

Begriffe und Bestimmungsgrößen für Stirnräder (Zylinderräder) und Stirnradpaare (Zylinderradpaare) mit Evolventenverzahnung

DIN
3960

Definitions on involute cylindrical gears and gear pairs

Définitions pour roues et engrenages cylindriques à développante

Inhalt

	Seite		Seite
1 Zeichen, Benennungen, Einheiten	3	2.5 Begriffe und Bestimmungsgrößen einer Radverzahnung aus der Lage des Bezugsprofils zum Teilzylinder	10
1.1 Zeichen und Benennungen	3	2.5.1 Steigungswinkel γ , Schrägungswinkel β	10
1.2 Zusätzliche Indizes	5	2.5.2 Flankenrichtung; rechtssteigend, linkssteigend	10
1.3 Einheiten	5	2.5.3 Vorzeichen des Schrägungswinkels	10
2 Begriffe und Bestimmungsgrößen an einer Stirnradverzahnung (Zylinderradverzahnung)	5	2.5.4 Profilverschiebung; Profilverschiebungsfaktor x und Vorzeichen der Profilverschiebung	10
2.1 Zähnezahl z und Vorzeichen der Zähnezahl	5	2.5.5 V-Rad, Null-Rad	11
2.2 Bezugsflächen und Bezugslinien	6	2.5.6 Durchmesser der Verzahnung	11
2.2.1 Bezugsprofil, Bezugs-Zahnstange	6	2.5.7 Höhen an der Verzahnung	11
2.2.2 Profilbezugslinie, Maße am Bezugsprofil	6	2.5.8 Zahndicken, Lückenweiten	12
2.2.3 Schnitte durch eine Stirnradverzahnung	6	2.6 Geometrische Grenzen für eine Evolventenverzahnung	13
2.2.4 Verzahnungsprofil, Flankenprofil	6	2.6.1 Unterschnitt an Stirnrädern mit Außenverzahnung	13
2.2.5 Flankenlinien	7	2.6.2 Spitzgrenze und Mindestzahndicke am Kopfkreis eines Außenrades	13
2.2.6 Modul m_n , m_t , m_x ; m	7	2.6.3 Spitzgrenze und Mindestlückenweite am Fußkreis eines Hohlrades	13
2.2.7 Teilzylinder, Teilkreis; Teilkreisdurchmesser d	7	2.6.4 Bereich der ausführbaren Evolventenverzahnungen	15
2.2.8 Grundzylinder, Grundkreis; Grundkreisdurchmesser d_b	7	2.7 Prüfmaße für die Zahndicke	15
2.3 Evolventenfläche (Evolventenschraubenfläche)	7	2.7.1 Zahndickensehnen	16
2.3.1 Erzeugende einer Evolventenfläche	7	2.7.2 Zahnweite W_k	16
2.3.2 Grundschrägungswinkel β_b , Grundsteigungswinkel γ_b	7	2.7.3 Radiale Prüfmaße für die Zahndicke	21
2.3.3 Berührlinie	8	2.7.4 Diametrale Prüfmaße für die Zahndicke	22
2.3.4 Stirnprofilwinkel α_{vt} , Stirneingriffswinkel α_t	8	2.7.5 Zweiflanken-Wälzabstand a'' mit Lehrzahnrad	25
2.3.5 Normalprofilwinkel α_{yn} , Normaleingriffswinkel α_n	8	2.7.6 Kopfkreisdurchmesser d_{aM} bei überschrittenen Stirnrädern	25
2.3.6 Wälzwinkel ζ der Evolvente	8	3 Begriffe und Bestimmungsgrößen an einem Stirnradpaar (Zylinderradpaar)	26
2.3.7 Krümmungshalbmesser ρ der Evolvente, Wälzlänge L_y	8	3.1 Stirnradpaar, Benennungen	26
2.3.8 Evolventenfunktion $\text{inv } \alpha$	8	3.1.1 Außenradpaar	26
2.3.9 Steigungshöhe p_z	8	3.1.2 Innenradpaar	26
2.4 Teilungswinkel und Teilungen	9	3.1.3 V-Radpaar	26
2.4.1 Teilungswinkel τ	9	3.1.4 V-Null-Radpaar	26
2.4.2 Teilungen auf dem Teilzylinder	9	3.1.5 Null-Radpaar	26
2.4.3 Teilungen auf dem Y-Zylinder	9		
2.4.4 Teilungen auf dem V-Zylinder	9		
2.4.5 Teilungen auf dem Grundzylinder	9		
2.4.6 Eingriffsteilungen p_c	9		
2.4.7 Axialteilung p_x	10		

