

Meßstückdurchmesser für das radiale oder diametrale Prüfmaß der Zahndicke an Stirnrädern (Zylinderrädern)

DIN 3977

Cylindrical gears; diameters of balls or pins for ball or pin measurements

Engrenages cylindriques; diamètres des billes ou des chevilles pour la mesure sur billes ou sur chevilles

Zur Erleichterung der Anwendung dieser Norm wurden in Anhang A rechnerische Zusammenhänge der Zahndicken-Prüfmaße aufgenommen.

1 Geltungsbereich und Zweck

Bei Stirnrädern (Zylinderrädern) mit Evolventenverzahnung nach DIN 3960 ist eines der Zahndicken-Prüfmaße das radiale oder diametrale Maß über Meßkugeln oder Meßrollen (Meßdrähte, Prüfstifte). Nach denselben Grundsätzen kann die Zahndicke auch an Zylinderschnecken nach DIN 3975 sowie an Zahnwellen und Zahnradnaben mit Evolventenverzahnung nach DIN 5480 Teil 1 bestimmt werden.

Die Bilder 1 bis 3 gelten für Stirnräder (Zylinderräder) mit Evolventenverzahnung nach DIN 3960. Aus ihnen ist abzulesen, welche Meßstückdurchmesser D_M (Durchmesser der Meßkugeln und Meßrollen bzw. Meßdrähte oder Prüfstifte) für die gegebenen Bestimmungsgrößen einer Verzahnung mit Bezugsprofil nach DIN 867 oder DIN 58 400 anwendbar sind (siehe Abschnitt 6). Die Meßstückdurchmesser können auch mittels der in DIN 3960 angegebenen Gleichungen berechnet werden. Nach den so ermittelten Werten sind die zu benutzenden Meßstückdurchmesser aus den in Tabelle 1 aufgeführten Werten auszuwählen; zusätzliche Größen sind – zumindest für Stirnräder im Modulbereich $m_n \leq 10$ mm – im allgemeinen nicht erforderlich.

Die Bilder 1 bis 3 und die entsprechenden Gleichungen in DIN 3960 können auch für Zylinderschnecken der Flankenform ZI nach DIN 3975 benutzt werden.

Für Zahnwellen und Zahnradnaben sind die zu benutzenden Meßrollendurchmesser D_M (Prüfstiftdurchmesser) in DIN 5480 Teil 3 bis Teil 13 angegeben. Diese Werte sind in Tabelle 1 enthalten.

2 Mitgeltende Normen

DIN 867	Bezugsprofil für Stirnräder (Zylinderräder) mit Evolventenverzahnung, für den allgemeinen Maschinenbau und den Schwermaschinenbau
DIN 2269	Prüfstifte
DIN 3960	Begriffe und Bestimmungsgrößen für Stirnräder (Zylinderräder) und Stirnradpaare (Zylinderradpaare) mit Evolventenverzahnung
DIN 3975	Begriffe und Bestimmungsgrößen für Zylinderschneckengetriebe mit Achsenwinkel 90°
DIN 5480 Teil 1	Zahnwellen-Verbindungen mit Evolventenflanken, Grundbegriffe
DIN 5480 Teil 3 bis Teil 13	Zahnwellen-Verbindungen mit Evolventenflanken
DIN 58 400	Bezugsprofil für Stirnräder mit Evolventenverzahnung, für die Feinwerktechnik

3 Zeichen und Benennungen

d_v	V-Kreisdurchmesser
d_K	Durchmesser des Meßkugel-Mittelpunktkreises
d_M	Meßkreisdurchmesser (an Berührstelle der Zahnflanken mit Meßkugel oder Meßrolle)
m_n	Normalmodul
p_x	Axialteilung
x	Profilverschiebungsfaktor
x_E	Erzeugungs-Profilverschiebungsfaktor
z	Zähnezahl
z_{nM}	Ersatzzähnezahl für Kugel- oder Rollenmaße
A_s	Zahndickenabmaß
D_M	Meßkugel- oder Meßrollendurchmesser (Meßstückdurchmesser)
M_{rK}	Radiales Einkugelmaß
M_{rR}	Radiales Einrollenmaß
α_n	Normaleingriffswinkel
α_t	Stirneingriffswinkel
α_{Kt}	Stirnprofilwinkel am Meßkugel-Mittelpunktkreis
α_M	Profilwinkel am Meßkreis
β	Schrägungswinkel
β_M	Schrägungswinkel am Meßkreis

