

Toleranzen für Stirnradverzahnungen

Grundlagen

DIN
3961

Accuracy of cylindrical gears; general bases

Précision des engrenages cylindriques; bases d'établissement du système

Inhalt

	Seite		Seite
1 Allgemeines	1	4 Tolerierung	4
1.1 Zeichen und Benennungen	1	4.1 Toleranzfamilien	4
1.2 Verzahnungstoleranzsystem, Getriebe- Paßsystem	2	4.2 Anwendung von Toleranzfamilien	4
1.3 Geltungsbereich	2	5 Güteprüfung und Prüfgruppen	5
2 Mitgeltende Normen	2	6 Zusätzliche Vorschriften und Bedingungen	7
3 Aufbau des Toleranzsystems	2	6.1 Profilform	7
3.1 Toleranzrelationen	2	6.2 Flankenlinie	7
3.2 Einzelne Bestimmungsgrößen	3	6.3 Wälzprüfung bei feinen Verzahnungs- qualitäten	9
3.3 Wälzabweichungen	3	6.4 Teilungs-Spannenabweichungen über beliebige Teilungsspannen	9
3.4 Verzahnungsqualitäten	3	6.5 Teilungs-Einzelabweichungen und Teilungssprünge	9
3.5 Berechnung der Toleranzen	3		
3.6 Toleranzen für den Durchmesser des Kopfkreises (Kopfzylinders)	4		
1 Allgemeines		F_f Profil-Gesamtabweichung	
1.1 Zeichen und Benennungen		F'_i Einflanken-Wälzabweichung	
a Achsabstand		F''_i Zweiflanken-Wälzabweichung	
a_d Null-Achsabstand		F_p Teilungs-Gesamtabweichung	
a'' Zweiflanken-Wälzabstand		F_{pk} Teilungs-Spannenabweichung über k Teilungen	
b Zahnbreite		$F_{p\ z/8}$ Teilungs-Spannenabweichung über $1/8$ Radum- fang	
d Teilkreisdurchmesser		F_r Rundlaufabweichung	
f_f Profil-Formabweichung		F_E Erzeugenden-Gesamtabweichung	
f'_i Einflanken-Wälzsprung		F_β Flankenlinien-Gesamtabweichung	
f''_i Zweiflanken-Wälzsprung		G, L, N, T Funktionsgruppen	
f_p Teilungs-Einzelabweichung		L Bogenlänge auf dem Teilkreis	
f_{pe} Eingriffsteilungs-Abweichung		R_s Zahndickenschwankung	
f_u Teilungssprung		R_t Rauhtiefe	
$f_{H\alpha}$ Profil-Winkelabweichung		R_{Md} Schwankung des diametralen Zweikugel- oder Zweirollenmaßes	
$f_{H\beta}$ Flankenlinien-Winkelabweichung		R_W Zahnweitenschwankung	
$f_{\beta f}$ Flankenlinien-Formabweichung		TRA Tragende Fläche	
$f_{\beta w}$ Flankenlinien-Welligkeit		T_s Zahndickentoleranz	
m Modul		α Eingriffswinkel	
m_n Normalmodul		α_n Normaleingriffswinkel	
m_t Stirnmodul		α_t Stirneingriffswinkel	
s_n Normalzahndicke auf dem Teilzylinder		α_{wt} Betriebseingriffswinkel	
s_t Stirnzahndicke auf dem Teilzylinder		α'' Eingriffswinkel bei Zweiflanken-Wälzprüfung mit Lehrzahnrad	
z Zähnezahl		β Schrägungswinkel	
z_1 Zähnezahl des Ritzels		φ Stufensprung der Toleranzen von Verzäh- nungsqualität zu Verzahnungsqualität	
z_2 Zähnezahl des Rades			
A^* Abmaßfaktor			
A, B, C Prüfgruppen			
C_b Flankenlinienrücknahme bei Breitenballigkeit			

Fortsetzung Seite 2 bis 10
Erläuterungen Seite 10 bis 12

Normenausschuß Antriebstechnik (NAN) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

1.2 Verzahnungstoleranzsystem, Getriebe-Paßsystem

Um außer der durch die Anschlußmaße bedingten Austauschbarkeit der Räder von Zahnradgetrieben die jeweiligen Funktionsanforderungen, wie z. B. ruhigen Lauf, winkelgetreue Übertragung, Schmiermöglichkeit, Belastbarkeit, dauernd zu sichern, müssen die Abweichungen gewisser Bestimmungsgrößen der Verzahnungen sowie der Einbaumaße im Getriebegehäuse innerhalb bestimmter Grenzen gehalten werden.