Fortsetzung Seite 2 bis 47
Erläuterungen Seite 48

Ausschuß Verzahnungen (AV) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

	Seite		Seite
3.2 Paarungsgrößen	26	5.3 Abmaßfaktor A_{Md}^v des diametralen Zweikugel- oder Zweirollenmaßes	34
3.2.1 Zähnezahlnverhältnis u	26	5.4 Abmaßfaktor A_{Mr} des radialen Einkugel- oder Einrollenmaßes	35
3.2.2 Übersetzung i	26	5.5 Abmaßfaktor A_{da}'' des Zweiflanken-Wälzabstandes a'' mit Lehrzahnrad	35
3.2.3 Mittenlinie, Achsabstand a	26	5.6 Abmaßfaktor A_{da} für den Kopfkreisdurchmesser bei überschnittenen Stirnrädern	35
3.2.4 Wälzzylinder, Wälzkreise; Wälzkreisdurchmesser d_w	26	6 Abweichungen einzelner Bestimmungsgrößen an einer Stirnradverzahnung (Zylinderradverzahnung)	35
3.2.5 Betriebseingriffswinkel α_{w1} bzw. α''	26	6.1 Kreisteilungsabweichungen	35
3.2.6 Gemeinsame Zahnhöhe h_w	27	6.1.1 Teilungs-Einzelabweichungen f_p	36
3.2.7 Kopfspeil c , Kopfspeilfaktor c^*	27	6.1.2 Teilungs-Spannenabweichungen (Teilungs-Summenabweichungen) F_{pk}	36
3.3 Rechengrößen und -faktoren für eine Radpaarung	27	6.1.3 Teilungs-Spannenabweichungen $F_{p\ 2/8}$	36
3.3.1 Null-Achsabstand a_d	27	6.1.4 Teilungs-Gesamtabweichung F_p	36
3.3.2 Teilkreisabstand $y \cdot m_n$, Teilkreisabstandsfaktor y	27	6.1.5 Teilungsschwankung R_p	36
3.3.3 Teilkreisabstandsfaktor y und Summe der Profilverschiebungsfaktoren Σx	27	6.1.6 Teilungssprung f_u	36
3.3.4 Berechnung der Summe der Profilverschiebungsfaktoren Σx	27	6.2 Eingriffsteilungs-Abweichungen f_{pc}	36
3.3.5 Berechnung des Achsabstandes a	27	6.3 Flankenabweichungen	36
3.3.6 Kopfhöhenänderung $k \cdot m_n$, Kopfhöhenänderungsfaktor k	27	6.3.1 Abweichungen des Stirnprofils	36
3.4 Zahneingriff	28	6.3.2 Abweichungen der Flankenlinien	38
3.4.1 Eingriffspunkt	28	6.3.3 Abweichungen der Erzeugenden	39
3.4.2 Eingriffsebene, Eingriffslinie	28	6.4 Rundlaufabweichung F_l	40
3.4.3 Eingriffsfeld, Eingriffsstrecke	28	6.5 Lageabweichung der Verzahnungsachse	40
3.4.4 Nutzkreisdurchmesser d_N ; aktive und nutzbare Bereiche der Zahnflanken	30	6.5.1 Außermittigkeit f_c	40
3.4.5 Profil-Überdeckungswinkel φ_{α} , Profilüberdeckung ε_{α}	30	6.5.2 Taumel F_{α}	40
3.4.6 Sprung-Überdeckungswinkel φ_{β} , Sprungüberdeckung ε_{β}	30	6.6 Schwankungen R	40
3.4.7 Sprung U	31	6.6.1 Zahndickenschwankung R_s , Zahndickensehnen-Schwankung R_{Σ}	40
3.4.8 Gesamt-Überdeckungswinkel φ_{γ} , Gesamtüberdeckung ε_{γ}	31	6.6.2 Zahnweitschwankung R_w	40
3.5 Gleitverhältnisse an den Zahnflanken	31	6.6.3 Schwankung R_{Mr} des radialen Einkugel- oder Einrollenmaßes	40
3.5.1 Relative Gleitgeschwindigkeit v_g	31	6.6.4 Schwankung R_{Md} des diametralen Zweikugel- oder Zweirollenmaßes	41
3.5.2 Gleitfaktor K_g	32	6.6.5 Schwankung des Zweiflanken-Wälzabstandes	41
3.5.3 Spezifisches Gleiten ζ	32	6.7 Tragbild	41
4 Abmaße und Toleranzen einer Stirnradverzahnung (Zylinderradverzahnung)	33	7 Wälzabweichungen	41
4.1 Abmaße A der Zahndicke und ihrer Prüfmaße	33	7.1 Einflanken-Wälzprüfung	42
4.1.1 Zahndickenabmaße A_s	33	7.1.1 Einflanken-Wälzabweichung F'_l	42
4.1.2 Abmaße A_{Σ} der Zahndickensehnen	33	7.1.2 Wälz-Summenteilungsabweichung F'_p	42
4.1.3 Zahnweitenabmaße A_w	33	7.1.3 Wälz-Einzelabweichung f'_p	42
4.1.4 Abmaße A_{Md} des diametralen Zweikugel- oder Zweirollenmaßes	33	7.1.4 Einflanken-Wälzsprung f'_l	42
4.1.5 Abmaße A_{Mr} des radialen Einkugel- oder Einrollenmaßes	33	7.1.5 Übertragungsabweichung einer mehrstufigen Räderpaarung	42
4.1.6 Abmaße A_{da}'' des Zweiflanken-Wälzabstandes a'' mit Lehrzahnrad	34	7.2 Zweiflanken-Wälzprüfung	43
4.1.7 Kopfkreisdurchmesser-Abmaß A_{da} bei überschnittenen Stirnrädern	34	7.2.1 Zweiflanken-Wälzabweichung F''_l	43
4.2 Toleranzen T	34	7.2.2 Wälz-Rundlaufabweichung F''_r	43
4.2.1 Zahndickentoleranz T_s	34	7.2.3 Zweiflanken-Wälzsprung f''_l	43
4.2.2 Toleranz T_{Σ} der Zahndickensehnen	34	8 Abweichungen der Achslagen eines Stirnradpaares (Zylinderradpaares)	43
4.2.3 Zahnweitentoleranz T_w	34	8.1 Abweichungen von der Parallelität	43
4.2.4 Toleranz T_{Md} des diametralen Zweikugel- oder Zweirollenmaßes	34	8.1.1 Achsneigung $f_{\Sigma\delta}$	43
4.2.5 Toleranz T_{Mr} des radialen Einkugel- oder Einrollenmaßes	34	8.1.2 Achsschrägung $f_{\Sigma\beta}$	43
4.2.6 Toleranz T_{da}'' des Zweiflanken-Wälzabstandes mit Lehrzahnrad	34	8.2 Abmaße und Toleranz für die Lage der Radachsen	43
4.2.7 Kopfkreisdurchmesser-Toleranz T_{da} bei überschnittenen Stirnrädern	34	8.2.1 Achsabstandsabmaße A_a	43
5 Abmaßfaktoren A	34	8.2.2 Achsabstandstoleranz T_a	44
5.1 Abmaßfaktor A_{Σ} der Zahndickensehne	34	8.2.3 Toleranzraum für die Lage der Radachsen	44
5.2 Abmaßfaktor A_w der Zahnweite	34	9 Flankenspiele j	44
		9.1 Drehflankenspiel j_l	44
		9.2 Normalflankenspiel j_n	44
		9.3 Radialspiel j_r	44
		10 Stichwortverzeichnis	45

1 Zeichen, Benennungen, Einheiten

1.1 Zeichen und Benennungen

In dieser Norm werden die folgenden Zeichen und Benennungen benutzt:

a	Achsabstand	h_a	Kopfhöhe
a_d	Null-Achsabstand	h_f	Fußhöhe
a''	Zweiflanken-Wälzabstand	h_w	Gemeinsame Zahnhöhe
b	Zahnbreite	h_p	Zahnhöhe des Bezugsprofils
b_{Δ}	Berührgeraden-Überdeckung bzw. Meßflächenbreite bei Zahnweitenmessungen	$\bar{h}$	Höhe über der Sehne $\bar{s}_n$
c	Kopfspiel	$\bar{h}_c$	Höhe über der konstanten Sehne $\bar{s}_c$
d	Teilkreisdurchmesser	i	Übersetzung
d_a	Kopfkreisdurchmesser	inv	(sprich: involut) Evolventenfunktion
$d_{\Delta\Delta}$	Meßwert des Kopfkreisdurchmessers bei überschrittenen Stirnrädern	j	Flankenspiel
d_b	Grundkreisdurchmesser	j_n	Normalflankenspiel
d_f	Fußkreisdurchmesser	j_r	Radialspiel
d_v	V-Kreis-Durchmesser	j_t	Drehflankenspiel
d_w	Wälzkreisdurchmesser	k	Kopfhöhenänderungsfaktor
d_y	Y-Kreis-Durchmesser	k	Meßzähnezahl bei der Zahnweitenmessung
d_k	Durchmesser des Kugelmittelpunkt-Kreises	k	Nummer oder Anzahl der Zähne oder Teilungen in einem Bereich
d_{Δ}	Meßkreisdurchmesser (an Berührstelle mit Meßgerät)	m	Modul
d_N	Nutzkreisdurchmesser	n	Drehzahl (Drehfrequenz)
d_{N_a}	Kopfnutkreis-Durchmesser	n_a	Drehzahl (Drehfrequenz) des treibenden Rades
d_{N_f}	Fußnutkreis-Durchmesser	n_b	Drehzahl (Drehfrequenz) des getriebenen Rades
e	Lückenweite auf dem Teilzylinder	p	Teilung auf dem Teilzylinder
e_a	Lückenweite auf dem Kopfzylinder	p_b	Teilung auf dem Grundzylinder
e_b	Grundlückenweite (auf dem Grundzylinder)	p_c	Eingriffsteilung
e_f	Lückenweite auf dem Fußzylinder	p_k	Teilungsspanne (Teilungssumme)
e_v	Lückenweite auf dem V-Zylinder	p_v	Teilung auf dem V-Zylinder
e_y	Lückenweite auf dem Y-Zylinder	p_x	Axialteilung
f	Einzelabweichung	p_y	Teilung auf dem Y-Zylinder
f_b	Grundkreisabweichung	p_z	Steigungshöhe
f_c	Außermittigkeit	r	Teilkreishalbmesser
f_f	Profil-Formabweichung	r_a	Kopfkreishalbmesser
f_{fw}	Profil-Welligkeit	r_b	Grundkreishalbmesser
f_i'	Einflanken-Wälzsprung	r_f	Fußkreishalbmesser
f_i''	Zweiflanken-Wälzsprung	r_v	V-Kreis-Halbmesser
f_p	Teilungs-Einzelabweichung	r_w	Wälzkreishalbmesser
f_{pc}	Eingriffsteilungs-Abweichung	r_y	Y-Kreis-Halbmesser
f_{pv}	Axialteilungs-Abweichung	s	Zahndicke auf dem Teilzylinder
f_{pz}	Steigungshöhen-Abweichung	s_a	Zahndicke auf dem Kopfzylinder
f_p'	Wälz-Einzelabweichung	s_b	Grundzahndicke (auf dem Grundzylinder)
f_u	Teilungssprung	s_v	Zahndicke auf dem V-Zylinder
f_{f1}	Erzeugenden-Formabweichung	s_w	Zahndicke auf dem Wälzzylinder
f_{H1}	Erzeugenden-Winkelabweichung	s_y	Zahndicke auf dem Y-Zylinder
$f_{H\alpha}$	Profil-Winkelabweichung	$\bar{s}$	Zahndickensehne
$f_{H\beta}$	Flankenlinien-Winkelabweichung	$\bar{s}_c$	Konstante Sehne
f_{α}	Eingriffswinkelabweichung	u	Zähnezahlverhältnis
f_{β}	Schrägungswinkelabweichung	v	Lineare Geschwindigkeit
$f_{\beta f}$	Flankenlinien-Formabweichung	v_K	Relative Gleitgeschwindigkeit
$f_{\beta w}$	Flankenlinien-Welligkeit	v_{Ka}	Relative Gleitgeschwindigkeit am Zahnkopf
$f_{\Sigma\beta}$	Achsschrägung	v_t	Umfangsgeschwindigkeit, Tangentialgeschwindigkeit
$f_{\Sigma\delta}$	Achsneigung	x	Profilverschiebungsfaktor
g	Eingriffsstrecke	x_{f1}	Erzeugungs-Profilverschiebungsfaktor
g_a	Länge der Austritt-Eingriffsstrecke	$x_{f m}$	Mittlerer Erzeugungs-Profilverschiebungsfaktor
g_l	Länge der Eintritt-Eingriffsstrecke	x''	Profilverschiebungsfaktor bei Zweiflanken-Wälzeingriff
g_u	Länge der Eingriffsstrecke (gesamte)	y	Teilkreisabstandsfaktor
g_{au}	Länge der Kopeingriffsstrecke	z	Zähnezahl
g_{af}	Länge der Fußeingriffsstrecke	z_a	Zähnezahl des treibenden Rades
g_{ay}	Abstand eines Punktes Y vom Wälzpunkt C	z_b	Zähnezahl des getriebenen Rades
h	Zahnhöhe (zwischen Kopf- und Fußlinie)	z_{nw}	Ersatzzähnezahl für Profilverschiebungs-Berechnungen
		$z_{nw'}$	Ersatzzähnezahl für Zahnweiten-Berechnungen
		A	Abmaß
		A_a	Achsabstandsabmaß
		$A_{a'}$	Abmaß des Zweiflanken-Wälzabstandes