4 Maße

Tabelle 1. Nennmaße der Durchmesser D_M der Meßkugeln und Meßrollen (Meßdrähte, Prüfstifte) = Meßstückdurchmesser D_M in mm

0,17	0,895	3	6,5	16
0,195	1	3,25	7	18
0,22	1,1	3,5	7,5	20
0,25	1,25	3,75	8	22
0,29	1,4	4	9	25
0,335	1,5	4,25	10	28
0,39	1,75	4,5	10,5	30
0,455	2	5	11	35
0,53	2,25	5,25	12	40
0,62	2,5	5,5	14	45
0,725	2,75	6	15	50

Die Werte unter 1 mm sind gleich den Meßdrahtdurchmessern, die auch für Gewindemessungen nach der Dreidrahtmethode benutzt werden.

Fortsetzung Seite 2 bis 7

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

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, gestattet.

5 . Toleranzen und zulässige Abweichungen

Für Meßstücke bis 20 mm Nenndurchmesser gelten die Toleranzen und zulässigen Abweichungen nach DIN 2269.

Für größere Meßstücke gelten die Toleranzen und zulässigen Abweichungen nach Tabelle 2.

Tabelle 2. Toleranzen und zulässige Abweichungen in μm

	Genauigkeitsgrad		
	0	1	2
Durchmesser, zulässige Abweichungen	$\pm 0,5$	$\pm 1,5$	± 3
Rundheitstoleranz	0,3	1	2
Geradheitstoleranz der Mantellinien	0,5	1	2

6 Zusätzliche Angaben

Bild 1 zeigt die Zuordnung der Meßstückdurchmesser D_M zu den Bestimmungsgrößen einer Stirnradverzahnung für die Bedingung, daß die Meßstücke die Zahnflanken nahe am V-Zylinder (siehe DIN 3960) berühren. Der untere Bildteil gibt den Zusammenhang zwischen der Zahnrad-Zähnezahl z , dem Schrägungswinkel β und der Ersatz-zähnezahl $z_{nM} = z/\cos^3 \beta$ (siehe DIN 3960) wieder. Im mittleren Teil sind die Meßstückdurchmesser D_M abzulesen, die sich bei außenverzahnten Stirnrädern (Außenrädern) für die genannte Bedingung ergeben, und zwar abhängig von der Ersatzzähnezahl z_{nM} und dem Profilverschiebungsfaktor x . Der obere Bildteil zeigt den entsprechenden Zusammenhang für innenverzahnte Stirnräder (Hohlräder).

