

DIN ISO 21771

ICS 21.200

Entwurf

Einsprüche bis 2012-12-31
Vorgesehen mit
DIN 21772:2012-07 und
E DIN 21773:2012-08
als Ersatz für
DIN 3960:1987-03

**Zahnräder –
Zylinderräder und Zylinderradpaare mit Evolventenverzahnung –
Bestimmungsgrößen und Geometrie (ISO 21771:2007)**

Gears –

Cylindrical involute gears and gear pairs –
Concepts and geometry (ISO 21771:2007)

Engrenages –

Roues et engrenages cylindriques à développante –
Concepts et géométrie (ISO 21771:2007)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2012-08-20 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an nam@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder in Papierform an den Normenausschuss Maschinenbau (NAM) im DIN, 60498 Frankfurt am Main, Postfach 71 08 64 (Hausanschrift: Lyoner Str. 18, 60528 Frankfurt am Main).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 92 Seiten

Normenausschuss Maschinenbau (NAM) im DIN

Inhalt

Seite

Nationales Vorwort	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Symbole und Abkürzungen	7
3.1 Zeichen und Benennungen	7
3.2 Indizes	13
3.3 Einheiten	14
4 Einzelräder	15
4.1 Begriffe für Einzelräder	15
4.1.1 Zahnrad, Zylinderrad, Außenrad, Innenrad	15
4.1.2 Verzahnung, Außenverzahnung, Innenverzahnung	15
4.1.3 Zahn und Zahnücke	15
4.1.4 Verzahnungsbestimmungsgrößen	15
4.1.5 Zähnezah und Vorzeichen der Zähnezah	15
4.1.6 Zahnnummer	16
4.1.7 Kopf- und Fußfläche	16
4.1.8 Zahnflanken und Flankenteile	16
4.2 Bezugsflächen, Bezugslinien und Bezugsgrößen	17
4.2.1 Bezugsfläche, Teilzylinder, Bezugstirnfläche	17
4.2.2 Bezugs-Zahnstange	17
4.2.3 Bezugsprofile für Evolventenverzahnungen	18
4.2.4 Teilzylinder, Teilkreis, Teilkreisdurchmesser	19
4.2.5 Radachse	19
4.2.6 Schnitte durch eine Zylinderradverzahnung	19
4.2.7 Modul	19
4.2.8 Zahnbreite	20
4.2.9 Profilverschiebung, Profilverschiebungsfaktor und Vorzeichen der Profilverschiebung	21
4.3 Evolventenschraubenfläche	22
4.3.1 Erzeugende einer Evolventenschraubenfläche	22
4.3.2 Steigungshöhe	23
4.3.3 Schrägungswinkel, Steigungswinkel	24
4.3.4 Flankenrichtung	25
4.3.5 Stirnprofilwinkel an beliebigem Durchmesser, Stirneingriffswinkel	25
4.3.6 Normalprofilwinkel an beliebigem Durchmesser, Normaleingriffswinkel	26
4.3.7 Wälzwinkel der Evolvente	26
4.3.8 Krümmungsradius der Evolvente, Wälzlänge	26
4.3.9 Evolventenfunktion	27
4.3.10 Grundzylinder, Grundkreis, Grundkreisdurchmesser	27
4.4 Teilungswinkel und Teilungen	27
4.4.1 Teilungswinkel	27
4.4.2 Teilungen auf dem Teilzylinder	27
4.4.3 Teilungen auf einem beliebigen Zylinder	28
4.4.4 Axialteilung	28
4.4.5 Grundkreisteilung	29
4.5 Durchmesser an Verzahnungen	29
4.5.1 V-Zylinder, V-Kreis-Durchmesser	29
4.5.2 Kopfhöhenänderungsfaktor	30
4.5.3 Kopfzylinder, Kopfkreis, Kopfkreis-Durchmesser	30
4.5.4 Fußzylinder, Fußkreis, Fußkreis-Durchmesser	30
4.6 Höhen der Verzahnung	30
4.6.1 Zahnhöhe	30
4.6.2 Zahnkopfhöhe, Zahnfußhöhe	30

4.7	Zahndicke, Lückenweite	31
4.7.1	Stirnzahndicke	31
4.7.2	Zahndicken-Halbwinkel.....	31
4.7.3	Lückenweite	31
4.7.4	Zahnlücken-Halbwinkel.....	32
4.7.5	Normalzahndicke	33
4.7.6	Normallückenweite	33
5	Zylinderradpaare	33
5.1	Benennungen an einem Zylinderradpaar.....	33
5.1.1	Gegenrad, Gegenflanke	33
5.1.2	Arbeitsflanke, Rückflanke.....	33
5.1.3	Außenradpaar	33
5.1.4	Innenradpaar.....	34
5.2	Paarungsgrößen	34
5.2.1	Zähnezahlverhältnis	34
5.2.2	Treibendes Rad, getriebenes Rad, Übersetzungsverhältnis	34
5.2.3	Mittenlinie, Achsabstand	34
5.2.4	Stirn-Betriebseingriffswinkel	35
5.2.5	Wälzpunkt, Wälzzylinder, Wälzkreise, Wälzkreisdurchmesser, Wälzachse	35
5.2.6	Gemeinsame Zahnhöhe	37
5.2.7	Kopfspiel	37
5.3	Berechnung der Summe der Profilverschiebungsfaktoren	37
5.4	Zahneingriff	38
5.4.1	Anfang der Evolvente, aktiver Bereich der Zahnflanken, Kopf- und Fuß- Nutzkreisdurchmesser.....	39
5.4.2	Eingriffsebene, Eingriffsfeld, Berührlinie	40
5.4.3	Eingriffsgerade, Eingriffsstrecke, Eingriffspunkt	40
5.4.4	Formübermaß	41
5.4.5	Bezeichnungen und Größen auf der Eingriffsgeraden.....	41
5.4.6	Eingriffsstörungen	43
5.4.7	Überdeckungen	43
5.4.8	Kontaktstrecke, Kontaktstreckensumme.....	45
5.5	Flankenspiel	46
5.5.1	Eingriffsflankenspiel	46
5.5.2	Flankenspielwinkel, Verdrehflankenspiel	46
5.5.3	Radialflankenspiel	47
5.6	Gleitverhältnisse an den Zahnflanken.....	47
5.6.1	Gleitgeschwindigkeit.....	47
5.6.2	Gleitfaktor.....	49
5.6.3	Spezifisches Gleiten.....	50
6	Zahnflankenmodifikationen.....	50
6.1	Zahnflankenmodifikationen, die die nutzbare Flanke einschränken	50
6.1.1	Fußfreischnitt (Vorbearbeitung)	50
6.1.2	Kopfantenbruch, Kopfantenrundung	51
6.2	Stirnprofilmodifikationen	51
6.2.1	Kopf- und Fußrücknahme.....	51
6.2.2	Stirnprofil-Winkelmodifikation	52
6.2.3	Stirnprofil-Balligkeit	53
6.3	Flankenlinien-Modifikationen	53
6.3.1	Flankenlinien-Endrücknahme	53
6.3.2	Flankenlinien-Winkelmodifikation, $C_{H\beta}$	54
6.3.3	Flankenlinien-Balligkeit, C_{β}	55
6.4	Flankenflächen-Modifikationen.....	55
6.4.1	Topografische Modifikationen	55
6.4.2	Dreieckförmige Endrücknahme	56
6.4.3	Schränkung	56
6.5	Beschreibung von Modifikationen mit Funktionen.....	57

7	Geometrische Grenzen	58
7.1	Werkzeug-Bezugsprofil	58
7.2	Bearbeitungszugabe	61
7.3	Zahndickenabmaße	61
7.4	Erzeugungs-Profilverschiebung, Erzeugungs-Profilverschiebungsfaktor	63
7.5	Erzeugter Fußkreisdurchmesser	64
7.6	Nutzbarer Bereich der Zahnflanke, Kopf- und Fuß-Formkreisdurchmesser	64
7.7	Unterschnitt	66
7.8	Überschnitt	66
7.9	Mindestzahndicke am Kopfkreis einer Verzahnung	66
Anhang A (informativ) Berechnungen mit Bezug zur Zahndicke		67
A.1	Zweck	67
A.1.1	Symbole	67
A.1.2	Auswirkungen der Zahndicke	68
A.2	Zahnweite	68
A.2.1	Außenverzahnungen, Messzähnezahl	70
A.2.2	Gerade Innenverzahnung, Messlückenzahl	72
A.2.3	System „Wirksame Zahndicke“ — Zahnweitenanpassung für zulässige Toleranzen	73
A.3	Normal-Zahndickensehnen und Höhen über der Sehne	74
A.3.1	Allgemeines	74
A.3.2	System „Wirksame Zahndicke“ — Zahndickensehne	75
A.4	Konstante Sehne	80
A.5	Radiales Einkugelmaß	81
A.6	Radiales Einzylindermaß	84
A.7	Diametrales Zweikugelmaß	84
A.7.1	Diametrales Zweizylindermaß	87
A.7.2	System „Wirksame Zahndicke“ — Kugelmaße — Korrektur für Zahnabweichungen (Anpassung zulässiger Toleranzen)	87
A.8	Zweiflankenwälz-Achsabstand	87
A.9	Kopfkreisbezogene Prüfmaße für die Zahndicke	87
Nationaler Anhang NA (informativ) Berichtigungen gegenüber ISO 21771:2007		89
Literaturhinweise		92

Nationales Vorwort

Diese Deutsche Norm ist die Übersetzung der ersten Ausgabe der Internationalen Norm ISO 21771: 2007, die vom Technischen Komitee ISO/TC 60 „Gears“, Subkomitee SC1 „*Nomenclature and wormgearing*“ erstellt wurde. Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 060-34-11 AA, „Zylinderräder – Terminologie und Toleranzen“ im Normenausschuss Maschinenbau (NAM), Fachbereich Antriebstechnik des DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Der informative Anhang A „Berechnungen mit Bezug zur Zahndicke“ kann in der vorliegenden Form nicht zur Anwendung empfohlen werden. Grund ist die Durchmischung der zwei Systeme „Nenn-Zahndicke“ (Deutschland) und „wirksame Zahndicke“ (USA). Bei der Anwendung besteht die große Gefahr, falsche Gleichungen oder Größen zu verwenden. Der informative Anhang A kann daher den normativen Teil aus DIN 3960 nicht ersetzen. Zur Lösung des Problems wurden die Teile, die das System „Nenn-Zahndicke“ beschreiben, in eine gesonderte Norm DIN 21773 überführt.