A_{du}	Kopfkreisdurchmesser-Abmaß bei überschrittenen Stirnrädern	T_{Mr}	Toleranz des radialen Einkugel- oder Einrollenmaßes
A_s	Zahndickenabmaß	T_W	Zahnweitentoleranz
$A_s^{\sim}$	Abmaß der Zahndickensehne	U	Sprung
A_{Md}	Abmaß des diametralen Zweikugel- oder Zweirollenmaßes	W_k	Zahnweite über k Meßzähne oder Meßlücken
A_{Mr}	Abmaß des radialen Einkugel- oder Einrollenmaßes	Y	Beliebiger Punkt auf einer Zahnflanke
A_W	Zahnweitenabmaß	α	Eingriffswinkel = Profilwinkel am Teilzylinder
A	Anfangspunkt des Eingriffs	α_a	Profilwinkel am Kopfzylinder
B	Innerer Einzeleingriffspunkt am treibenden Rad	α_v	Profilwinkel am V-Zylinder
C	Wälzpunkt	α_w	Profilwinkel am Wälzzylinder
$D_{\setminus l}$	Meßkugel- oder Meßrollendurchmesser	α_v	Profilwinkel am Y-Zylinder
D	Äußerer Einzeleingriffspunkt am treibenden Rad	α_K	Profilwinkel am Kugelmittelpunkt-Kreis
E	Endpunkt des Eingriffs	α_M	Profilwinkel am Meßkreis
F	Gesamtabweichung, Wälzabweichung	α''	Eingriffswinkel bei Zweiflanken-Wälzprüfung mit Lehrzahnrad
F_f	Profil-Gesamtabweichung	β	Schrägungswinkel auf dem Teilzylinder
F_i'	Einflanken-Wälzabweichung	β_b	Grundschrägungswinkel
F_i''	Zweiflanken-Wälzabweichung	β_v	Schrägungswinkel auf dem V-Zylinder
F_p	Teilungs-Gesamtabweichung	β_w	Schrägungswinkel auf dem Wälzzylinder
F_{pk}	Teilungs-Spannenabweichung über k Teilungen	β_y	Schrägungswinkel auf dem Y-Zylinder
$F_{p \cdot \frac{1}{8}}$	Teilungs-Spannenabweichung über $\frac{1}{8}$ Radumfang	$\beta_{\setminus l}$	Schrägungswinkel am Meßkreis
F_p'	Wälz-Summenteilungsabweichung	γ	Steigungswinkel auf dem Teilzylinder
F_r	Rundlaufabweichung	γ_b	Grundsteigungswinkel
F_{rR}	Rundlaufabweichung an der Rad-Rückseite	ε	Überdeckung
F_{rV}	Rundlaufabweichung an der Rad-Vorderseite	ε_α	Profilüberdeckung
F_r''	Wälz-Rundlaufabweichung	ε_β	Sprungüberdeckung
F_E	Erzeugenden-Gesamtabweichung	ε_γ	Gesamtüberdeckung
F_β	Flankenlinien-Gesamtabweichung	ζ	Spezifisches Gleiten
F_u	Taumel	η	Zahnlücken-Halbwinkel am Teilkreis
K	Faktor, Koeffizient	η_b	Grundlücken-Halbwinkel
K_g	Gleitfaktor	η_f	Zahnlücken-Halbwinkel am Fußkreis
K_{ga}	Gleitfaktor am Zahnkopf	η_v	Zahnlücken-Halbwinkel am V-Kreis
L	Meßpunkteabstand	η_w	Zahnlücken-Halbwinkel am Wälzkreis
$L_{\setminus l}$	Wälzlänge vom Evolventenursprung zum Zahnkopf	η_y	Zahnlücken-Halbwinkel am Y-Kreis
L_l	Wälzlänge vom Evolventenursprung zum Zahnfuß	ξ	Wälzwinkel der Evolvente
$L_{\setminus l}$	Wälzlänge zum Punkt Y	ξ_a	Wälzwinkel der Evolvente am Zahnkopfende
L_E	Erzeugenden-Prüfbereich	ξ_l	Wälzwinkel der Evolvente am Zahnfußende
L_G	Lagermitten-Abstand an einer Radachse	$\xi_{\setminus l}$	Wälzwinkel der Evolvente im Punkt Y
L_α	Profil-Prüfbereich	ρ	Krümmungshalbmesser, Rundungshalbmesser
L_β	Flankenlinien-Prüfbereich	ρ_{an}	Kopfkanten-Rundungshalbmesser im Stirnrad-Normalschnitt
M_{dK}	Diametrales Zweikugelmaß	ρ_{a0}	Kopfkanten-Rundungshalbmesser am Werkzeug
M_{dK}	Diametrales Zweirollenmaß	$\rho_{\setminus l}$	Krümmungshalbmesser der Evolvente im Punkt Y
M_{rK}	Radiales Einkugelmaß	τ	Teilungswinkel
M_{rR}	Radiales Einrollenmaß	φ	Zentriwinkel, Überdeckungswinkel
P	Berührungspunkt (z. B. zwischen Meßkugel und Zahnflanke)	φ_c	Zentriwinkel zwischen den Größtwerten der Rundlaufabweichungen F_{rV} und F_{rR}
R	Schwankung	φ_α	Profil-Überdeckungswinkel
R_p	Teilungsschwankung	φ_β	Sprung-Überdeckungswinkel
R_s	Zahndickenschwankung	φ_f	Gesamt-Überdeckungswinkel
$R_s^{\sim}$	Zahndickensehnen-Schwankung	ψ	Zahndicken-Halbwinkel am Teilkreis
$R_{\setminus l d}$	Schwankung des diametralen Zweikugel- oder Zweirollenmaßes	ψ_a	Zahndicken-Halbwinkel am Kopfkreis
R_{Mr}	Schwankung des radialen Einkugel- oder Einrollenmaßes	ψ_b	Grunddicken-Halbwinkel
R_W	Zahnweitenschwankung	ψ_v	Zahndicken-Halbwinkel am V-Kreis
T	Toleranz	ψ_w	Zahndicken-Halbwinkel am Wälzkreis
T_a	Achsabstandstoleranz	ψ_y	Zahndicken-Halbwinkel am Y-Kreis
$T_{a''}$	Toleranz des Zweiflanken-Wälzabstandes	ω	Winkelgeschwindigkeit
T_{da}	Kopfkreisdurchmesser-Toleranz bei überschrittenen Stirnrädern	ω_a	Winkelgeschwindigkeit des treibenden Rades
T_s	Zahndickentoleranz	ω_b	Winkelgeschwindigkeit des getriebenen Rades
$T_s^{\sim}$	Toleranz der Zahndickensehnen	Δ	Unterschied
T_{Md}	Toleranz des diametralen Zweikugel- oder Zweirollenmaßes	ΔW	Längenunterschied bei der Zahnweitenmessung
		$\Delta\varphi$	Drehwinkel-Unterschied
		Σx	Summe der Profilverschiebungsfaktoren
		Σz	Summe der Zähnezahlen

Weitere Kurzzeichen für Verzahnungen siehe DIN 3999.

Außerdem bestehen folgende Normen über Zeichen:

DIN 1302 Mathematische Zeichen,

DIN 1304 Allgemeine Formelzeichen,

DIN 1313 Schreibweise physikalischer Gleichungen in Naturwissenschaft und Technik.

1.2 Zusätzliche Indizes

Zu den im Abschnitt 1.1 genannten Zeichen können die folgenden zusätzlichen Indizes treten:

a	für das treibende Rad
b	für das getriebene Rad
e	für die obere Grenze einer Größe
i	für die untere Grenze einer Größe
m	für einen Mittelwert
n	für Größen in einem Normalschnitt
t	für Größen in einem Stirnschnitt oder in Tangentialrichtung
x	für Größen in einem Axialschnitt oder in Richtung der Radachse
L	zur Bezeichnung von Linksflanken oder eines Lehrzahnrades
M	zur Bezeichnung eines Meßwertes
P	für Größen des Bezugsprofils
R	zur Bezeichnung von Rechtsflanken
max	für einen Größtwert
min	für einen Kleinstwert
zul	zur Bezeichnung eines zulässigen Grenzwertes
0	für Größen am erzeugenden Werkzeug
1	für Größen an dem kleineren Rad einer Radpaarung
2	für Größen an dem größeren Rad einer Radpaarung
*	zur Bezeichnung eines Faktors, mit dem eine Größe in Teilen oder Vielfachen des Normalmoduls (z. B. $c = c^* \cdot m$ oder $h_{ap} = h_{ap}^* \cdot m_n$) oder der Zähnezahl (z. B. z_{nx} oder z_{nw}) ausgedrückt wird, oder zur Bezeichnung eines Abmaßfaktors (siehe Abschnitt 5)

1.3 Einheiten

Die folgenden Normen bzw. Richtlinien sind zu beachten:

DIN 1301 Einheiten; Einheitenennamen, Einheitenzeichen

DIN 1315 Winkel; Begriffe, Einheiten

VDE/VDI 2605 Kreisteilungen und ebene Winkel; Grundbegriffe für Winkelmaße, Winkelmessungen, Winkelnormale und deren Fehler.

Danach ist es zweckmäßig, die in dieser Norm behandelten Größen in den folgenden Einheiten anzugeben:

Modul und alle Längen in Millimeter (mm),

Längen-Abweichungen, -Abmaße und -Toleranzen in Mikrometer (μm),

Winkel, die zur Größenangabe dienen, in Grad ($^\circ$)
(z. B. Profilwinkel, Eingriffswinkel, Schrägungswinkel, Wälzwinkel);
für das Rechnen mit Rechenanlagen ist die dezimale Unterteilung des Grades vorteilhaft;

Winkel, die in Gleichungen einzusetzen sind, in Radiant (rad)
(z. B. Teilungswinkel τ , Zahndicken-Halbwinkel ψ , Zahnflanken-Halbwinkel η , Überdeckungswinkel φ),

Winkelabweichungen in Milliradian (mrad) oder in Mikroradian (μrad)
(siehe Abschnitte 6.3.1.4, 6.3.1.6, 6.3.2.4, 6.3.2.5),

Winkelgeschwindigkeiten in Radiant durch Sekunde (rad/s),

Drehzahlen (Drehfrequenzen) in eins durch Sekunde (1/s)
(an Stelle der bisher vorwiegend gebräuchlichen Einheit 1/min wird im neuen Einheitensystem die Einheit 1/s benutzt, siehe DIN 1301).