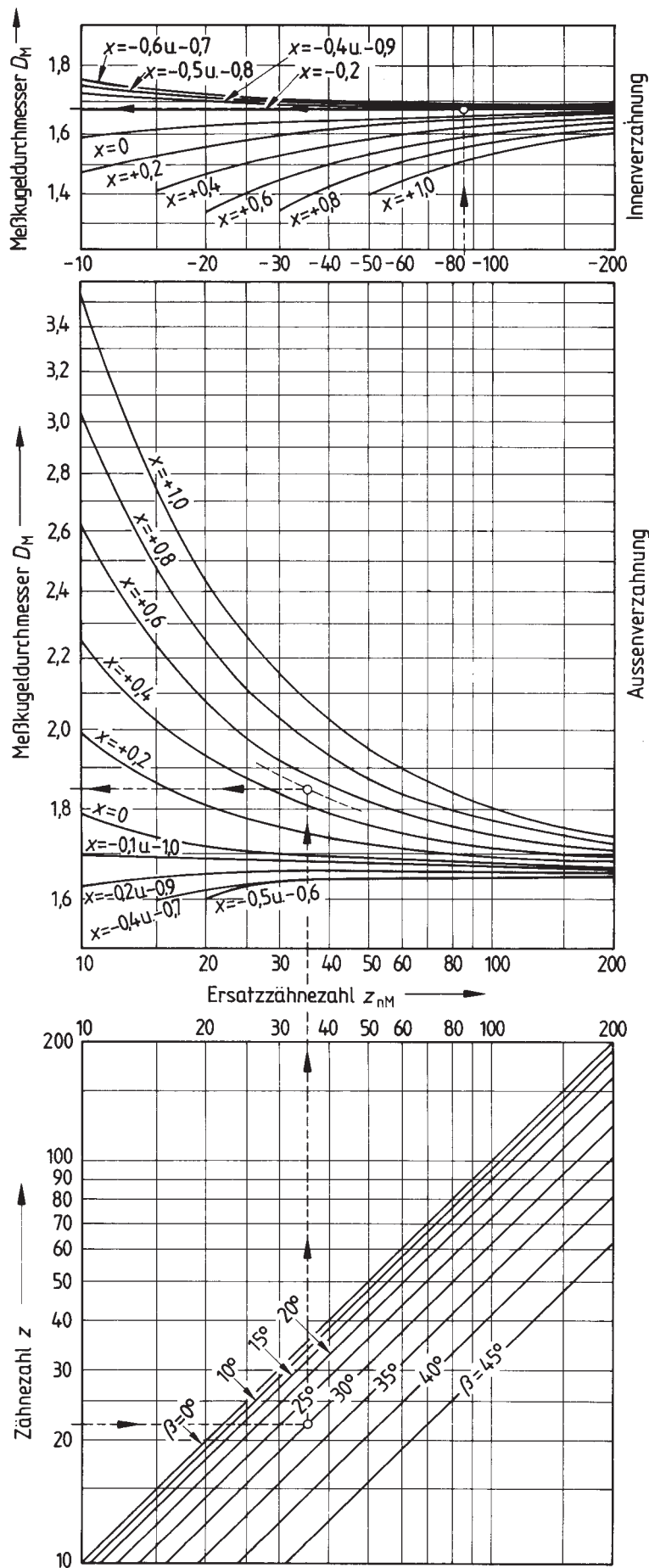
Bei Außenrädern ist es im allgemeinen zulässig, daß der radiale Abstand zwischen Meßkreis (Berührungspunkte) und V-Zylinder im Bereich von $0,5 \cdot m_n$ (in Richtung zum Kopfzylinder) und $-0,1 \cdot m_n$ (in Richtung zum Fußzylinder) liegt. Diese Grenzen sind durch die Kurven im **Bild 2** dargestellt. Die Kurven sind für den Bereich der ausführbaren Evolventenverzahnungen mit Bezugsprofil

nach DIN 867 gezeichnet (siehe DIN 3960). Die ausgezogenen Kurven geben die größten verwendbaren Meßstückdurchmesser an. Diese berühren die Zahnflanken auf Meßkreisen mit dem radialen Abstand $0,5 \cdot (d_M - d_v) = 0,5 \cdot m_n$, wobei d_M der Meßkreisdurchmesser und d_v der V-Kreisdurchmesser ist. Die gestrichelten Kurven geben die kleinsten verwendbaren Meßstückdurchmesser an. Diese berühren die Zahnflanken auf Meßkreisen mit dem radialen Abstand $0,5 \cdot (d_M - d_v) = -0,1 \cdot m_n$.

Bei Hohlrädern ist es im allgemeinen zulässig, daß der radiale Abstand zwischen Meßkreis (Berührungspunkte) und V-Zylinder im Bereich von $0,1 \cdot m_n$ (in Richtung zum Kopfzylinder) bis $-0,3 \cdot m_n$ (in Richtung zum Fußzylinder) liegt. Diese Grenzen sind durch die Kurven im **Bild 3** dargestellt. Die Kurven sind für den Bereich der ausführbaren Evolventenverzahnungen mit Bezugsprofil nach DIN 867 gezeichnet (siehe DIN 3960). Die ausgezogenen Kurven geben die größten verwendbaren Meßstückdurchmesser an. Diese berühren die Zahnflanken auf Meßkreisen, die innerhalb des V-Zylinders liegen und zu diesem den radialen Abstand $0,1 \cdot m_n$ haben. Die gestrichelten Kurven geben die kleinsten verwendbaren Meßstückdurchmesser an. Diese berühren die Zahnflanken auf Meßkreisen, die außerhalb des V-Zylinders liegen und zu diesem den radialen Abstand $-0,3 \cdot m_n$ haben.

Anmerkung: Bei Hohlrädern wird für Berechnungen die Zähnezahl z negativ gesetzt. Damit ergeben sich für alle unmittelbar von der Zähnezahl abhängigen Größen – das sind z. B. alle Durchmesser und Halbmesser des Hohlrades, die Zahndicken- und Zahnlückenwinkel und das radiale und das diametrale Prüfmaß der Zahndicke – negative Werte. Alle Profilwinkel α und die Meßstückdurchmesser D_M sind positiv. Siehe DIN 3960.