HINWEIS auf Korrekturen — Bei der Übersetzung des englischen Textes von ISO 21771 wurden in mehreren Bildern und Formeln Fehler entdeckt. Die Korrekturen finden sich im nationalen Anhang NA von DIN ISO 21771.

Internationale Normen werden in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2, erstellt.

Diese erste Ausgabe von ISO 21771 ersetzt ISO/TR 4467:1982, welche technisch überarbeitet wurde.

Für die in diesem Dokument zitierten Internationalen Normen, sofern sie nicht als DIN ISO- oder DIN EN ISO-Normen mit gleicher Zählnummer veröffentlicht sind, werden im Folgenden die entsprechenden deutschen Normen aufgeführt:

ISO 53	siehe	DIN 867
ISO 54	siehe	DIN 780-1
ISO 1328-1	siehe	DIN 3961, DIN 3962-1, DIN 3962-2, DIN 3963
ISO 1328-2	siehe	DIN 3962-1, DIN 3963I
ISO 4156	siehe	DIN 5480

Änderungen

Gegenüber DIN 3960:1987-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Norm wurde technisch komplett überarbeitet;
- b) in den Abschnitten 3, 4 und 9 sowie der Anhang A wurden Gleichungen und Berechnungen überarbeitet.

Zahnräder — Zylinderräder und Zylinderradpaare mit Evolventenverzahnung — Bestimmungsgrößen und Geometrie

1 Anwendungsbereich

Diese Norm legt Begriffe und Bestimmungsgrößen für Zylinderräder, deren Zahnflanken Teile von Kreis-Evolventenschraubenflächen sind, fest. Flankenmodifikationen sind eingeschlossen.

Weiterhin behandelt diese Norm die Begriffe und Bestimmungsgrößen für Zylinderradpaare mit parallelen Achsen und konstantem Übersetzungsverhältnis, die aus Zylinderrädern nach dieser Norm gebildet werden. Rad und Gegenrad dieser Radpaare haben das gleiche Bezugsprofil.

Die Gleichungen in dieser Norm gelten nicht nur für Profilwinkel $\alpha_P = 20^\circ$.

Die Norm ist wie folgt strukturiert:

- Zeichen und Benennungen für eine eindeutige Beschreibung von Zahnradern und Zahnradpaaren (siehe Abschnitt 3).
- Gleichungen und Erklärungen von wichtigen Parametern, die ein Zylinderrad und seine Verzahnung definieren. Die Gleichungen zur Bestimmung der Nennwerte einer abweichungsfreien Verzahnung sind für Zahnhöhen, Abstände zwischen gleichnamigen und ungleichnamigen sowie die Zahnflanke charakterisierende Kenngrößen ausgelegt (siehe Abschnitt 4).
- Gleichungen und Erklärungen von wichtigen Parametern zur Beschreibung von Zylinderradpaaren. Die Gleichungen für die wichtigen Kenngrößen des lastfreien Zahneingriffs sind angegeben (siehe Abschnitt 5).
- Gleichungen und Empfehlungen für gewünschte Flankenmodifikationen (siehe Abschnitt 6).
- Grundlagen und Empfehlungen zur eindeutigen geometrischen Beschreibung für die Verzahnungsfertigung (siehe Abschnitt 7).
- Gleichungen zur Beschreibung der Nennwerte oder Grenzwerte der am häufigsten verwendeten Zahndickenmessgrößen (siehe Anhang A).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 53:1998, *Cylindrical gears for general and heavy engineering — Standard basic rack tooth profile*

ISO 1328-1:1995, *Cylindrical gears — ISO system of accuracy — Part 1: Definitions and allowable values of deviations relevant to corresponding flanks of gear teeth*

ISO 1328-2:1997, *Cylindrical gears — ISO system of accuracy — Part 2: Definitions and allowable values of deviations relevant to radial composite deviations and runout information*

3 Symbole und Abkürzungen

3.1 Zeichen und Benennungen

Symbol	Benennung	verwendet in
a_w	Achsabstand eines Zylinderradpaares	5.2.3
a_0	Achsabstand im Erzeugungsgetriebe	7.5
a_L	Zweiflankenwälz-Achsabstand	A.8
b	Zahnbreite	4.2.8
b_F	nutzbare Zahnbreite	4.2.8
b_M	Berührgeraden-Überdeckung (bei Zahnweitenmessungen)	A.2.1
b_w	genutzte Zahnbreite	5.4.7.2
c	Kopfspiel	5.2.7
c_F	Formübermaß	5.4.4
d	Teilkreisdurchmesser	4.2.4
d_a	Kopfkreisdurchmesser	4.5.3
d_{a0}	Kopfkreisdurchmesser des Werkzeuges	7.5
d_{aM}	Kopfkreisdurchmesser bei überschnittenen Zylinderrädern	A.9
d_b	Grundkreisdurchmesser	4.3.10
d_{b0}	Schneidrad-Grundkreisdurchmesser	7.6
d_f	Fußkreisdurchmesser (Nennmaß)	4.5.4
d_{fE}	Erzeugter Fußkreisdurchmesser	7.5
d_{f0}	Schneidrad-Fußkreisdurchmesser	A.9
d_v	V-Kreis-Durchmesser	4.5.1
d_w	Wälzkreisdurchmesser	5.2.5
d_y	Y-Kreis-Durchmesser	4.3.3
d_{Fa}	Kopf-Formkreisdurchmesser	7.6
d_{Fa0}	Kopf-Formkreisdurchmesser des Schneidrades	7.6
d_{Ff}	Fuß-Formkreisdurchmesser	7.6
d_K	Durchmesser des Kugelmittelpunkt-Kreises	A.5
d_M	Messkreisdurchmesser	A.2.1
d_{Na}	Kopf-Nutzkreisdurchmesser	5.4.1
d_{Nf}	Fuß-Nutzkreisdurchmesser	5.4.1
e_t	Lückenweite auf dem Teilzylinder	4.7.3

Symbol	Benennung	verwendet in
e_{yt}	Lückenweite auf dem Y-Zylinder	4.7.3
e_p	Lückenweite des Bezugsprofils	4.2.3
g_a	Länge der Kopfeingriffsstrecke	5.4.5.2
g_f	Länge der Fußeingriffsstrecke	5.4.5.2
g_α	Länge der Eingriffsstrecke	5.4.5.2
$g_{\alpha y}$	Abstand eines Punktes Y vom Wälzpunkt C	5.6.1
g_β	Eingriffsbogen	5.4.7.4
h	Zahnhöhe (zwischen Kopf- und Fußkreis)	4.6.1
h_a	Zahnkopfhöhe	4.6.2
h_{aP}	Kopfhöhe des Bezugsprofils	Bild 4
h_{aP0}	Kopfhöhe des Werkzeug-Bezugsprofils	7.5
h_f	Zahnfußhöhe	4.6.2
h_{fP}	Fußhöhe des Bezugsprofils	Bild 4
h_{fP0}	Fußhöhe des Werkzeug-Bezugsprofils	A.9
h_w	Gemeinsame Zahnhöhe eines Radpaares	5.2.6
h_{FP}	Fuß-Formhöhe des Bezugsprofils	Bild 4
h_K	Radiale Höhe des Kopfkantenbruchs oder der Kopfkantenrundung	6.1.2
h_P	Zahnhöhe des Bezugsprofils	Bild 4
inv	Involute- (Evolventen-)Funktion	4.3.9
j_{bn}	Eingriffsflankenspiel	5.5
j_r	Radialflankenspiel	5.5
j_t	Verdrehflankenspiel auf dem Teilkreis	5.5.2
j_{wt}	Verdrehflankenspiel auf dem Wälzkreis	5.5
k	Anzahl der Zähne, Lücken oder Teilungen in einem Bereich (z. B. Messzähnezahl)	A.2.1
k	Kopfhöhenänderungsfaktor	4.5.2
$l_{\max}$	Kontaktstrecke	5.4.8
$\sum l$	Kontaktstreckensumme	5.4.8
m_n	Normalmodul	4.2.7
m_t	Stirnmodul	4.2.7
m_x	Axialmodul	4.2.7
n_a	Drehzahl des treibenden Rades (min^{-1})	5.2.2