Für die Winkleinheiten gelten die Beziehungen:

$$2\pi \text{ rad} = 360^\circ$$

$$1 \text{ rad} = 1 \frac{\text{mm}}{\text{mm}}$$

$$1 \text{ mrad} = 1 \frac{\text{mm}}{\text{m}} = 1 \frac{\mu\text{m}}{\text{mm}}$$

$$1 \mu\text{rad} = 1 \frac{\mu\text{m}}{\text{m}}$$

$$1 \text{ mrad} \approx 3,437' \approx 206,26'' \approx 200''$$

$$1^\circ \approx 0,017453 \text{ rad}$$

$$1' \approx 0,291 \text{ mrad} \approx 0,3 \text{ mrad}$$

$$1'' \approx 4,85 \mu\text{rad} \approx 5 \mu\text{rad}$$

$$0,001^\circ = 3,6'' \approx 17,45 \mu\text{rad}$$

Für Umrechnungen gilt:

$$\alpha \text{ in Grad} = \frac{180}{\pi} \cdot (\alpha \text{ in Radiant})$$

2 Begriffe und Bestimmungsgrößen an einer Stirnradverzahnung (Zylinderradverzahnung)

Alle Definitionen dieses Abschnittes beziehen sich auf das von Abmaßen und Abweichungen freie Zahnrad. Die Gleichungen gelten somit für die Nennmaße der Verzahnung; Ausnahmen siehe Abschnitte 2.7.5 und 2.7.6.

Die Nennmaße einer Evolventen-Stirnradverzahnung sind durch folgende voneinander unabhängige Größen bestimmt:

Zähnezahl z

Bezugsprofil

Normalmodul m_n

Schrägungswinkel β

Profilverschiebungsfaktor x

Zahnbreite b

2.1 Zähnezahl z und Vorzeichen der Zähnezahl

Die Zähnezahl z eines außenverzahnnten Stirnrades (Außenrades) ist in die folgenden Gleichungen als positive Größe, die Zähnezahl z eines innenverzahnnten Stirnrades (Hohlrades) ist als negative Größe einzusetzen. Dies entspricht der Vorstellung, daß beim Übergang von einem Außenrad auf ein Hohlrad der Raddurchmesser vergrößert wird, bis zunächst bei $d = +\infty$ die Zahnstange mit $z = \infty$ erreicht wird. Im weiteren Verlauf des Übergangs springt der Raddurchmesser auf $-\infty$ um und nimmt dann endliche negative Größe an. Durch diese Festlegung und die in den Abschnitten 2.5.3 und 2.5.4 enthaltenen Definitionen über das Vorzeichen des Schrägungswinkels und der Profilverschiebung ist es möglich, für Außenräder und für Hohlräder dieselben Gleichungen ungeändert zu verwenden.

Für ein Hohlrad ergeben sich somit bei den Berechnungen für alle von der Zähnezahl abhängigen Größen – das sind die Durchmesser und Halbmesser, die Teilungs-, Zahndicken- und Zahnflankenwinkel, die Krümmungshalbmesser der Zahnflanken, und von den Prüfmaßen für die Zahndicke: die Zahnweite sowie das radiale und diametrale Einkugel- und Einrollenmaß bzw. Zweikugel- und Zweirollenmaß – negative Werte. Bei einem Innenradpaar sind außerdem das Zähnezahlverhältnis und der Achsabstand negativ.

In den Fertigungsverfahren (Zeichnungsangaben) werden jedoch auch bei Hohlradern vor allem sämtliche Prüfmaße sowie die Zähnezahlen, Durchmesser usw. stets als positive Größen angegeben; ausgenommen die Profilverschiebung, die mit ihrem jeweiligen Vorzeichen einzusetzen ist (siehe Abschnitt 2.5.4).

2.2 Bezugsflächen und Bezugslinien

2.2.1 Bezugsprofil, Bezugs-Zahnstange

Das Bezugsprofil einer Stirnradverzahnung ist der Normalschnitt durch die Verzahnung der Bezugs-Zahnstange, die aus einer Außenradverzahnung durch Vergrößern der Zähnezahl bis $z = \infty$ und damit der Durchmesser bis $d = +\infty$ entsteht. Die Flanken des Bezugsprofils einer Evolventenverzahnung sind Geraden.

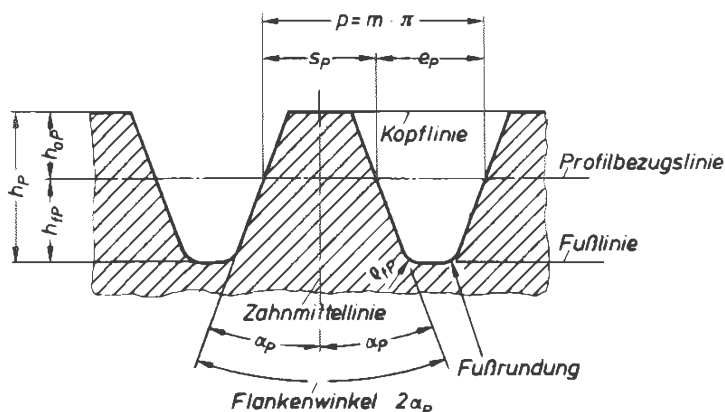
Die Flankenprofile (Linksflanken- und Rechtsflankenprofile) eines Stirnrades mit Evolventenverzahnung sind in Stirnschnitten (und nur in Stirnschnitten) Teile von Kreisevolventen (kurz: Evolventen). Die Flanken sind im allgemeinen Falle Evolventenschraubenflächen, bei Geradverzahnung Evolventenflächen.

2.2.2 Profilbezugslinie, Maße am Bezugsprofil

Die Maße am Bezugsprofil gehen aus dem Modul m und der Profilbezugslinie hervor: auf der (geraden) Profilbezugslinie werden die Teilung p , die Zahndicke s_p und die Lückenweite e_p des Bezugsprofils als Vielfache des Moduls m angegeben; auf die Profilbezugslinie werden in gleicher Weise die Kopfhöhe h_{ap} und die Fußhöhe h_{fp} bezogen, siehe Bild 1. Kopfhöhe und Fußhöhe ergeben zusammen die Profilhöhe h_p . Die Zähne enden an der Kopflinie.

Die Flanken des Bezugsprofils schließen mit den Normalen zur Profilbezugslinie den Profilwinkel α_p ein; sie gehen mit der Fußrundung in die Fußlinie über. Der Profilwinkel α_p des Zahnrad-Bezugsprofils kann vom Profilwinkel α_{p0} des Werkzeug-Bezugsprofils verschieden sein.