Das Getriebe-Paßsystem ist ähnlich dem System für Rundpassungen. Bei jedem der beiden Zahnradpaare eines Radpaares liegen alle Formabweichungen, Teilungsabweichungen usw. innerhalb der Abmessungen zweier gedachter, fehlerfreier, konzentrischer Zahnradpaare, deren Zahnmitten mit denen der Werkräder nicht zusammenzufallen brauchen und von deren Zahndicken die eine um das obere, die andere um das untere Abmaß vom Nennmaß abweichen. Das Zahnspiel ergibt sich außer aus entsprechend gewählten Abmaßen der Zahndicke noch aus dem Abmaß des Achsabstandes sowie aus anderen Einzelabweichungen. Die Größe und die Größenstufung der Zahndickenabmaße stehen deshalb in bestimmtem Verhältnis zur Größe und zur Größenstufung der Achsabstandsabmaße.

Ebenso, wie bei den ISO-Rundpassungen zwei Paßsysteme, das der Einheitsbohrung und das der Einheitswelle bestehen, gibt es zwei Getriebe-Paßsysteme, das des Einheitsachsabstandes und das der Einheitszahndicke. Bei dem ersteren wird nur ein Toleranzfeld des Achsabstandes benutzt und die Größe der Spielpassung durch verschiedene Toleranzfelder der Zahndicke bewirkt. Beim System Einheitszahndicke ist es umgekehrt.

Die Größen der Verzahnungstoleranzen sind nach den gleichen Grundsätzen wie die Toleranzen für die Rundpassungen entwickelt. So, wie diese auf Genauigkeiten ausgelegt sind, die über die zur Zeit ihrer Entstehung vorhandenen Bedürfnisse hinausgingen und hinausgehen, sind auch die Verzahnungstoleranzen so angelegt, daß sie mit größter Wahrscheinlichkeit auch verfeinerte Bedürfnisse und bessere Meßmöglichkeiten der Zukunft berücksichtigen werden.

DIN 3962 Teil 1 bis Teil 3 enthalten die Toleranzen für Abweichungen einzelner Bestimmungsgrößen der Stirnradverzahnungen.

DIN 3963 enthält die Toleranzen für Wälzabweichungen.

DIN 3964 enthält die Achsabstandsabmaße und die Achslagetoleranzen von Gehäusen für Stirnradgetriebe.

DIN 3967 enthält das Getriebe-Paßsystem mit den Angaben zum Flankenspiel, den Zahndickenabmaßen und Zahndickentoleranzen.

Als Getriebe-Paßsystem ist das des Einheitsachsabstandes festgelegt. Dazu ist notwendig, die Achsabstandsabmaße so anzuordnen, daß sich bei der Verwendung von Getrieben mit Außen- und Innenverzahnungen die gleiche Eintragung der Achsabstandsmaße sowie in Getrieben mit vielen Räderpaaren im Abstand der ersten von der letzten Getriebewelle keine unzulässig großen Abweichungen vom Nennmaß ergeben. Die Grenzabmaße liegen daher symmetrisch zur Nulllinie. Die Art der Verzahnungspassung wird durch Wahl des oberen Abmaßes sowie der Toleranz der Zahndicke in DIN 3967 und durch die Wahl des Feldes für die Achsabstandsabmaße in DIN 3964 bestimmt.