Im allgemeinen können Meßstücke verwendet werden, deren Durchmesser innerhalb der angegebenen Grenzen liegen. In Sonderfällen ist es auch möglich, diese Grenzen zu überschreiten. Die Meßstücke müssen stets die Zahnflanken im evolventischen Teil berühren. Sie sollen einerseits über den Kopfzylinder des Zahnrades hinausragen, sie dürfen andererseits nicht am Zahngrund anliegen.

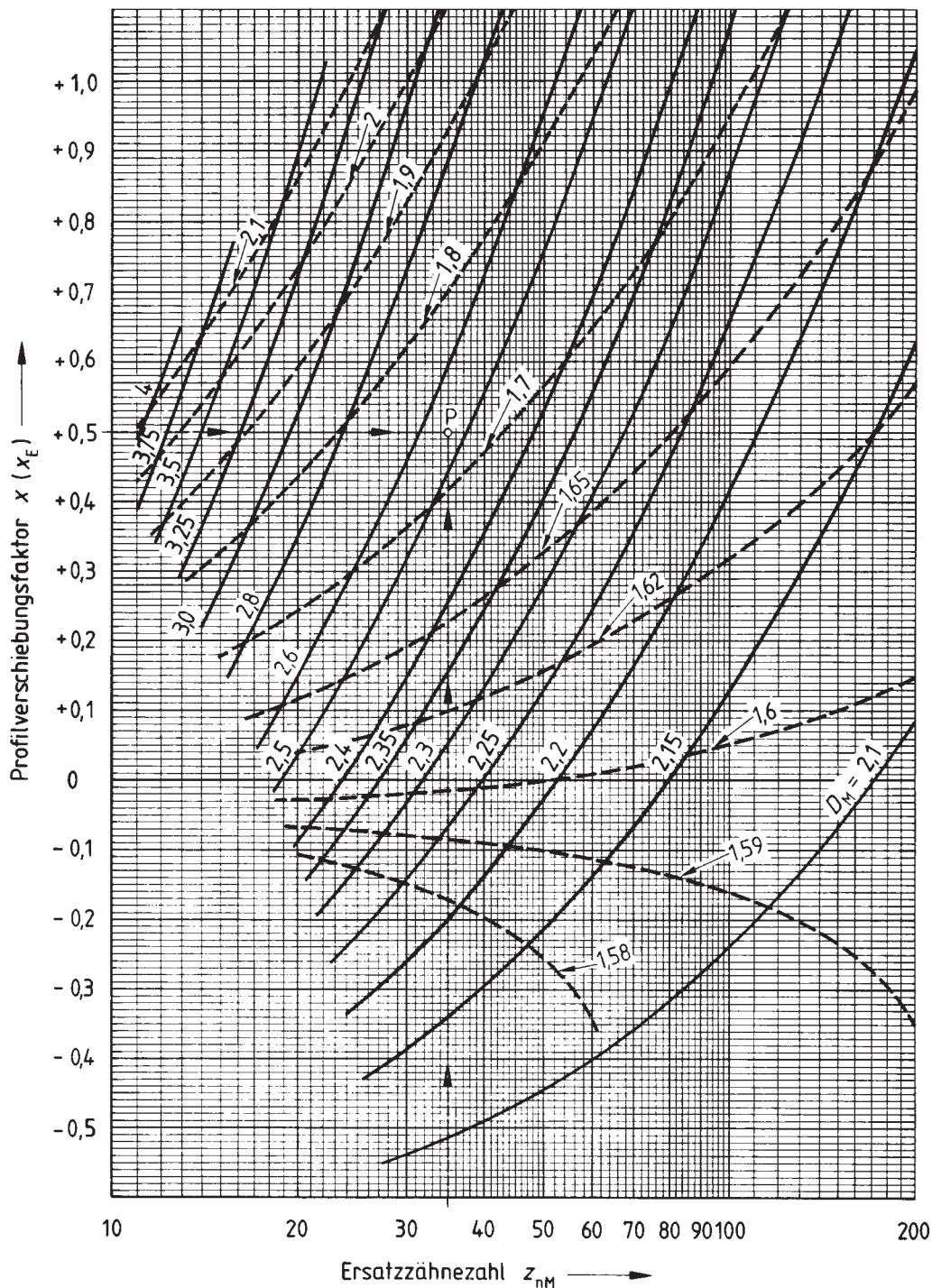


Beispiel: Nach dem unteren Bildteil gehört zur Zähnezahl $z = 22$ und dem Schrägungswinkel $\beta = 30^\circ$ die Ersatzzähnezahl $z_{nM} \approx 35$. Für ein Außenrad ergibt sich mit diesem Wert und dem Profilverchiebungsfaktor $x = 0,5$ im mittleren Bildteil für $m_n = 1,85$ mm der Meßstückdurchmesser $D_M = 1,85$ mm. Bei $m_n = 3,5$ mm ist somit ein Meßstück mit dem Durchmesser $D_M = 6,5$ mm zu benutzen.