Das Bezugsprofil nach DIN 867 oder DIN 58 400 bestimmt für beide Seiten jedes Zahnes spiegelbildlich gleiche Evolventen-Zahnflanken.



$p = m \cdot \pi$	Teilung
e_p	Lückenweite auf der Profilbezugslinie
s_p	Zahndicke auf der Profilbezugslinie
h_p	Profilhöhe
h_{ap}	Kopfhöhe
h_{fp}	Fußhöhe
α_p	Profilwinkel
ρ_{fp}	Fußrundungshalbmesser

Bild 1. Bezugsprofil einer Evolventenverzahnung

2.2.3 Schnitte durch eine Stirnradverzahnung

2.2.3.1 Stirnschnitt

Der Schnitt einer Stirnradverzahnung mit einer Ebene senkrecht zur Radachse ergibt einen Stirnschnitt. Ein Stirnschnitt einer Zahnstange ist deren Schnitt mit einer Ebene senkrecht zur Achse des mit der Zahnstange gepaarten Stirnrades.

Größen im Stirnschnitt werden mit dem Index t bezeichnet.

2.2.3.2 Normalschnitt

Der Schnitt einer Evolventen-Schrägverzahnung mit einer Fläche, die senkrecht zu den Flankenlinien der Evolventenschraubenflächen verläuft, ergibt einen Normalschnitt. Die Normalschnittfläche ist räumlich gekrümmt. Bei einer Geradverzahnung fallen Normalschnitt und Stirnschnitt zusammen. Ein Normalschnitt einer Zahnstange ist deren Schnitt mit einer Ebene senkrecht zu den Flankenlinien der Verzahnung.

Größen im Normalschnitt werden mit dem Index n bezeichnet.

Bei einer Stirnrad-Geradverzahnung fallen die Indizes n und t fort.

2.2.3.3 Axialschnitt

Der Schnitt einer Stirnradverzahnung mit einer Ebene, die die Radachse enthält, ergibt einen Axialschnitt. Ein Axialschnitt einer Zahnstange ist deren Schnitt mit einer zur Zahnstangen-Bezugsebene (siehe Abschnitt 2.2.7) senkrechten Ebene, die die Radachse des mit der Zahnstange gepaarten Stirnrades enthält.

Größen im Axialschnitt werden mit dem Index x bezeichnet.

Bei einer Stirnrad-Geradverzahnung sind Axialschnitte und Angaben von Verzahnungsgrößen in solchen Schnitten nicht sinnvoll.

2.2.4 Verzahnungsprofil, Flankenprofil

Ein Verzahnungsprofil ergibt sich als Schnittlinie der Verzahnung mit einer Ebene.

Ein Flankenprofil ist die Schnittlinie einer Zahnflanke mit einer Ebene. Gegebenenfalls sind Rechtsflankenprofil und Linksflankenprofil zu unterscheiden.

2.2.4.1 Stirnprofil

Das Stirnprofil ist das in einem Stirnschnitt liegende Profil der Verzahnung.

Das Stirnprofil einer Stirnradverzahnung und das Stirnprofil des damit zum Eingriff kommenden Gegenrades liegen in einer Ebene.

2.2.4.2 Normalprofil, Ersatz-Geradverzahnung

Bei einem Stirnrad mit Evolventen-Schrägverzahnung läßt sich wegen des gekrümmten Normalschnitts nur ein angenähertes Normalprofil angeben, das in einer Tangentialebene oder in einer Schmiegungeebene an den Normalschnitt liegt.

Geometrischen Untersuchungen wird daher vielfach eine in der Tangential- oder Schmiegungeebene liegende Ersatz-Geradverzahnung zugrunde gelegt, deren Bezugslinie ein Krümmungskreis am Normalschnitt der Schrägverzahnungs-Bezugsfläche (siehe Abschnitte 2.7.1.1 und 2.7.2) ist.

2.2.4.3 Axialprofil

Das Axialprofil ist das in einem Axialschnitt liegende Profil der Verzahnung.

2.2.5 Flankenlinien

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 Bezugsflankenlinie (Teilzylinder-Flankenlinie) ist die Schnittlinie der Flanke mit dem Teilzylinder (siehe Abschnitt 2.2.7). Die Grundflankenlinie ist die Schnittlinie der – unter Umständen verlängert gedachten – evolventischen Flanke mit dem Grundzylinder (siehe Abschnitt 2.2.8); die Grundflankenlinien sind die Kehlschraubenlinien der Evolventenschraubenflächen (siehe Abschnitt 2.3.1). Die Kopfflankenlinie (Fußflankenlinie) ist die Schnittlinie der – unter Umständen verlängert gedachten – evolventischen Flanke mit dem Kopfzylinder (Fußzylinder).

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

2.2.6 Modul m_n , m_t , m_x ; m

Der Modul m des Bezugsprofils ist der Normalmodul (Modul im Normalschnitt) m_n der Radverzahnung.

In einem Stirnschnitt ergibt sich der Stirnmodul m_t nach

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

Bei einem schrägverzahnnten Stirnrad ergibt sich in einem Axialschnitt der Axialmodul m_x nach

$$m_x = \frac{m_n}{\sin |\beta|} = \frac{m_n}{\cos \gamma} = \frac{m_t}{\tan |\beta|} \quad (2)$$

Bei einem geradverzahnnten Stirnrad ist $\beta = 0$, der Modul ist m ($m_n = m_t = m$).

2.2.7 Teilzylinder, Teilkreis; Teilkreisdurchmesser d

Der Teilzylinder ist die Bezugsfläche für die Radverzahnung. Seine Achse fällt mit der Führungsachse des Rades (Radachse) zusammen. Dementsprechend ist bei einer Zahnstange die Teilebene die Zahnstangen-Bezugsebene. Größen am Teilzylinder werden ohne Index angegeben.

Der Teilkreis ist der Schnitt des Teilzylinders mit einer Stirnschnittebene. Der Teilkreisdurchmesser d ist bestimmt durch

$$d = z \cdot m_t = \frac{z \cdot m_n}{\cos \beta} \quad (3)$$

Anmerkung: Bei einem Hohlrad ergibt sich für den Teilkreisdurchmesser ein negativer Wert, siehe Abschnitt 2.1.

2.2.8 Grundzylinder, Grundkreis; Grundkreisdurchmesser d_b

Der Grundzylinder ist derjenige zum Teilzylinder koaxiale Zylinder, der für die Erzeugung der Evolventenflächen (Evolventenschraubenflächen) bestimmend ist. 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 nutzbaren Teile der Zahnprofile. Der Grundkreisdurchmesser d_b beträgt

$$d_b = d \cdot \cos \alpha_t = z \cdot m_t \cdot \cos \alpha_t = \frac{z \cdot m_n \cdot \cos \alpha_t}{\cos \beta} \quad (4)$$

Anmerkung: Bei einem Hohlrad ergibt sich für den Grundkreisdurchmesser ein negativer Wert, siehe Abschnitt 2.1.