1.3 Geltungsbereich

DIN 3962 Teil 1 bis Teil 3 und DIN 3963 enthalten Toleranzen für Verzahnungen an Stirnrädern von Mo-

dul 1 bis 70 mm und mit Teilkreisdurchmessern d bis 10 000 mm, gestuft in 12 Verzahnungsqualitäten. Die Toleranzen gelten unabhängig vom Eingriffswinkel. Für die Zahndickenprüfung und die Spielbestimmung sind die Betriebseingriffswinkel und Schrägungswinkel zu berücksichtigen, siehe DIN 3967. Für d über 10 000 mm können Toleranzen vereinbart werden, die nach den im Abschnitt 3.5.1 und im Abschnitt 3.5.2 gegebenen Formeln berechnet werden können.

Bei Zahnstangen sollen die Toleranzen für deren Verzahnung nicht größer sein als die für die Verzahnung ihres Gegenrades. Ist dem Hersteller das Gegenrad nicht bekannt, so darf er Zahnstangenlänge gleich Gegenradumfang setzen.

2 Mitgeltende Normen

- DIN 3960 Begriffe und Bestimmungsgrößen für Stirnräder (Zylinderräder) und Stirnradpaare (Zylinderradpaare) mit Evolventenverzahnung
- DIN 3962 Teil 1 Toleranzen für Stirnradverzahnungen; Toleranzen für Abweichungen einzelner Bestimmungsgrößen
- DIN 3962 Teil 2 Toleranzen für Stirnradverzahnungen; Toleranzen für Flankenlinienabweichungen
- DIN 3962 Teil 3 Toleranzen für Stirnradverzahnungen; Toleranzen für Teilungs-Spannenabweichungen
- DIN 3963 Toleranzen für Stirnradverzahnungen; Toleranzen für Wälzabweichungen
- DIN 3964 Achsabstandsabmaße und Achslagetoleranzen von Gehäusen für Stirnradgetriebe
- DIN 3967 Getriebe-Paßsystem, Flankenspiel, Zahndickenabmaße und Zahndickentoleranzen; Grundlagen, Berechnung der Zahndickenabmaße, Umrechnung der Abmaße für die verschiedenen Meßverfahren

3 Aufbau des Toleranzsystems

3.1 Toleranzrelationen

Das DIN-Verzahnungstoleranzsystem wurde aufgrund langjähriger Erfahrung in der Zahnradfertigung ermittelt. Es wurde angestrebt, die verschiedenen Toleranzen möglichst so aufeinander abzustimmen, daß sie in einer bestimmten Verzahnungsqualität ungefähr den durchschnittlichen Relationen entsprechen, mit denen die Abweichungen in der Fertigung auftreten. Die Grundlagen des Toleranzsystems sind also fertigungsorientiert; wie man damit auch für unterschiedliche Anforderungen funktionsgerecht tolerieren kann, ist in Abschnitt 4 beschrieben.

Die Zahlengleichungen für die Toleranzen und die daraus berechneten Werte in DIN 3962 Teil 1, DIN 3963, DIN 3964 und DIN 3967 sind auch auf Bereiche extrapoliert worden, in denen diese nicht mehr in allen Fällen sinnvoll angewendet werden können; z. B. wird in Verzahnungsqualität 12 nur sehr selten eine Teilungsprüfung einen Sinn haben; dasselbe gilt für Wälzprüfung in Verzahnungsqualität 2 oder 3.

Diese extrapolierten Werte in den Normen sollen also nicht bedeuten, daß z. B. ihr Nachweis ohne weiteres verlangt werden kann, siehe Abschnitt 5. Sie stellen nur sicher, daß die Toleranzen in einem vernünftigen Verhältnis zum „normalen“ Bereich stehen, falls sie doch einmal gebraucht werden, vergleiche auch Abschnitt 6.3.