Zu einem Hohlrad mit der Ersatzzähnezahl $z_{nM} = -85$ und dem Profilverchiebungsfaktor $x = -0,45$ gehört nach dem oberen Bildteil der Meßstückdurchmesser $D_M = 1,68$. Für $m_n = 3,5$ mm ist somit ein Meßstück mit dem Durchmesser $D_M = 6$ mm zu benutzen.

Bild 1. Meßstückdurchmesser D_M für das radiale oder diametrale Prüfmaß der Zahndicke von Stirnrädern (Zylinderrädern) mit Evolventenverzahnung sowie $\alpha_n = 20^\circ$ und $m_n = 1$ mm für Berührung nahe dem V-Zylinder.

Für andere Moduln sind die D_M -Werte mit dem Zahlenwert von m_n zu multiplizieren. Bei Stirnrädern mit Zahndickenabmaßen tritt x_B an Stelle von x .

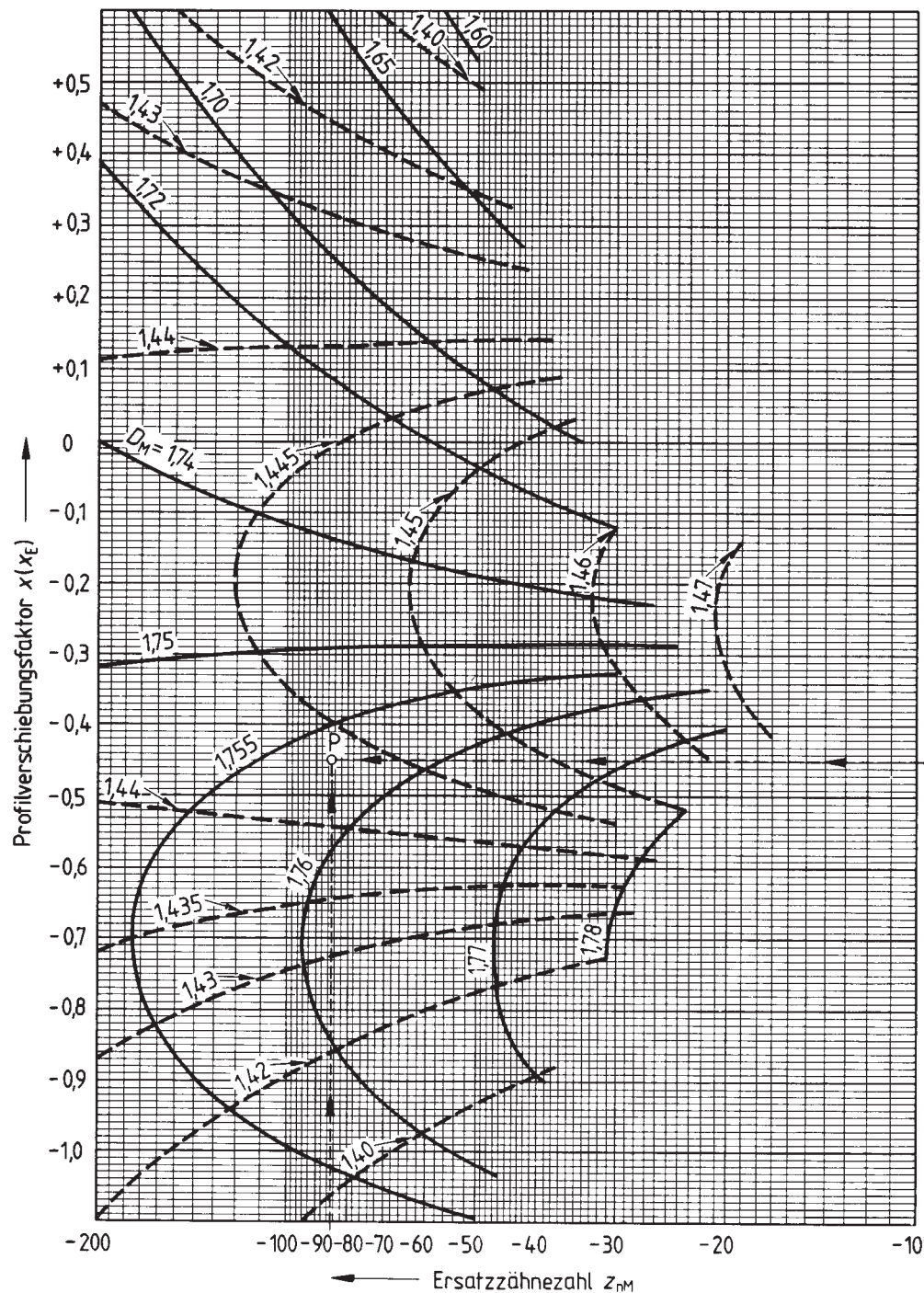


Beispiel: Der Ersatzzähnezahl $z_{nm} = 35$ und dem Profilverschiebungsfaktor $x = +0,5$ entspricht im Diagramm der Punkt P. Durch Interpolation zwischen den ausgezogenen Kurven erhält man $D_M \approx 2,54$. Durch Interpolation zwischen den gestrichelten Kurven erhält man $D_M \approx 1,73$. Somit sind Meßstücke mit $1,73 \cdot m_n < D_M < 2,54 \cdot m_n$ verwendbar.

Für ein Außenrad mit $\alpha_n = 20^\circ$, $\beta = 30^\circ$, $z = 22$, $x = +0,5$ und $m_n = 3,5$ mm können deshalb nach Tabelle 1 Meßstücke mit den Durchmessern $D_M = 6$ mm, 6,5 mm, 7 mm, 7,5 mm oder 8 mm verwendet werden. Gegebenenfalls ist nachzuprüfen, ob die Meßstücke über den Kopfzylinder hinausragen und am Fußzylinder nicht anstoßen (insbesondere bei Stirnrädern nach DIN 58 400).