Symbol	Benennung	verwendet in
n_b	Drehzahl des getriebenen Rades (min^{-1})	5.2.2
p	Teilung, Teilung auf dem Teilzylinder	Bild 4
p_{bn}	Teilung auf dem Grundzylinder im Normalschnitt	4.4.5
p_{bt}	Teilung auf dem Grundzylinder im Stirnschnitt	4.4.5.1
p_{en}	Eingriffsteilung im Normalschnitt	4.4.5.2
p_{et}	Eingriffsteilung im Stirnschnitt	4.4.5.1
p_n	Normalteilung	4.4.2.2
p_t	Stirnteilung	4.4.2.1
p_x	Axialteilung	4.4.4
p_{yn}	Teilung auf dem Y-Zylinder im Normalschnitt	4.4.3
p_{yt}	Teilung auf dem Y-Zylinder im Stirnschnitt	4.4.3
p_z	Steigungshöhe	4.3.2
q	Bearbeitungszugabe auf der Zahnflanke	7.2
q_{Fs}	Unterschnitt	Bild 24
s_{aK}	Restzahndicke am Zahnkopf bei Kopfkantenbruch oder Kopfkantenrundung	6.1.2
s_{bn}	Zahndicke auf dem Grundzylinder im Normalschnitt	A.2.2
s_n	Zahndicke auf dem Teilzylinder im Normalschnitt	4.7.5
s_{ni}	Zahndicke auf dem Teilzylinder im Normalschnitt - Mindestmaß	7.3
s_{ns}	Zahndicke auf dem Teilzylinder im Normalschnitt - Höchstmaß	7.3
s_t	Zahndicke auf dem Teilzylinder im Stirnschnitt	4.7.1
s_{yn}	Zahndicke auf dem Y-Zylinder im Normalschnitt	4.7.5
s_{yt}	Zahndicke auf dem Y-Zylinder im Stirnschnitt	4.7.1
s_p	Zahndicke des Bezugsprofils	4.2.3
u	Zähnezahlverhältnis	5.2.1
v_g	Gleitgeschwindigkeit	5.6.1
v_{ga}	Gleitgeschwindigkeit am Zahnkopf	5.6.1
v_{gf}	Gleitgeschwindigkeit am Zahnfuß	5.6.1
v_n	Normalgeschwindigkeit	5.6.1
x	Profilverschiebungsfaktor	4.2.9
x_E	Erzeugungs-Profilverschiebungsfaktor	7.4
x_{Emin}	Erzeugungs-Profilverschiebungsfaktor bei Unterschnittgrenze	7.7
x_L	Profilverschiebungsfaktor des Lehrzahnrades	A.8

Symbol	Benennung	verwendet in
z	Zähnezahl	4.1.5
z_a	Zähnezahl des treibenden Rades	5.2.2
z_b	Zähnezahl des getriebenen Rades	5.2.2
z_L	Zähnezahl des Lehrzahnrades	A.8
z_0	Zähnezahl des Schneidrades	7.6
A	Anfangspunkt des Eingriffs	5.4.3
B	Innerer Einzeleingriffspunkt am treibenden Rad	5.4.5.1
C	Wälzpunkt, Rücknahmetiefe bei Modifikationen	5.4.3
C_{ay}	Stirnprofilmodifikation (Beschreibung durch Funktion)	6.5
$C_{\beta y}$	Flankenlinienmodifikation (Beschreibung durch Funktion)	6.5
$C_{\Sigma y}$	Flankenflächenmodifikation (Beschreibung durch Funktion)	6.5
$C_{\alpha a}$	Betrag der Stirnprofilkopfrücknahme	6.2.1
$C_{\alpha f}$	Betrag der Stirnprofilfußrücknahme	6.2.1
C_{Ea}	Betrag der Kopfrücknahme bei dreieckförmiger Endrücknahme	6.4.2
C_{Ef}	Betrag der Fußrücknahme bei dreieckförmiger Endrücknahme	6.4.2
$C_{i,j}$	Betrag der Modifikation am Punkt (i, j)	6.4.1
$C_{H\alpha}$	Betrag der Stirnprofilwinkelmodifikation	6.2.2
C_{α}	Betrag der Stirnprofilballigkeit	6.2.3
$C_{\beta I}, C_{\beta II}$	Betrag der Flankenlinienendrücknahmen	6.3.1
C_{β}	Betrag der Flankenlinienballigkeit	6.3.3
$C_{H\beta}$	Betrag der Flankenlinienwinkelmodifikation	6.3.2
D_M	Messkugel- oder Meßzylinderdurchmesser	A.5
D	Äußerer Einzeleingriffspunkt am treibenden Rad	5.4.5.1
E	Endpunkt des Eingriffs	5.4.3
E_{sn}	Normal-Zahndickenabmaß (auf dem Teilzylinder)	A.9
E_{sni}	unteres Zahndickengrenzabmaß	7.3
E_{sns}	oberes Zahndickengrenzabmaß	7.3
K_g	Gleitfaktor	5.6.2
K_{ga}	Gleitfaktor am Zahnkopf	5.6.2
K_{gf}	Gleitfaktor am Zahnfuß	5.6.2
L_{AE}	Wälzlänge	6.2

Symbol	Benennung	verwendet in
L_{Ca}	Wälzlänge der Stirnprofilkopfrücknahme	6.2.1
L_{Cf}	Wälzlänge der Stirnprofilfußrücknahme	6.2.1
L_{CI}, L_{CII}	Länge der Flankenlinienendrücknahmen	6.3.1
L_{Ea}	Länge der dreieckförmigen Endrücknahme am Kopf	6.4.2
L_{Ef}	Länge der dreieckförmigen Endrücknahme am Fuß	6.4.2
M_{dK}	Diametrales Zweikugelmaß	A.7
M_{dZ}	Diametrales Zweizylindermaß	A.7.1
M_{rK}	Radiales Einkugelmaß	A.5
M_{rZ}	Radiales Einzylindermaß	A.6
N	Nummer eines Zahnes oder einer Teilung	4.1.6
O	Kreismittelpunkt	Bild 10
S_{α}	Schränkung des Stirnprofils	6.4.3
S_{β}	Schränkung der Flankenlinie	6.4.3
T_{sn}	Zahndickentoleranz	Bild 37
T	Berührungspunkt der Tangente (Eingriffsgeraden) am Grundkreis	Bild 10
U	Evolventenursprungspunkt	4.3.7
W_k	Zahnweite über k Messzähne oder Messlücken	A.2.1
Y	Beliebiger Punkt auf einer Zahnflanke oder Evolvente	4.3.5
α_n	Normaleingriffswinkel	4.3.6
α_t	Stirneingriffswinkel	4.3.5
α_{wt}	Betriebseingriffswinkel des Radpaares	5.2.4
α_{wt0}	Betriebseingriffswinkel im Erzeugungsgetriebe	7.6
α_{yn}	Normalprofilwinkel am Y-Zylinder	4.3.6
α_{yt}	Stirnprofilwinkel am Y-Zylinder	4.3.5
α_{Ff}	Profilwinkel am Fuß-Formkreis	7.6
α_K	Profilwinkel am Kugelmittelpunkt-Kreis	A.5
α_{Kt}	Stirnprofilwinkel am Kugelmittelpunkt-Kreis	A.5
α_{Mt}	Stirnprofilwinkel am Messkreis	A.5
α_P	Profilwinkel des Bezugsprofils	4.3.6
α_{P0}	Profilwinkel des Bezugserzeugungsprofils	7
α_L	Betriebseingriffswinkel bei Zweiflanken-Wälzprüfung	A.8
α_{vt}	Stirneingriffswinkel am V-Zylinder	A.5

Symbol	Benennung	verwendet in
β	Schrägungswinkel	4.3.3
β_b	Grundschrägungswinkel	4.3.3
β_y	Schrägungswinkel auf dem Y-Zylinder	4.3.3
δ_w	Schwenkwinkel bei Zahnweitenmessung	A.2.1
γ	Steigungswinkel auf dem Teilzylinder	4.3.3
γ_y	Steigungswinkel auf dem Y-Zylinder	4.3.3
ε_α	Profilüberdeckung	5.4.7.1
ε_β	Sprungüberdeckung	5.4.7.3
ε_γ	Gesamtüberdeckung	5.4.7.5
ζ	Spezifisches Gleiten	5.6.3
ζ_f	Spezifisches Gleiten in den Endpunkten der Eingriffsstrecke	5.6.3
η	Zahnlücken-Halbwinkel am Teilkreis	4.7.4
η_b	Grundlücken-Halbwinkel	4.7.4
η_y	Zahnlücken-Halbwinkel am Y-Kreis	4.7.4
ξ_y	Wälzwinkel der Evolvente im Punkt Y	4.3.7
ξ_{Fa0}	Wälzwinkel am Kopf-Formkreis des Schneidrades	7.6
ξ_{Ff}	Wälzwinkel am Fuß-Formkreis	7.6
ξ_{Na}	Wälzwinkel am Kopf-Nutzkreis	5.4.1
ξ_{Nf}	Wälzwinkel am Fuß-Nutzkreis	5.4.1
ρ_{fP}	Zahnfußradius am Bezugsprofil	Bild 4
ρ_y	Krümmungshalbmesser der Evolvente im Punkt Y	4.3.8
τ	Teilungswinkel	4.4.2
φ_j	Flankenspielwinkel	5.5.2
φ_α	Profil-Überdeckungswinkel	5.4.7.1
φ_β	Sprung-Überdeckungswinkel	5.4.7.3
φ_γ	Gesamt-Überdeckungswinkel	5.4.7.5
ψ	Zahndicken-Halbwinkel am Teilkreis	4.7.2
ψ_b	Grunddicken-Halbwinkel	4.7.2
ψ_y	Zahndicken-Halbwinkel am Y-Kreis	4.7.2
ω_a	Winkelgeschwindigkeit des treibenden Rades	5.2.2