3.2 Einzelne Bestimmungsgrößen

DIN 3962 Teil 1 bis Teil 3 enthalten Toleranzen für:

Profil-Formabweichung	f_t
Profil-Winkelabweichung	$f_{H\alpha}$
Profil-Gesamtabweichung	F_t
Teilungs-Einzelabweichung	f_p
Eingriffsteilungs-Abweichung	f_{pe}
Teilungssprung	f_u
Teilungs-Gesamtabweichung	F_p
Teilungs-Spannenabweichung über k Einzelteilungen	F_{pk}
Teilungs-Spannenabweichung über $1/8$ Umfang ($k = \frac{z}{8}$)	$F_{p\ z/8}$
Rundlaufabweichung	F_r
Zahndickenschwankung	R_s
Flankenlinien-Gesamtabweichung	F_β
Flankenlinien-Winkelabweichung	$f_{H\beta}$
Flankenlinien-Formabweichung	$f_{\beta f}$

Definitionen siehe DIN 3960.

3.3 Wälzabweichungen

In DIN 3963 sind Toleranzen für folgende Wälzabweichungen aufgestellt:

Zweiflanken-Wälzabweichung	F_i''
Zweiflanken-Wälzsprung	f_i''
Einflanken-Wälzabweichung	F_i'
Einflanken-Wälzsprung	f_i'

Zur Anwendung der Wälzprüfung siehe auch Richtlinie VDI/VDE 2608.

Definitionen siehe DIN 3960.

3.4 Verzahnungsqualitäten

Das DIN-Verzahnungstoleranzsystem enthält 12 Verzahnungsqualitäten. Die feineren Verzahnungsqualitäten sind für Lehrzahnäder und für besondere Bedürfnisse bestimmt. Sie sind derart gestuft, daß die Toleranzen jeder Verzahnungsqualität das φ -fache der Toleranzen der vorhergehenden Verzahnungsqualität betragen. Die Stufensprünge φ sind in Abschnitt 3.5 angegeben.

Die Grenzwerte der Bereiche von Teilkreisdurchmesser und Modul sind der Normzahlreihe R 20 entnommen.

3.5 Berechnung der Toleranzen

Die Toleranzen sind nach Formeln berechnet, die verschiedene Abhängigkeiten von den Verzahnungsdaten (Teilkreisdurchmesser, Modul, Zähnezahl und Zahnbreite) zeigen. Die Zahlenfaktoren der nachstehend wiedergegebenen Formeln gelten für die 5. Verzahnungsqualität.

Bei der Berechnung der Toleranzen aus den Formeln sind für m_n und d die geometrischen Mittelwerte der in den Zahlentafeln angegebenen Bereiche eingesetzt.

Die so berechneten Toleranzen sind zu Normzahlen gerundet. Somit treten insgesamt verhältnismäßig wenige Werte auf. Außerdem kann bei Kenntnis der Normzahlen von jedem bekannten Wert der nächst größere oder kleinere errechnet werden.

m, d, b, L in mm. Toleranzen in μm .