Bild 2. Grenzwerte für die Meßstückdurchmesser D_M für Außenräder mit $\alpha_n = 20^\circ$ und $m_n = 1$ mm.

Die ausgezogenen Kurven geben die größten verwendbaren Durchmesser, die gestrichelten Kurven die kleinsten verwendbaren Durchmesser an. Für andere Moduln sind die D_M -Werte mit dem Zahlenwert von m_n zu multiplizieren. Bei Stirnrädern mit Zahndickenabmaßen tritt x_E an Stelle von x .



Beispiel: Den Werten $z_{nM} = -85$ und $x = -0,45$ entspricht im Diagramm der Punkt P. Durch Interpolation zwischen den ausgezogenen Kurven erhält man $D_M \approx 1,756$. Durch Interpolation zwischen den gestrichelten Kurven erhält man $D_M \approx 1,443$. Somit sind Meßkugeln mit $1,443 \cdot m_n < D_M < 1,756 \cdot m_n$ verwendbar.

Für ein Hohlrad mit $\alpha_n = 20^\circ$, $z_{nM} = -85$, $x = -0,45$ und $m_n = 3,5$ mm können deshalb nach Tabelle 1 Meßkugeln mit den Durchmessern $D_M = 5,25$ mm, $5,5$ mm oder 6 mm verwendet werden. Gegebenenfalls ist nachzuprüfen, ob die Meßkugeln über den Kopfzylinder hinausragen und am Fußzylinder nicht anstoßen (insbesondere bei Stirnrädern nach DIN 58 400).

Bild 3. Grenzwerte für die Meßkugeldurchmesser D_M für Hohlräder mit $\alpha_n = 20^\circ$ und $m_n = 1$ mm.

Die ausgezogenen Kurven geben die größten verwendbaren Durchmesser, die gestrichelten Kurven die kleinsten verwendbaren Durchmesser an. Für andere Moduln sind die D_M -Werte mit dem Zahlenwert von m_n zu multiplizieren. Bei Stirnrädern mit Zahndickenabmaßen tritt x_E an Stelle von x .