Symbol	Benennung	verwendet in
ω_b	Winkelgeschwindigkeit des getriebenen Rades	5.2.2
Σx	Summe der Profilverschiebungsfaktoren	5.3
Σx_E	Summe der Erzeugungsprofilverschiebungsfaktoren bei Flankenspiel	5.3

3.2 Indizes

Index	Benennung	verwendet in ^b
—	a	
a	für Größen am Zahnkopf oder für das treibende Rad	5.2.2
b	für Größen am Grundzylinder	4.3.10
b	für das getriebene Rad	5.2.2
e	für Größen in der Eingriffsebene	
f	für Größen am Zahnfuß	
g	für „Gleiten“	
i	für eine untere Grenze bei Abmaßen	
k	für eine Anzahl von Zähnen, Lücken, Teilungen oder Spannen	
l	für „linkssteigend“	
m	für einen Mittelwert	
max	für einen Höchstwert	
min	für einen Mindestwert	
n	für Größen im Normalschnitt	4.2.6.2
r	für „rechtssteigend“	
s	bezogen auf „Zahndicke“, für eine obere Grenze bei Abmaßen	
t	für Größen im Stirnschnitt	4.2.6.1
v	für Größen am V-Zylinder	4.5.1
w	für Größen am Wälzzylinder bzw. gemeinsame Größen eines Radpaares	
x	für Größen im Axialschnitt	4.2.6.3
y	für Größen an einem Punkt Y (am Y-Zylinder)	
E	bezogen auf „Erzeugung“ (z. B. am Zylinderrad erzeugte Größen) bzw. „Erzeugende“	
F	für Formkreise und maximal nutzbaren Flankenbereich bestimmende Größen	
K	für Größen durch Kantenbruch oder bei Kugelmaßen	
L	zur Bezeichnung eines Lehrzahnrades	
L	zur Bezeichnung von Linksflanken	4.1.8.2

Index	Benennung	verwendet in ^b
M	zur Bezeichnung eines Messwertes	
N	für Nutzkreise	
P	für Größen des Bezugsprofils	
P0	für Größen des Werkzeug-Bezugsprofils	
R	zur Bezeichnung von Rechtsflanken	4.1.8.2
V	für Vorderseite, für Vorverzahnung	
W	für Zahnweiten-Messung	
Z	für Größen bei Zylindermaßen	
α	für Größen den Eingriff betreffend	
β	für Größen an einer Flankenlinie	
γ	für Gesamtüberdeckung	
Σ	für „Summe“	
0	für Größen am erzeugenden Werkzeug oder im Erzeugungsgetriebe	7
1	für Größen an dem kleineren Rad (Ritzel) einer Radpaarung	5.1.3
2	für Größen an dem größeren Rad einer Radpaarung oder am Innenrad	5.1.3
I	für Bezugsstirnfläche	4.2.1
II	für die der Bezugsstirnfläche gegenüberliegende Stirnfläche	4.2.1
^a ohne Index: Größen am Teilzylinder		
^b Verwendet mit den Symbolen aus 3.1 oder zusätzlich in den angegebenen Abschnitten		

3.3 Einheiten

Die in dieser Norm behandelten Größen sind in den folgenden Einheiten anzugeben:

- Modul, Längen und Längenabmaße in Millimeter [mm];
- Winkel, die in Gleichungen einzusetzen sind, in Radiant [rad] ^{N1)};
- bei Eingaben bzw. zur Darstellung von Ergebnissen können Winkel in Grad [°] verwendet werden;
- Winkelgeschwindigkeit in Radiant durch Sekunde [rad/s].

ANMERKUNG Die Beschreibung $|z|$, bezeichnet den absoluten Betrag, welcher stets positiv ist, z. B. $|-50| = +50$. Der Ausdruck $\frac{z}{|z|}$ wird benutzt, um das Vorzeichen der Zähnezahls zu erhalten und ist bequem für die Programmierung. Im Besonderen wird es häufig benutzt um das richtige Vorzeichen eines mathematischen Ausdrucks zu bestimmen, das Ergebnis ist 1 bei Außenverzahnungen und -1 bei Innenverzahnungen.

^{N1)} Nationale Fußnote: Winkel können auch in Grad eingesetzt werden, außer bei Verwendung der Evolventenfunktion $\text{inv}(\alpha) = \tan(\alpha) - \alpha$

4 Einzelräder

In diesem Abschnitt wird die Zahngeometrie auf der Basis der flankenspielfreien Erzeugung mittels Bezugszahnstange beschrieben. Obwohl die Beziehungen für beliebige Bezugszahnstangen gültig sind, wird in diesem Abschnitt die normierte Bezugszahnstange (siehe ISO 53) für die Darstellungen benutzt. Ihr Bezugsprofil hat gerade Flanken. Auf seiner geraden Profilbezugslinie sind die Nennwerte von Zahndicke und Zahnücke gleich groß und entsprechen der halben Teilung. Das Bezugsprofil hat an den rechten und linken Flanken die gleichen Profilwinkel. Die Zahnkopfhöhe entspricht der Zahnfußhöhe abzüglich des Fußspieles. Der Schrägungswinkel hat an allen Flanken des Zahnrades denselben Nennwert.

4.1 Begriffe für Einzelräder

4.1.1 Zahnrad, Zylinderrad, Außenrad, Innenrad

Ein Zahnrad ist ein rotations-symmetrischer Körper (Verzahnungsgrundkörper) auf dessen Umfang eine Verzahnung eingearbeitet ist. Ein Zylinderrad ist ein Zahnrad, dessen Bezugsfläche ein Zylinder ist. Je nach radialer Anordnung der Zähne werden Außen- und Innenräder unterschieden. Zeigt der Zahnkopf nach außen (innen) handelt es sich um ein Außenrad (Innenrad).

4.1.2 Verzahnung, Außenverzahnung, Innenverzahnung

Die Verzahnung ist die Gesamtheit aller am Umfang eines Zahnrades vorhandenen Zähne und Zahnücken. In Analogie zu 4.1.1 wird in Innen- und Außenverzahnung unterschieden.

4.1.3 Zahn und Zahnücke

Ein Zahn ist ein am Radkörper vorhandenes geometrisches Element, das Übertragung von Kraft und Bewegung ermöglicht. Form und Abmessung der Zähne sowie der Abstand zwischen aufeinanderfolgenden Zähnen sind durch die Verzahnungsbestimmungsgrößen definiert. Die Zahnücke ist der Zwischenraum zwischen zwei aufeinanderfolgenden Zähnen.

4.1.4 Verzahnungsbestimmungsgrößen

Die Nenngrößen einer Evolventen-Zylinderradverzahnung sind eindeutig festgelegt durch den Durchmesser des Teilzylinders, die zugehörige Bezugszahnstange und deren Lage zum Teilkreis. Die Nennmaße sind durch folgende voneinander unabhängige Angaben bestimmt:

- Zähnezahl, z ;
- Verzahnungs-Bezugsprofil;
- Normalmodul, m_n ;
- Schrägungswinkel, β , und Flankenrichtung;
- Profilverschiebungsfaktor, x ;
- Kopfkreisdurchmesser, d_a ;
- Zahnbreite, b .

4.1.5 Zähnezahl und Vorzeichen der Zähnezahl

Die Anzahl der Zähne auf dem Radumfang wird mit z bezeichnet.

Die Zähnezahl, z , eines außenverzahnnten Zylinderrades ist in die folgenden Gleichungen als positive Größe, die Zähnezahl, z , eines innenverzahnnten Zylinderrades ist als negative Größe einzusetzen.

Bei Zahnsegmenten ist in Berechnungen die Zähnezahl der vollständigen Verzahnung zu verwenden.

4.1.6 Zahnnummer

Zum Nummerieren der Zähne sind auf einer in einer vereinbarten Blickrichtung betrachteten Stirnfläche eines Rades (Bezugsstirnfläche) die Bezeichnungen Zahn 1, Zahn 2 usw. so festzulegen, dass die Zähne (im Drehsinn des Uhrzeigers) aufsteigend beziffert sind. Bezeichnet man einen betrachteten Zahn mit dem Buchstaben N trägt der in Zählrichtung folgende Zahn die Bezeichnung $N + 1$, der in Zählrichtung zurückliegende Zahn wird mit $N - 1$ bezeichnet. In Zählrichtung folgt bei Zylinderrädern auf den Zahn Nr. z der Zahn 1, siehe Bild 1.

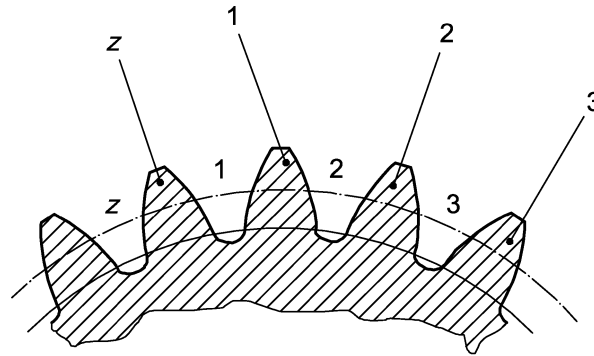


Bild 1 — Nummerierung der Zähne und Lücken in der Bezugsstirnfläche

4.1.7 Kopf- und Fußfläche

4.1.7.1 Kopffläche

Die Kopffläche eines Zahnes ist die äußerste (bei Innenverzahnungen innerste), zum Teilzylinder der Verzahnung koaxiale Begrenzungsfläche des Zahnes, siehe Bild 2.

