechnete Achsabstand wird häufig gerundet. Aus diesem endgültigen Achsabstand wird durch Nachrechnen mit Hilfe der folgenden Gleichungen

$$\cos \alpha_{sb} = \frac{m_s \cdot (z_2 + z_1)}{2 \cdot a} \cdot \cos \alpha_{s0} \quad (8)$$

$$x_2 + x_1 = \frac{(z_2 + z_1) \cdot (\operatorname{ev} \alpha_{sb} - \operatorname{ev} \alpha_{s0})}{2 \cdot \tan \alpha_{n0}} \quad (9)$$

die endgültige Profilverschiebungssumme $x_1 + x_2$ bestimmt.

Zum erstmaligen Bestimmen des Achsabstandes können auch Diagramme benutzt werden (siehe Schrifttum [1] und [2]). Es eignen sich hierzu auch die Funktionen von B und B_v (siehe Schrifttum [4]).

²⁾ Die Begrenzungslinien im oberen Diagramm entsprechen etwa den Vorschlägen von Baumgartner (siehe Schrifttum [3]).

³⁾ Wenn es bei Übersetzungen ins Schnelle darauf ankommt, daß die Zahnfußtragfähigkeit von Ritzel und Rad gleich groß ist, so sollte die Profilverschiebungssumme $(x_1 + x_2)$ nicht mit Hilfe des unteren Diagrammes von Bild 2 sondern mit Hilfe des unteren Diagrammes von Bild 1 aufgeteilt werden, das eigentlich für Übersetzungen ins Langsame gilt.

5. Aufteilung der Summe der Profilverschiebungsfaktoren bei Getrieben mit Radzähnezahlen bis 150

Die Profilverschiebungssumme $(x_1 + x_2)$ kann unter Benutzung des unteren Diagrammes von Bild 1 oder 2 auf Ritzel und Rad aufgeteilt werden.

Bild 1 gilt für Übersetzungen ins Langsame, Bild 2 für Übersetzungen ins Schnelle³⁾.

In Bild 1 sind die Paarungslinien L1 bis L17 (L = Zeichen für Übersetzung ins Langsame) und in Bild 2 die Paarungslinien S1 bis S13 (S = Zeichen für Übersetzung ins Schnelle) eingetragen. Bei der Festlegung der Paarungslinien wurde angestrebt, die Zahnfußtragfähigkeit von Ritzel und Rad einander anzugleichen, die Gleitgeschwindigkeit am Kopf des treibenden Zahnrades etwas größer zu halten als die am Kopf des getriebenen Zahnrades und extreme Werte des spezifischen Gleitens (Schlupf) zu vermeiden. Besonders bei Übersetzung ins Schnelle stehen diese Forderungen teilweise zueinander im Gegensatz. Die Paarungslinien L1 bis L17 in Bild 1 und die Paarungslinien S1 bis S13 in Bild 2 stellen deshalb einen Kompromiß dar.

Die Profilverschiebungssumme $(x_1 + x_2)$ soll so aufgeteilt werden, daß x_1 und x_2 auf derselben Paarungslinie liegen. Hierzu kann im unteren Diagramm von Bild 1 bzw. Bild 2 über der mittleren Zähnezahl

$$z = \frac{z_1 + z_2}{2} \quad \text{der Wert } x = \frac{x_1 + x_2}{2}$$

aufgetragen werden.

Durch den so gefundenen Punkt (z. B. Punkt B in Bild 1 und Punkt E in Bild 2) zieht man eine Gerade, die sich dem Verlauf der benachbarten Paarungslinien anpaßt. Diese Gerade gibt dann über z_1 den Wert des zugehörigen Profilverschiebungsfaktors x_1 und über z_2 den Wert von x_2 an.

Bei Schrägverzahnung ist statt der Zähnezahl z die virtuelle Zähnezahl z_v zu benutzen (siehe mittleres Diagramm der Bilder 1 und 2 sowie Abschnitt 2).

Gefahr der Eingriffsstörungen siehe Abschnitt 7.

6. Aufteilung der Summe der Profilverschiebungsfaktoren bei Getrieben mit Radzähnezahlen größer als 150

Ist die Zähnezahl des Rades größer als 150, so wird für die Aufteilung der Profilverschiebungssumme $(x_1 + x_2)$ die Radzähnezahl $z_2 = 150$ zugrunde gelegt. Man kann so vorgehen, daß man in Bild 1 bzw. in Bild 2 über der Zähnezahl

$$z = \frac{z_1 + 150}{2} \quad \text{den Wert } x = \frac{x_1 + x_2}{2}$$

aufträgt und im übrigen nach Abschnitt 5 verfährt.

Die Profilverschiebung des Rades ist bei der großen Zähnezahl ohne wesentlichen Einfluß auf die Tragfähigkeit; sie wird daher lediglich mit Rücksicht auf das Gleitverhalten, den Achsabstand, den Schrägungswinkel oder sonstige Anforderungen bestimmt.