2.3 Evolventenfläche (Evolventenschraubenfläche)

2.3.1 Erzeugende einer Evolventenfläche

Eine Mantellinie des Grundzylinders beschreibt beim Abwickeln des Mantels eine Evolventenfläche eines Geradstirnrades; sie ist die Erzeugende der Evolventenfläche.

Eine zur Mantellinie geneigte Gerade in der abgewickelten Mantelfläche ist die Erzeugende einer Evolventenfläche (Evolventenschraubenfläche) eines Schrägstirnrades, die ihren Ursprung auf dem Grundzylinder in der Kehlschraubenlinie hat, siehe Bild 2.

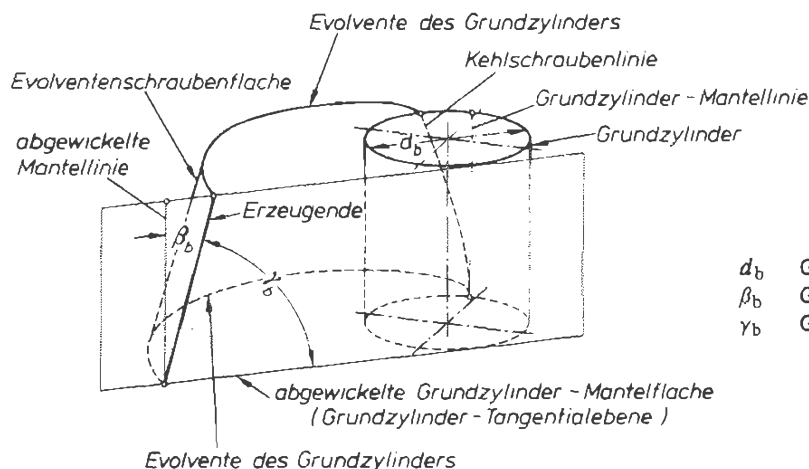
2.3.2 Grundschrägungswinkel β_b , Grundsteigungswinkel γ_b

Der spitze Winkel in der abgewinkelten Grundzylinder-Mantelfläche zwischen der Erzeugenden und einer Mantellinie ist der Grundschrägungswinkel β_b , siehe Bild 2 und Gleichungen (29) bis (31). Der Komplementwinkel des Grundschrägungswinkels β_b ist der Grundsteigungswinkel γ_b :

$$|\gamma_b| = 90^\circ - |\beta_b| \quad (5)$$

Beide Winkel haben dasselbe Vorzeichen.

Beim Abwickeln des Grundzylindermantels einmal im Drehsinn des Uhrzeigers, zum anderen entgegen dem Drehsinn des Uhrzeigers entstehen nach entgegengesetzten Richtungen gekrümmte Evolventenflächen, aus denen sich die Links- und die Rechtsflanken der Radverzahnung ergeben.



d_b Grundkreisdurchmesser
 β_b Grundschrägungswinkel
 γ_b Grundsteigungswinkel

Bild 2. Grundzylinder mit Evolventenschraubenfläche und Erzeugender

2.3.3 Berührlinie

Die beiden Grundzylinder eines Radpaares haben zwei gemeinsame, sich in der Wälzachse schneidende Tangentialebenen. Diese sind die Eingriffsebenen der Verzahnung. Jede Eingriffsebene schneidet die zugehörigen Zahnflanken (Flanke und Gegenflanke) in der der Wälzstellung entsprechenden Berührlinie (Kontaktlinie). Jede Berührlinie ist gemeinsame Erzeugende von Flanke und Gegenflanke; ihre Verlängerungen sind Tangenten an die Grundzylinder. Bei Drehung der Grundzylinder um ihre Achsen und gleichzeitigem Auf- bzw. Abwickeln der Tangentialebenen durchwandern die Berührlinien ihr Eingriffsfeld, siehe Abschnitt 3.4.

2.3.4 Stirnprofilwinkel α_{yt} , Stirneingriffswinkel α_t

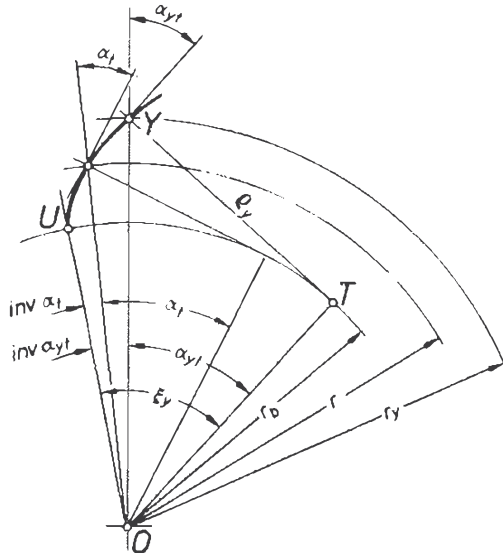
Die (stets in einem Stirnschnitt liegende) Evolvente ist in dem beliebigen Punkt Y um den Stirnprofilwinkel α_{yt} gegen den Radius (Mittelpunktsstrahl) durch Y geneigt, siehe Bild 3.

Der Neigungswinkel im Schnittpunkt der Evolvente mit dem Teilkreis ist der Stirneingriffswinkel α_t .

$$\cos \alpha_t = \frac{r_b}{r} = \frac{d_b}{d} \quad (6)$$

$$\cos \alpha_{yt} = \frac{r_b}{r_y} = \frac{d_b}{d_y} = \frac{d}{d_y} \cdot \cos \alpha_t \quad (7)$$

Siehe auch Gleichungen (8) und (9).



T	Tangentenberührpunkt am Grundkreis
U	Ursprungspunkt der Evolvente
Y	Beliebiger Punkt auf der Evolvente
r	Teilkreishalbmesser
r_b	Grundkreishalbmesser
r_y	Y-Kreis-Halbmesser
α_t	Eingriffswinkel (Profilwinkel am Teilkreis)
α_{yt}	Profilwinkel im Punkt Y
ξ_y	Wälzwinkel zwischen U und T
ρ_y	Krümmungshalbmesser im Punkt Y = Wälzlänge L_y
$\text{inv } \alpha_t$	Evolventenfunktion zu α_t
$\text{inv } \alpha_{yt}$	Evolventenfunktion zu α_{yt}

Bild 3. Größen an einer Evolvente

2.3.5 Normalprofilwinkel α_{yn} , Normaleingriffswinkel α_n

Im Normalschnitt durch eine Evolventenschraubenfläche ist die in einem beliebigen Punkt Y an diese Fläche gelegte Tangente gegen den Halbmesser (Mittelpunkts-

strahl) 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.

$$\tan \alpha_n = \tan \alpha_t \cdot \cos \beta \quad (8)$$

$$\tan \alpha_{yn} = \tan \alpha_{yt} \cdot \cos \beta_y \quad (9)$$

Bei einem geradzahnrad ist $\beta = 0$ und $\alpha_n = \alpha_t = \alpha$ sowie $\alpha_{yn} = \alpha_{yt} = \alpha_y$.