4.1.7.2 Zahnlückengrund

Der Zahnlückengrund ist die innerste (bei Innenverzahnungen äußerste), zum Teilzylinder der Verzahnung koaxiale Begrenzungsfläche der Zahnücke, siehe Bild 2.

4.1.8 Zahnflanken und Flankenteile

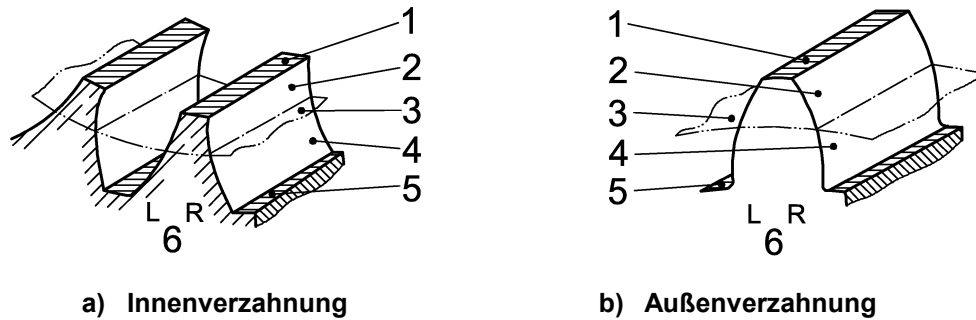
4.1.8.1 Zahnflanke

Zahnflanken sind diejenigen Teile der Oberfläche eines Zahnes, die sich zwischen der Kopffläche und dem Zahnlückengrund befinden, siehe Bild 2.

4.1.8.2 Rechtsflanke, Linksflanke

Rechtsflanke (bzw. Linksflanke) ist diejenige Zahnflanke, die ein Beobachter mit Blickrichtung auf die Bezugsstirnfläche an einem nach oben gerichteten Zahn an dessen rechter (bzw. linker) Seite sieht. Diese Definition gilt sowohl für außenverzahnte als auch für innenverzahnte Räder, siehe Bild 2.

Bestimmungsgrößen an Rechtsflanken werden mit dem Index R und an Linksflanken mit dem Index L gekennzeichnet.



Legende

- 1 Kopffläche
- 2 Kopfflanke
- 3 Teilzylinder
- 4 Fußflanke
- 5 Zahnlückengrund
- 6 Bezugsstirnfläche

**Bild 2 — Kopffläche, Zahnlückengrund und Zahnflanke mit Unterteilung
(Außen- und Innenverzahnung)**

4.1.8.3 Kopfflanke, Fußflanke

Kopfflanke (bzw. Fußflanke) ist derjenige Teil einer Zahnflanke, der sich zwischen der Bezugsfläche und der Kopffläche (bzw. dem Zahnlückengrund) befindet, siehe Bild 2.

4.1.8.4 Nutzbare Flanke

Die nutzbare Flanke ist derjenige Teil einer Zahnflanke, der zum Eingriff mit einer Gegenflanke genutzt werden kann. Am Zylinderrad ist sie Teil der Evolventenschraubenfläche einschließlich eventuell vorhandener Flankenmodifikationen.

4.2 Bezugsflächen, Bezugslinien und Bezugsgrößen

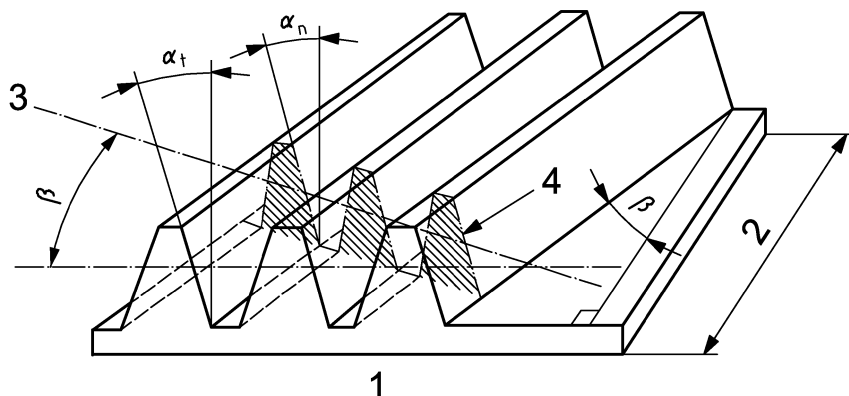
4.2.1 Bezugsfläche, Teilzylinder, Bezugsstirnfläche

Die Bezugsfläche einer Verzahnung ist eine gedachte Fläche, auf die die geometrischen Bestimmungsgrößen bezogen werden. Bei Zylinderrädern wird die Bezugsfläche als Teilzylinder bezeichnet.

Als Bezugsstirnfläche wird die vereinbarte Vorderseite (meist zur Beschriftung verwendet bzw. durch geeignete Mittel gekennzeichnet) des Zahnrades verwendet. Kenngrößen, die sich auf die Bezugsstirnfläche beziehen, werden mit dem Index I, Kenngrößen die sich auf die gegenüberliegende Stirnfläche beziehen mit dem Index II gekennzeichnet.

4.2.2 Bezugs-Zahnstange

Die Bezugs-Zahnstange ist die Zahnstange, die mit gleichem Wälzwerkzeug, Wälzvorgang und Wälzpunkt (Wälzachse) erzeugbar ist, wie das Zylinderrad selbst. Sie ist gekennzeichnet durch ihr Profil, die Richtung ihrer Zähne gegenüber der Wälzachse des Erzeugungsgetriebes, Kopfebene, Fußebene und Zahnbreite, siehe Bild 3.



Legende

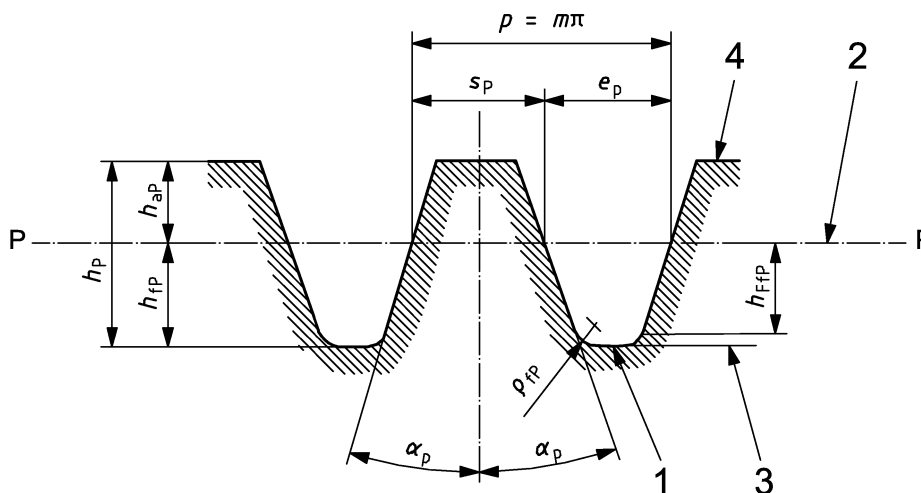
- 1 Stirnschnitt
- 2 Zahnbreite
- 3 Normalschnitt
- 4 Bezugsprofil

Bild 3 — Begriffe und Bestimmungsgrößen an der Bezugs-Zahnstange

4.2.3 Bezugsprofile für Evolventenverzahnungen

Das Bezugsprofil einer Zylinderradverzahnung ist das Profil im Normalschnitt. Die Flanken des Bezugsprofils einer Evolventenverzahnung sind Geraden. Auf der Profilbezugslinie (P-P) in der Teilebene sind Zahndicke s_p und Zahnweite e_p gleich groß, siehe Bild 4.

Bezugsprofile für Evolventenverzahnungen sind in ISO 53 genormt.



Legende

- 1 Bezugsprofil
- 2 Profilbezugslinie
- 3 Fußlinie
- 4 Kopflinie

Bild 4 — Benennungen und Bestimmungsgrößen am Bezugsprofil im Normalschnitt

4.2.4 Teilzylinder, Teilkreis, Teilkreisdurchmesser

Der Teilzylinder ist die Bezugsfläche für die Zylinderradverzahnung. Seine Achse fällt mit der Achse des Rades (Radachse) zusammen. Der Teilkreis ist der Schnitt des Teilzylinders mit einer Stirnschnittebene. Der Teilkreisdurchmesser d ist bestimmt durch

$$d = |z| m_t = \frac{|z| m_n}{\cos \beta} \quad (1)$$

4.2.5 Radachse

Die Achse eines Zahnrades (Radachse) ist die Achse, die durch die geometrische Achse der Stützflächen des Zahnrades bestimmt wird.

4.2.6 Schnitte durch eine Zylinderradverzahnung

4.2.6.1 Stirnschnitt, Stirnprofil

Der Schnitt einer Zylinderradverzahnung mit einer Ebene senkrecht zur Radachse ergibt einen Stirnschnitt. Bei Schrägverzahnungen sind Bestimmungsgrößen im Stirnschnitt mit dem Index t zu kennzeichnen. Der Stirnschnitt eines Zahnes wird als Stirnprofil bezeichnet.

4.2.6.2 Normalschnitt, Normalprofil

Der Schnitt einer Evolventen-Schrägverzahnung mit einer Fläche, die senkrecht zu den Flankenlinien der Evolventenschraubenflächen verläuft, ergibt einen Normalschnitt. Die Normalschnittfläche ist räumlich gekrümmt.