3.5.1 Einzelabweichungen

a) Profil-Formabweichung

$$f_t = 1,5 + 0,25 (m_n + 9 \cdot \sqrt{m_n})$$

$$\varphi = 1,4 \text{ bis Verzahnungsqualität } 9$$

$$\varphi = 1,6 \text{ ab Verzahnungsqualität } 9$$

b) Profil-Winkelabweichung

$$f_{H\alpha} = 2,5 + 0,25 (m_n + 3 \cdot \sqrt{m_n})$$

$$\varphi = 1,4 \text{ bis Verzahnungsqualität } 9$$

$$\varphi = 1,6 \text{ ab Verzahnungsqualität } 9$$

c) Profil-Gesamtabweichung

$$F_t = \sqrt{f_{H\alpha}^2 + f_t^2}$$

$$\varphi = 1,4 \text{ bis Verzahnungsqualität } 9$$

$$\varphi = 1,6 \text{ ab Verzahnungsqualität } 9$$

d) Teilungs-Einzelabweichung und Eingriffsteilungs-Abweichung

$$f_p = f_{pe} = 4 + 0,315 (m_n + 0,25 \cdot \sqrt{d})$$

$$\varphi = 1,4 \text{ bis Verzahnungsqualität } 9$$

$$\varphi = 1,6 \text{ ab Verzahnungsqualität } 9$$

e) Teilungssprung

$$f_u = 5 + 0,4 (m_n + 0,25 \cdot \sqrt{d})$$

$$\varphi = 1,4 \text{ bis Verzahnungsqualität } 9$$

$$\varphi = 1,6 \text{ ab Verzahnungsqualität } 9$$

f) Teilungs-Gesamtabweichung

$$F_p = 7,25 \cdot \frac{d^{1/3}}{z^{1/7}}$$

$$\varphi = 1,4 \text{ bis Verzahnungsqualität } 9$$

$$\varphi = 1,6 \text{ ab Verzahnungsqualität } 9$$

g) Teilungs-Spannenabweichung

$$F_{pk} = 6,25 \cdot m_n^{1/7} \cdot \frac{L^{1/3}}{d^{1/7}}$$

$$\varphi = 1,4 \text{ bis Verzahnungsqualität } 9$$

$$\varphi = 1,6 \text{ ab Verzahnungsqualität } 9$$

h) Rundlaufabweichung

$$F_r = 1,68 + 2,18 \cdot \sqrt{m_n} + (2,3 + 1,2 \log m_n) \cdot d^{1/4}$$

$$\varphi = 1,4$$

i) Zahndickenschwankung

$$R_s = 1 + 1,28 \sqrt{m_n} + (1,33 + 0,7 \log m_n) \cdot d^{1/4}$$

$$\varphi = 1,4$$

k) Flankenlinien-Gesamtabweichung

$$F_\beta = 0,8 \cdot \sqrt{b} + 4$$

$$\varphi = 1,25 \text{ bis Verzahnungsqualität } 6$$

$$\varphi = 1,4 \text{ Verzahnungsqualität } 6 \text{ bis } 8$$

$$\varphi = 1,6 \text{ Verzahnungsqualität } 8 \text{ bis } 12$$

l) Flankenlinien-Winkelabweichung

$$f_{H\beta} = 4,16 \cdot b^{0,14}$$

$$\varphi = 1,32 \text{ bis Verzahnungsqualität } 6$$

$$\varphi = 1,4 \text{ Verzahnungsqualität } 6 \text{ bis } 8$$

$$\varphi = 1,55 \text{ Verzahnungsqualität } 8 \text{ bis } 12$$

m) Flankenlinien-Formabweichung

$$f_{\beta f} = \sqrt{F_\beta^2 - f_{H\beta}^2}$$



3.5.2 Wälzabweichungen

a) Zweiflanken-Wälzabweichung

$$F_i'' = 2 + 2,57 \cdot \sqrt{m_n} + (3,12 + 0,432 \log m_n) \cdot d^{1/4}$$

$$\varphi = 1,4$$

b) Zweiflanken-Wälzsprung

$$f_i' = 1,8 \cdot \sqrt{m_n} + 1,6 \cdot d^{1/4} - 1$$

$$\varphi = 1,4$$

c) Einflanken-Wälzabweichung

$$F_i' = 0,8 \cdot (F_p + F_f)$$

$$\varphi = 1,4 \text{ bis Verzahnungsqualität } 9$$

$$\varphi = 1,6 \text{ ab Verzahnungsqualität } 9$$

d) Einflanken-Wälzsprung

$$f_i' = 0,7 \cdot (f_p + f_f)$$

$$\varphi = 1,4 \text{ bis Verzahnungsqualität } 9$$

$$\varphi = 1,6 \text{ ab Verzahnungsqualität } 9$$

3.6 Toleranzen für den Durchmesser des Kopfkreises (Kopfzylinders)

Wegen des modulabhängigen Kopfspieles und des Einflusses des Kopfkreisdurchmessers auf die Profilüberdeckung der Verzahnung wird bei nichtüberschnittenen Zahnköpfen für den Durchmesser des Kopfzylinders die Toleranz $\pm 0,05 \cdot m$ vorgeschrieben, sofern nichts anderes vereinbart ist.

Bei überschrittenen Zahnköpfen, die bei den Zahnradern der Feinwerktechnik vorzugsweise verwendet werden, dient der Durchmesser des Kopfzylinders zur indirekten Kontrolle der Zahndicke. Er wird bei $\alpha = 20^\circ$ um das 2,747fache, bei $\alpha = 15^\circ$ um das 3,732fache des Zahndickenmaßes kleiner als das Nennmaß. Näheres hierzu siehe DIN 58 405 Teil 2, Ausgabe Mai 1972, Abschnitt 2.1.