Anhang A

Rechnerische Zusammenhänge der Zahndicken-Prüfmaße

Bei der Fertigungskontrolle von Stirnrädern (Zylinderrädern) mit Evolventenverzahnung wird als Prüfmaß der Zahndicke – neben anderen Prüfmaßen – das Ein- oder Zweikugelmaß (oder Ein- oder Zweirollenmaß) benutzt, bei dem ein oder zwei Meßstücke (Meßkugeln oder Meßrollen bzw. Meßdrähte, Prüfstifte) in Zahnücken eingelegt werden und das radiale oder diametrale Maß über die Meßstücke (oder zwischen den Meßstücken) bestimmt wird, siehe DIN 3960. Aus dem Meßstückdurchmesser D_M und dem radialen Einkugelmaß M_{rK} oder Einrollenmaß M_{rR} ergibt sich das Istmaß der Zahndicke bzw. das Ist-Abmaß A_s der Zahndicke nach den folgenden Gleichungen. Liegt das diametrale Zweikugelmaß M_{dK} oder Zweirollenmaß M_{dR} vor, dann sind diese Maße nach DIN 3960 auf das radiale Einkugelmaß umzurechnen oder die Gleichungen entsprechend umzuformen.

Für die Stirnrad-Bestimmungsgrößen,

Normaleingriffswinkel α_n ,

Normalmodul m_n ,

Zähnezahl z ,

Profilverschiebungsfaktor x ,

Schrägungswinkel β

ergibt sich der Meßstückdurchmesser D_M aus den Bildern 1 bis 3 dieser Norm oder aus den in DIN 3960 genannten Gleichungen. Für das Messen ist – vor allem bei größeren negativen Zahndickenabmaßen – bei Außenrädern meist ein etwas größerer Durchmesser als der nach Bild 1 ermittelte Durchmesser zweckmäßig. Bei Hohlrädern ist darauf zu achten, daß bei größeren Durchmessern D_M das Verhältnis $\Delta A_s / \Delta M_{rK}$ nach Gleichung (6) nicht zu klein oder der Abmaßfaktor A_{Md}^* bzw. A_{Mr}^* (siehe DIN 3960) nicht zu groß wird.

Mit dem Istwert des Meßstückdurchmessers D_M und dem Meßwert des radialen Einkugelmaßes M_{rK} ergibt sich zunächst der Stirnprofilwinkel α_{Kt} am Meßkugel-Mittelpunktkreis d_K zu

$$\cos \alpha_{Kt} = \frac{z \cdot m_n \cdot \cos \alpha_t}{\cos \beta \cdot (2 \cdot M_{rK} - D_M)} \quad (1)$$

wobei der Stirneingriffswinkel α_t nach

$$\tan \alpha_t = \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta} \quad (2)$$

berechnet wird. Das Ist-Zahndickenabmaß A_s am Normalschnitt ist dann

$$A_s = z \cdot m_n \cdot \left[\frac{\pi - 4 \cdot x \cdot \tan \alpha_n}{2 \cdot z} + \text{inv } \alpha_{Kt} - \text{inv } \alpha_t \right] - \frac{D_M}{\cos \alpha_n} \quad (3)$$

Mit inv ist die Evolventenfunktion $\text{inv } \alpha = \tan \alpha - \alpha$ bezeichnet. Die Zahndickenabmaße sind meist negativ.

Die Meßstücke müssen die Zähne im evolventischen Teil der Zahnflanken berühren. Wenn hierüber Zweifel bestehen, ist auch der Meßkreisdurchmesser d_M (auf dem die Berührungspunkte liegen) zu berechnen. Er ist

$$d_M = \frac{z \cdot m_n \cdot \cos \alpha_t}{\cos \beta \cdot \cos \alpha_M} \quad (4)$$

wobei der Profilwinkel α_M am Meßkreisdurchmesser d_M aus

$$\tan \alpha_M = \tan \alpha_{Kt} - \frac{D_M}{z \cdot m_n} \cdot \frac{1 - \cos^2 \alpha_n \cdot \sin^2 \beta}{\cos \alpha_n} \quad (5)$$

zu berechnen ist. Erforderlichenfalls sind Meßstücke mit dem nächstgrößeren (oder nächstkleineren) Durchmesser zu benutzen.