Bestimmungsgrößen im Normalschnitt sind mit dem Index n zu kennzeichnen. Der Normalschnitt eines Zahnes wird als Normalprofil bezeichnet.

4.2.6.3 Axialschnitt, Axialprofil

Der Schnitt einer Zylinderradverzahnung mit einer Ebene, die die Radachse enthält, ergibt einen Axialschnitt.

Bestimmungsgrößen im Axialschnitt werden mit dem Index x gekennzeichnet. Der Axialschnitt eines Zahnes wird als Axialprofil bezeichnet.

4.2.6.4 Zylinderschnitt, Flankenlinie

Die Flankenlinien sind die Schnittlinien der Rechts- und Linksflanken mit einem Zylinder, dessen Achse mit der Radachse zusammenfällt. Es sind somit Rechtsflankenlinien und Linksflankenlinien zu unterscheiden.

Die Bezugsflankenlinien (Teilzylinder-Flankenlinie) ist die Schnittlinie der Flanke mit dem Teilzylinder. Die Grundflankenlinie ist die Schnittlinie der – unter Umständen verlängert gedachten – evolventischen Flanke mit dem Grundzylinder. Die Grundflankenlinie ist eine Schraubenlinie auf dem Grundzylinder und der Ursprung der Evolventenschraubenfläche. Die Kopfflankenlinie ist die Schnittlinie der – unter Umständen verlängert gedachten – evolventischen Flanke mit dem Kopfzylinder.

Die Flankenlinien sind bei einer Schrägverzahnung Schraubenlinien, bei einer Geradverzahnung Geraden.

4.2.7 Modul

Der Modul der Bezugzahnstange ergibt sich aus der Teilung dividiert durch die Zahl π (siehe Bild 4). Der Normalmodul m_n der Zylinderradverzahnung ist gleich dem Modul des Bezugsprofils (Modulreihe ISO 54).

Für ein schrägverzahntes Zylinderrad ergibt sich der Stirnmodul m_t nach

$$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta} \quad (2)$$

und der Axialmodul m_x nach

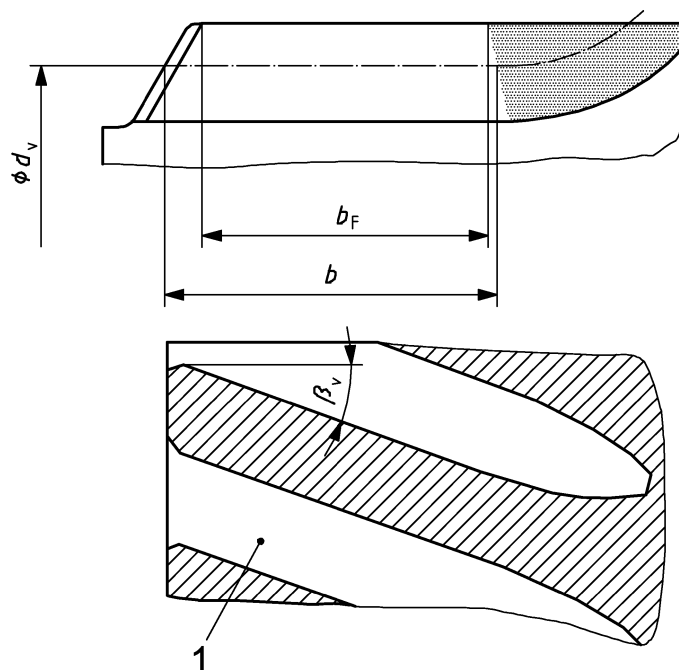
$$m_x = \frac{m_n}{\sin \beta} = \frac{m_n}{\cos \gamma} = \frac{m_t}{\tan \beta} \quad (3)$$

Bei einem geradverzahnten Zylinderrad ist der Modul $m = m_t = m_n$.

4.2.8 Zahnbreite

Die Zahnbreite b ist die Länge des verzahnten Teiles des Zylinderrades in axialer Richtung auf dem V-Zylinder gemessen (siehe 4.5.1).

Die nutzbare Zahnbreite b_F ist der Abstand zwischen zwei Stirnschnitten, welche die in der Höhe voll ausgebildete Zahnflanke einschließen (siehe Bild 5).



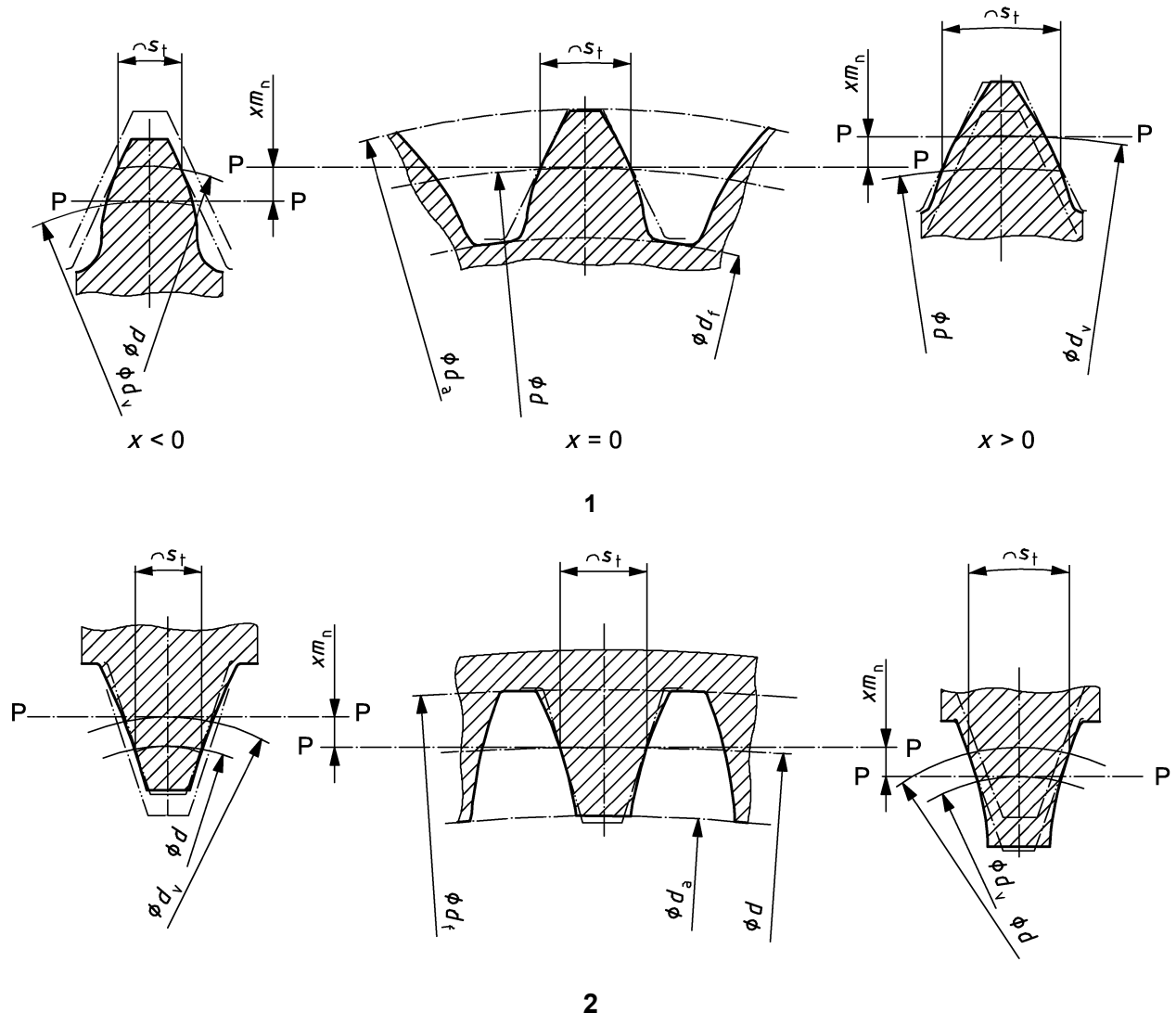
Legende

- 1 Abwicklung des V-Zylinders

Bild 5 — Zahnbreite b , nutzbare Zahnbreite b_F

4.2.9 Profilverschiebung, Profilverschiebungsfaktor und Vorzeichen der Profilverschiebung

Die Profilverschiebung xm_n einer Evolventenverzahnung ist der Abstand der Bezugslinie der Bezugszahnstange vom Teilzylinder. Die Größe der Profilverschiebung kann durch Division mit dem Normalmodul dimensionslos gemacht werden. Sie wird dann durch den Profilverschiebungsfaktor x beschrieben. Eine positive Profilverschiebung vergrößert die Zahndicke auf dem Teilzylinder (siehe Bild 6).