4 Tolerierung

4.1 Toleranzfamilien

Die Toleranzen müssen funktions- und fertigungsgerecht gewählt sein. Je höher die funktionellen Anforderungen an ein Zahnrad sind, umso besser muß die gefertigte Ver-

zahnungsqualität sein, desto differenzierter muß aber auch toleriert werden, um unnötigen Fertigungsaufwand zu vermeiden. Daher können für die einzelnen Bestimmungsgrößen grundsätzlich verschiedene Verzahnungsqualitäten festgelegt werden. Eine derartige Koppelung heißt Toleranzfamilie.

Es ist jedoch nicht sinnvoll, Toleranzfamilien zu bilden, in denen für jede maßgebende Bestimmungsgröße eine unterschiedliche Verzahnungsqualität festgelegt wird. Die von einem Zahnrad verlangten Betriebseigenschaften lassen sich in folgende Funktionsgruppen einordnen:

- G: Gleichförmigkeit der Bewegungsübertragung
- L: Laufruhe und dynamische Tragfähigkeit
- T: Statische Tragfähigkeit
- N: Keine Angabe der Funktion

Sie hängen wesentlich — wenn auch nicht ausschließlich — von bestimmten geometrischen Anforderungen ab, siehe Tabelle 1. Wenn Toleranzfamilien mit unterschiedlichen Verzahnungsqualitäten gebildet werden, ist es daher sinnvoll, für die Toleranzen einer Funktionsgruppe jeweils gleiche Verzahnungsqualitäten zu wählen. Auf diese Weise können Toleranzfamilien mit höchstens 3 verschiedenen Verzahnungsqualitäten entstehen. Wenn eine Bestimmungsgröße in mehreren Funktionsgruppen vorkommt, so gilt für diese Bestimmungsgröße die Gruppe mit der feineren Verzahnungsqualität.

4.2 Anwendung von Toleranzfamilien

Grundsätzlich wird es häufig vorkommen, daß man für ein Zahnrad nur eine allgemeine Betriebseigenschaft verlangen will oder kann, ohne Berücksichtigung spezieller Funktionsanforderungen (Funktionsgruppe N).

In diesen Fällen wird nur eine einzige Verzahnungsqualität vorgeschrieben, z. B. Verzahnungsqualität 8. (Was in diesen und den folgenden Fällen einzuhalten und zu prüfen ist, ist in Abschnitt 5 beschrieben.) In anderen Fällen wird man verlangen, daß die Anforderungen einer bestimmten Funktionsgruppe erfüllt werden. Dann ist der Buchstabe der Funktionsgruppe mit der geforderten Verzahnungsqualität anzugeben. Beispiele sind in Tabelle 2 enthalten.

Tabelle 1. Funktionsgruppen der Abweichungen

Funktionsgruppe		Wichtige Abweichungen *)
G	Gleichförmigkeit der Bewegungsübertragung	F_i' f_i' F_p F_i'' F_r f_i''
L	Laufruhe und dynamische Tragfähigkeit	f_i' f_p (f_{pe}) f_i'' F_f $f_{H\beta}$ F_p (F_r)
T	Statische Tragfähigkeit	f_{pe} $f_{H\beta}$ TRA
N	Keine Angabe der Funktion	F_i'' $f_{H\beta}$ F_f f_i''

*) Neben diesen Abweichungen gibt es selbstverständlich auch noch andere Einflußgrößen, von denen die Betriebseigenschaften abhängen, z. B. ist die Laufruhe auch von Drehzahl und Belastung abhängig, die Tragfähigkeit von der Oberflächengüte, vom Werkstoff und dessen Zustand. Es kann deshalb durchaus erforderlich sein, zusätzlich auch nichtgeometrische Anforderungen zu stellen, z. B. über bestimmte Härtewerte oder bestimmte Schalldruckpegel unter vorgegebenen Betriebsbedingungen.