Durch Differenzieren der Gleichungen (1) und (3) und Umformen ergibt sich:

Ändert sich der Meßwert des radialen Einkugelmaßes M_{rK} um einen kleinen Betrag ΔM_{rK} (ist z. B. ein Meßfehler ΔM_{rK} aufgetreten, oder weicht der Meßwert um ΔM_{rK} von einem vorgegebenen Wert M_{rK} ab), dann ändert sich das Ergebnis für das Zahndickenabmaß A_s um

$$\Delta A_s \approx \frac{2 \cdot \sin \alpha_{Kt} \cdot \cos \beta}{\cos \alpha_t} \cdot \Delta M_{rK} \quad (6)$$

Außerdem gilt:

Ändert sich der Meßstückdurchmesser D_M um einen kleinen Betrag ΔD_M (ist er z. B. um ΔD_M falsch bestimmt, oder werden um ΔD_M abweichende Meßstücke benutzt), dann ändert sich das Ergebnis für das Zahndickenabmaß A_s um

$$\Delta A_s \approx - \left(\frac{1}{\cos \alpha_n} + \frac{\sin \alpha_{kt} \cdot \cos \beta}{\cos \alpha_t} \right) \cdot \Delta D_M. \quad (7)$$

Bei Berührung nahe am V-Zylinder ist für Außenräder

$$\Delta A_s \approx + (0,7 \dots 1,2) \cdot \Delta M_{rK}$$

$$\Delta A_s \approx - (1,4 \dots 1,7) \cdot \Delta D_M.$$

Bei Berührung nahe am V-Zylinder ist für Hohlräder

$$\Delta A_s \approx + (0,3 \dots 0,8) \cdot \Delta M_{rK}$$

$$\Delta A_s \approx - (1,2 \dots 1,5) \cdot \Delta D_M$$

Daraus ergeben sich die Grenzen für die Meßunsicherheit, mit der M_{rK} und D_M ermittelt werden müssen, bzw. die Unsicherheit, mit der A_s bestimmt werden kann.

Wird ein Zahnrad einmal mit Meßkugeln, das andere Mal mit Meßrollen (Meßdrähten, Prüfstiften) gemessen, dann können sich – obwohl die rechnerischen Beziehungen die gleichen sind – zwei nicht völlig gleiche Werte ergeben. Das liegt zum einen daran, daß die Meßkraft sich bei Meßstücken unterschiedlicher Form (Kugeln, Zylinder) nicht genau gleich auswirkt, zum anderen daran, daß die Abweichungen der verschiedenen Bestimmungsgrößen eines Zahnrades sich bei den zwei Meßmethoden unterschiedlich auswirken (siehe DIN 3967).

An Zylinderschnecken nach DIN 3975 können die Zahndicken nach denselben Grundsätzen bestimmt werden. Analog zur Messung des Flankendurchmessers von Gewinden werden Zylinderschnecken – ebenso wie Zylinderräder mit großem Schrägungswinkel – meist über drei Rollen gemessen. Dieses Maß ist gleich dem doppelten Einkugelmaß. Die für Dreierollenmessungen erforderliche Mindest-Zahnbreite $b_{\min} \geq p_x + D_M \cdot (1 + \sin \beta_M) \approx 2 \cdot p_x$ ist im allgemeinen vorhanden. Für Zylinderschnecken mit evolventischer Zahnform (ZI-Schnecken) gelten die in DIN 3960 angegebenen Beziehungen, wobei allerdings zu beachten ist, daß Schnecken meist nach dem Axialmodul $m_x = p_x / \pi$ bemessen werden. Der in den Berechnungen verwendete Normalmodul ergibt sich aus $m_n = m_x \cdot \sin \beta$. Für Zylinderschnecken mit anderen Flankenformen (ZA-, ZN- oder ZK-Schnecken) sind die Berechnungen verwickelter ¹⁾.

Für Zahnwellen und Zahnnaben mit Evolventenflanken sind die Meßrollendurchmesser D_M sowie die Prüfmaß-Nennmaße und die Abmaßfaktoren (siehe DIN 3960) in DIN 5480 Teil 3 bis Teil 13 angegeben.

¹⁾ Näheres hierüber ist z. B. im Bericht der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt Braunschweig, PTB – Me – 3, 1974 (G. Bock, R. Noch und O. Steiner, Zahndickenmessungen an Getriebeschnecken nach der Dreidrahtmethode) enthalten.

Weitere Normen

DIN 780 Teil 1	Modulreihe für Zahnräder, Moduln für Stirnräder
DIN 780 Teil 2	Modulreihe für Zahnräder, Moduln für Zylinderschneckengetriebe
DIN 2239	Lehren der industriellen Längenprüftechnik; Technische Lieferbedingungen
DIN 3967	Getriebe-Paßsystem; Flankenspiel, Zahndickenabmaße, Zahndickentoleranzen, Grundlagen
DIN 3976	Zylinderschnecken; Maße, Zuordnung von Achsabständen und Übersetzungen in Schneckenradsätzen