Legende

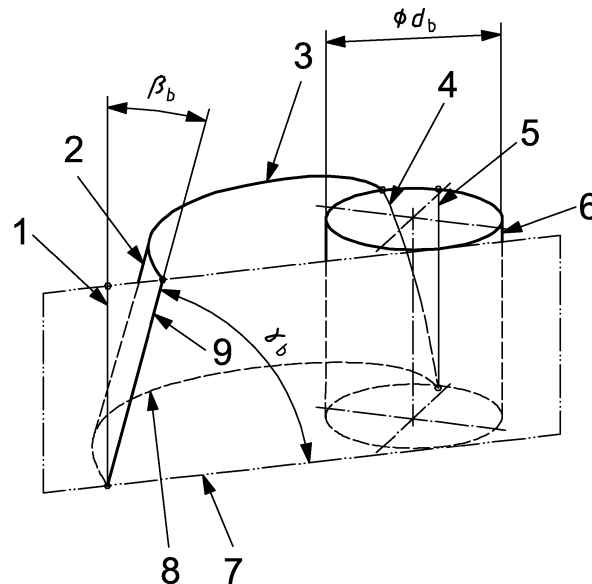
- $\sim$ Bogenmaß
- P-P Profilbezugslinie
- 1 Außenverzahnung
- 2 Innenverzahnung

Bild 6 — Profilverschiebung an Außen- und Innenverzahnungen

4.3 Evolventenschraubenfläche

4.3.1 Erzeugende einer Evolventenschraubenfläche

Bei der Abwicklung des Grundzylindermantels als Ebene beschreibt eine Grundzylinderflankenlinie eine Evolventen-Schraubfläche. Die gerade, zur Axiallinie geneigte Gerade in der Abwicklung (Grundzylinder-Tangentialebene) ist die Erzeugende der Evolventen-Schraubfläche (siehe Bild 7).



Legende

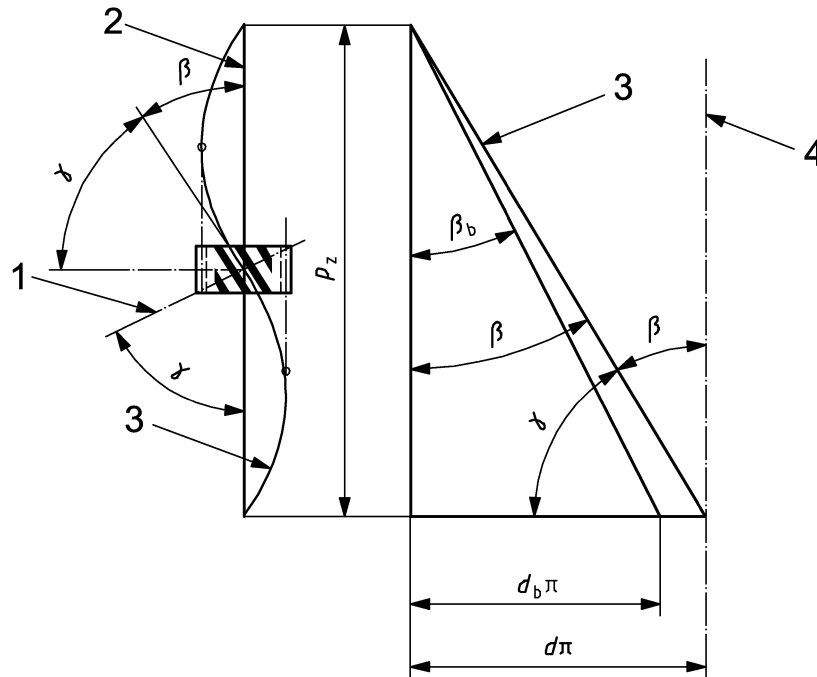
- 1 abgewickelte Mantellinie
- 2 Evolventenschraubenfläche
- 3 Evolvente
- 4 Kellschraubenlinie
- 5 Grundzylinder-Mantellinie
- 6 Grundzylinder
- 7 abgewickelte Grundzylinder-Mantelfläche
- 8 Evolvente
- 9 Erzeugende

Bild 7 — Grundzylinder mit Erzeugender und Evolventenschraubenfläche

4.3.2 Steigungshöhe

Die Steigungshöhe p_z ist der Abschnitt einer Mantellinie auf einem zur Radachse coaxialen Zylinder zwischen aufeinanderfolgenden Windungen der Evolventenschraubenfläche, siehe Bild 8. Die Steigungshöhe ist vom Zylinderdurchmesser unabhängig.

$$p_z = \frac{|z|m_n\pi}{\sin\beta} = \frac{|z|m_t\pi}{\tan\beta} = |z|p_x \quad (4)$$



$$\beta + \gamma = 90^\circ$$

Legende

- 1 Normalschnittebene
- 2 Mantellinie des Bezugszylinders, Zahnradachse
- 3 Steigungswendel am Bezugszylinder
- 4 Projektion der Zahnradachse

Bild 8 — Steigungsdreieck, Steigungshöhe, Schrägungswinkel, Steigungswinkel

4.3.3 Schrägungswinkel, Steigungswinkel

Der Schrägungswinkel β ist der Winkel zwischen einer Tangente an eine Teilzylinder-Flankenlinie und der Teilzylinder-Mantellinie durch den Tangentenberührungspunkt. In speziellen Fällen kann der Schrägungswinkel β_R der Rechtsflanken vom Schrägungswinkel β_L der Linksflanken verschieden sein; unabhängig davon basieren alle Gleichungen dieser Norm auf gleichen Schrägungswinkeln.

Der Zusammenhang zwischen β und dem Grundschrägungswinkel β_b (Schrägungswinkel auf dem Grundzylinder) ergibt sich aus den Gleichungen (5) bis (7):

$$\tan \beta_b = \tan \beta \cos \alpha_t \quad (5)$$

$$\sin \beta_b = \sin \beta \cos \alpha_n \quad (6)$$

$$\cos \beta_b = \cos \beta \frac{\cos \alpha_n}{\cos \alpha_t} = \frac{\sin \alpha_n}{\sin \alpha_t} = \frac{\sin \alpha_{yn}}{\sin \alpha_{yt}} = \cos \alpha_n \sqrt{\tan^2 \alpha_n + \cos^2 \beta} \quad (7)$$

An einem Zylinder mit dem beliebigen Durchmesser d_y ergibt sich der Schrägungswinkel β_y aus den Gleichungen (8) bis (10):

$$\tan \beta_y = \tan \beta \frac{d_y}{d} = \tan \beta \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_{yt}} = \tan \beta_b \frac{d_y}{d_b} = \frac{\tan \beta_b}{\cos \alpha_{yt}} \quad (8)$$

$$\sin \beta_y = \sin \beta \frac{\cos \alpha_n}{\cos \alpha_{yn}} = \frac{\sin \beta_b}{\cos \alpha_{yn}} \quad (9)$$

$$\cos \beta_y = \frac{\tan \alpha_{yn}}{\tan \alpha_{yt}} = \frac{\cos \alpha_{yt} \cos \beta_b}{\cos \alpha_{yn}} \quad (10)$$

Der Steigungswinkel γ ist der Winkel, unter dem die Normalschnittebene die Radachse schneidet, siehe Bild 8. Er ist ferner der Winkel zwischen einer Tangente an eine Teilzylinder-Flankenlinie (Bezugs-Flankenlinie) und dem Stirnschnitt durch den Tangentenberührungspunkt.

$$\gamma_y = 90^\circ - \beta_y \quad (11)$$

Bei Geradverzahnungen ist $\beta = 0^\circ$ und $\gamma = 90^\circ$.

4.3.4 Flankenrichtung

Die Flankenrichtung ist rechtssteigend (linkssteigend) wenn der Verlauf der Flankenlinie einer Rechtsschraube (Linksschraube) entspricht, siehe Bild 9.

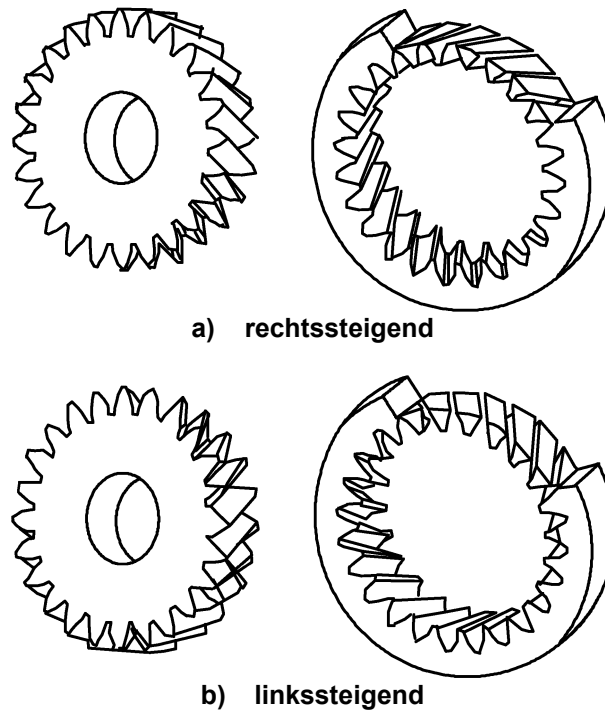


Bild 9 — Flankenrichtung

4.3.5 Stirnprofilwinkel an beliebigem Durchmesser, Stirneingriffswinkel

Die in einem Stirnschnitt liegende Tangente an die Evolvente ist in dem beliebigen Punkt Y um den Stirnprofilwinkel α_{yt} gegen den Radius geneigt, siehe Bild 10.

$$\cos \alpha_{yt} = \frac{d_b}{d_y} = \frac{d}{d_y} \cos \alpha_t \quad (12)$$

Der Stirneingriffswinkel α_t ist der spitze Winkel zwischen der Tangente an die Evolvente in ihrem Schnittpunkt mit dem Teilkreis und dem Radius durch diesen Schnittpunkt. Es ist

$$\cos \alpha_t = \frac{d_b}{d} \quad (13)$$

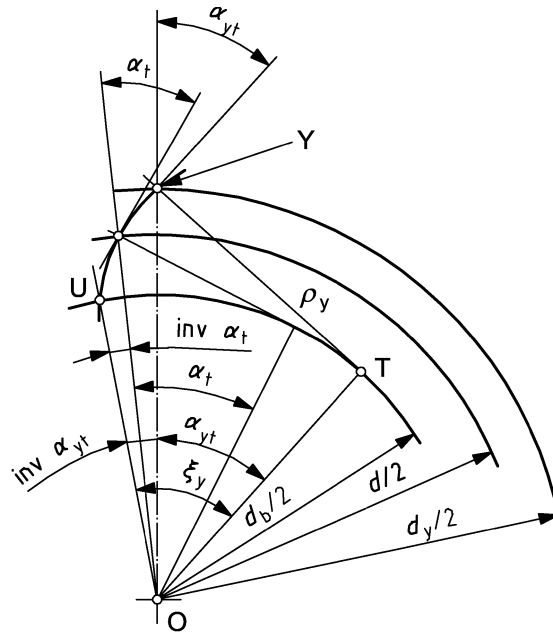


Bild 10 — Größen an einer Evolvente

4.3.6 Normalprofilwinkel an beliebigem Durchmesser, Normaleingriffswinkel

Im Normalschnitt der Evolventenschraubenfläche ist die in einem beliebigen Punkt Y an dieses Profil gelegte Tangente gegen den Radius durch Y um den Normalprofilwinkel α_{yn} geneigt. Der entsprechende Neigungswinkel am Teilzylinder ist der Normaleingriffswinkel α_n ; er ist gleich dem Profilwinkel α_p des Bezugsprofils.

$$\tan \alpha_n = \tan \alpha_t \cos \beta \quad (14)$$

$$\tan \alpha_{yn} = \tan \alpha_{yt} \cos \beta_y \quad (15)$$

Bei einem gradverzahnten Zylinderrad ist $\alpha_n = \alpha_t$ sowie $\alpha_{yn} = \alpha_{yt}$.

4.3.7 Wälzwinkel der Evolvente

Der durch den Evolventenursprungspunkt U und den Berührungspunkt T der Tangente vom Punkt Y an den Grundkreis definierte Zentriwinkel ist der Wälzwinkel ξ_y , der Evolvente, siehe Bild 10. Der Grundkreisbogen UT ist gleich dem Tangentenabschnitt YT, somit ist

$$\xi_y = \tan \alpha_{yt} \quad (16)$$

4.3.8 Krümmungsradius der Evolvente, Wälzlänge

Der Tangentenabschnitt YT ist der Krümmungsradius ρ_y der Evolvente im Punkt Y und zugleich die zum Punkt Y gehörende Wälzlänge L_y , d. h. der vom Evolventenursprungspunkt U aus abgewickelte Grundkreisbogen. Im Dreieck OTY ist er die Gegenkathete des am Kreismittelpunkt O liegenden Stirnprofilwinkels α_{yt} , siehe Bild 10.

$$L_y = \rho_y = \frac{z}{|z|} \frac{d_b}{2} \xi_y = \frac{z}{|z|} \frac{d_b}{2} \tan \alpha_{yt} = \frac{z}{|z|} \frac{\sqrt{d_y^2 - d_b^2}}{2} \quad (17)$$

4.3.9 Evolventenfunktion

Die Winkeldifferenz $\xi_y - \alpha_{yt}$, wird Evolventenfunktion des Winkels α_{yt} genannt und mit $\text{inv } \alpha_{yt}$ (sprich: involut α_{yt}) bezeichnet, siehe Bild 10.

$$\text{inv } \alpha_{yt} = \xi_y - \alpha_{yt} = \tan \alpha_{yt} - \alpha_{yt} \quad (18)$$

4.3.10 Grundzylinder, Grundkreis, Grundkreisdurchmesser

Der Grundzylinder ist derjenige zur Radachse koaxiale Zylinder, der für die Erzeugung der Evolventenschraubenflächen bestimmend ist, siehe Bild 10. Größen am Grundzylinder werden mit dem Index b angegeben.

Der Grundkreis ist der Schnitt des Grundzylinders mit einer Stirnschnittebene. Die Evolventen des Grundkreises bilden die Stirnprofile der Verzahnung. Der Grundkreisdurchmesser d_b beträgt

$$d_b = d \cos \alpha_t = |z| m_t \cos \alpha_t = \frac{|z| m_n \cos \alpha_t}{\cos \beta} = \frac{|z| m_n}{\sqrt{\tan^2 \alpha_n + \cos^2 \beta}} \quad (19)$$

$$d_b = |z| m_n \frac{\cos \alpha_n}{\cos \beta_b} \quad (20)$$

4.4 Teilungswinkel und Teilungen

4.4.1 Teilungswinkel

Der Teilungswinkel τ ist der in einem Stirnschnitt liegende Winkel, der aus der Teilung eines vollen Kreisumfanges in z gleiche Teile hervorgeht.

$$\tau = \frac{2\pi}{|z|} = \frac{2p_{yt}}{d_y} \text{ in Radiant} \quad (21)$$

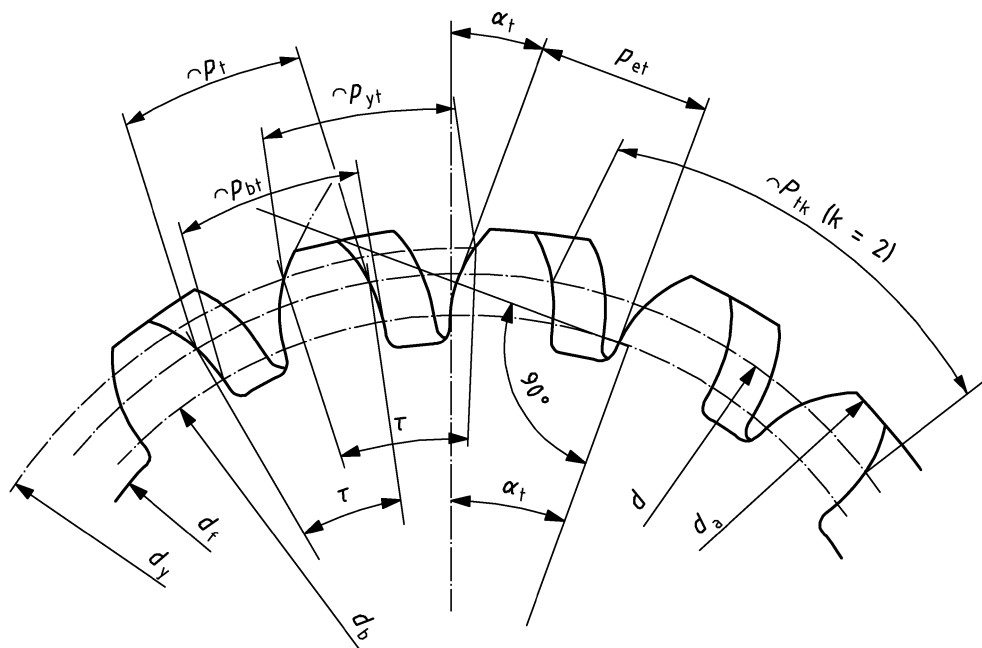
$$\tau = \frac{360}{|z|} \text{ in Grad} \quad (22)$$

4.4.2 Teilungen auf dem Teilzylinder

4.4.2.1 Stirnteilung

Die (Teilzylinder-) Stirnteilung p_t ist die Länge des Teilkreisbogens zwischen zwei aufeinanderfolgenden gleichnamigen Zahnflanken (Rechts- oder Linksflanken), siehe Bild 11.

$$p_t = \frac{\pi m_n}{\cos \beta} = \frac{d}{2} \tau = \frac{\pi d}{|z|} = \pi m_t \quad (23)$$



Legende

⌒ Bogenmaß

Bild 11 — Durchmesser, Teilungswinkel, Stirnteilungen am schrägverzahnten Zylinderrad

4.4.2.2 Normalteilung

Die (Teilzylinder-) Normalteilung p_n ist die Länge des Schraubenlinienbogens zwischen zwei aufeinanderfolgenden gleichnamigen Zahnflanken (Rechts- oder Linksflanken) auf dem Teilzylinder im Normalschnitt der Verzahnung, siehe Bild 12.

$$p_{\parallel} = \pi m_{\parallel} = p_{\uparrow} \cos \beta \quad (24)$$

4.4.3 Teilungen auf einem beliebigen Zylinder

Auf einem Zylinder mit dem beliebigen Durchmesser d_y (Y-Zylinder) sind die Stirnteilung p_{yt} und die Normalteilung p_{vn} zu unterscheiden.

$$p_{yt} = \frac{dy}{2} \tau = \frac{\pi dy}{|z|} = \frac{dy}{d} p_t \quad (25)$$

$$p_{yn} = p_{yt} \cos \beta_y \quad (26)$$

4.4.4 Axialteilung

Die Axialteilung p_x eines schrägverzahnten Zahnrades ist der Abschnitt einer Mantellinie eines zur Radachse koaxialen Zylinders zwischen zwei aufeinanderfolgenden gleichnamigen Zahnflanken (Rechts- oder Linksflanken), siehe Bild 12. Die Axialteilung ist unabhängig vom Zylinderdurchmesser. Die Axialteilung ist bei Geradverzahnungen nicht definiert. Es gilt

$$p_x = \frac{\pi m_\eta}{\sin \beta} = \pi m_x = \frac{p_z}{|z|} = \frac{\pi m_t}{\tan \beta} = \frac{p_{yt}}{\tan \beta_y} = \frac{p_{yn}}{\sin \beta_y} \quad (27)$$