2.3.6 Wälzwinkel ξ der Evolvente

Der durch den Evolventenursprungspunkt U und den Berührpunkt T der Tangente vom Punkt Y an den Grundkreis bestimmte Zentriwinkel ist der Wälzwinkel ξ_y der Evolvente, siehe Bild 3. Der Grundkreisbogen UT ist gleich dem Tangentenabschnitt YT, somit ist

$$\xi_y = \tan \alpha_{yt} \quad (10)$$

2.3.7 Krümmungshalbmesser ρ der Evolvente, Wälzlänge L_y

Der Tangentenabschnitt YT ist der Krümmungshalbmesser ρ_y der Evolvente im Punkt Y und zugleich die zum Punkt Y gehörende Wälzlänge L_y , d. h. der vom Evolventenursprungspunkt U aus abgewinkelte Grundkreisbogen. Im Dreieck OTY ist er die Gegenkathete des am Kreismittelpunkt O liegenden Stirnprofilwinkels α_{yt} , siehe Bild 3.

$$\rho_y = r_b \cdot \xi_y = r_b \cdot \tan \alpha_{yt} = \frac{z}{|z|} \cdot \sqrt{r_y^2 - r_b^2} \quad (11)$$

Anmerkung: Bei einem Hohlrad ergibt sich für den Krümmungshalbmesser ein negativer Wert, siehe Abschnitt 2.1.

2.3.8 Evolventenfunktion $\text{inv } \alpha$

Die Winkeldifferenz $\xi - \alpha_t$ wird Evolventenfunktion des Winkels α_t genannt und mit $\text{inv } \alpha_t$ (sprich: involut α_t) bezeichnet, siehe Bild 3.

$$\text{inv } \alpha_{yt} = \xi_y - \alpha_{yt} = \tan \alpha_{yt} - \alpha_{yt} \quad (12)$$

Anmerkung: Für die Evolventenfunktion war bisher das Kurzzeichen $\text{ev } \alpha$ gebräuchlich. Entsprechend ISO 701-1976 wird empfohlen, in Zukunft das Zeichen $\text{inv } \alpha$ zu verwenden.

2.3.9 Steigungshöhe p_z

Die Steigungshöhe p_z (einer Evolventenschraubenfläche, einer Zahnflanke) ist der Abschnitt einer Mantellinie eines zur Radachse konzentrischen Zylinders zwischen zwei aufeinanderfolgenden Windungen einer Evolventenschraubenfläche (einer Zahnflanke), siehe Bild 4. Die Steigungshöhe ist vom Zylinderdurchmesser unabhängig.

$$p_z = \frac{|z| \cdot m_n \cdot \pi}{\sin |\beta|} = \frac{|z| \cdot m_t \cdot \pi}{\tan |\beta|} = |z| \cdot p_x \quad (13)$$

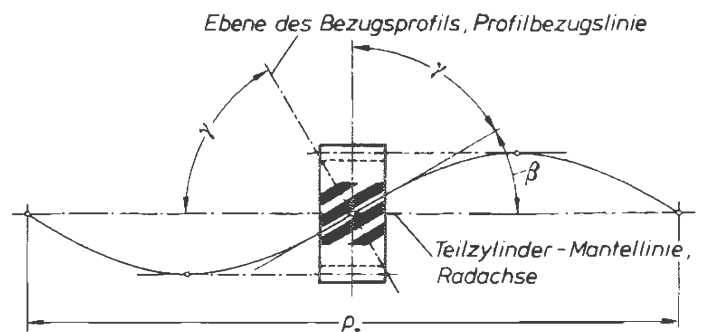


Bild 4. Schrägstrahl: Steigungshöhe p_z , Schrägungswinkel β , Steigungswinkel γ

2.4.7 Axialteilung p_x

Die Axialteilung p_x ist der Abschnitt einer Mantellinie eines zur Radachse konzentrischen Zylinders zwischen zwei aufeinanderfolgenden Rechts- oder Linksflanken, siehe Bild 6. Die Axialteilung ist unabhängig vom Zylinderdurchmesser und das $\frac{1}{|z|}$ fache der Steigungshöhe.

$$p_x = m_x \cdot \pi = \frac{m_n \cdot \pi}{\sin |\beta|} = \frac{m_t \cdot \pi}{\tan |\beta|} = \frac{p_z}{|z|} \quad (27)$$

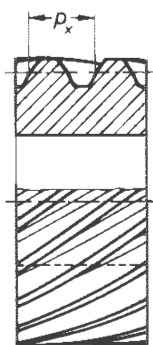


Bild 6. Axialteilung p_x eines Schrägstirnrades

2.5 Begriffe und Bestimmungsgrößen einer Radverzahnung aus der Lage des Bezugsprofils zum Teilzylinder

Die Profilbezugslinie kann

- die Radachse unter dem Steigungswinkel γ kreuzen
- zum Teilzylinder den Abstand $x \cdot m_n$ haben.

Daraus ergeben sich folgende Bestimmungsgrößen einer Radverzahnung:

2.5.1 Steigungswinkel γ , Schrägungswinkel β

Der Steigungswinkel γ ist der spitze Winkel, unter dem sich die Profilbezugslinie mit der Radachse kreuzt, siehe Bild 4. Er ist ferner der spitze Winkel zwischen einer Tangente an eine Teilzylinder-Flankenlinie und der Ebene senkrecht zur Radachse durch den Tangentenberührungspunkt.

Der Schrägungswinkel β ist der spitze Winkel zwischen einer Tangente an eine Teilzylinder-Flankenlinie und der Teilzylinder-Mantellinie durch den Tangentenberührungspunkt.

$$|\beta| = 90^\circ - |\gamma| \quad (28)$$

Steigungswinkel und Schrägungswinkel haben dasselbe Vorzeichen. Bei Geradstirnrädern ist $\gamma = 90^\circ$ und $\beta = 0^\circ$. Der Schrägungswinkel β_R der Rechtsflanken kann vom Schrägungswinkel β_L der Linksflanken verschieden sein.

Der Zusammenhang zwischen β und dem Grundschrägungswinkel β_b ergibt sich aus

$$\tan \beta_b = \tan \beta \cdot \cos \alpha_t \quad (29)$$

$$\sin \beta_b = \sin \beta \cdot \cos \alpha_n \quad (30)$$

$$\cos \beta_b = \cos \beta \cdot \frac{\cos \alpha_n}{\cos \alpha_t} = \frac{\sin \alpha_n}{\sin \alpha_t} = \frac{\sin \alpha_{yn}}{\sin \alpha_{yt}} \quad (31)$$

An einem Zylinder mit dem Durchmesser d_y ergibt sich der Schrägungswinkel β_y aus

$$\begin{aligned} \tan \beta_y &= \tan \beta \cdot \frac{d_y}{d} = \tan \beta \cdot \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_{yt}} = \\ &= \tan \beta_b \cdot \frac{d_y}{d_b} = \frac{\tan \beta_b}{\cos \alpha_{yt}} \end{aligned} \quad (32)$$

$$\sin \beta_y = \sin \beta \cdot \frac{\cos \alpha_n}{\cos \alpha_{yn}} = \frac{\sin \beta_b}{\cos \alpha_{yn}} \quad (33)$$

$$\cos \beta_y = \frac{\tan \alpha_{yn}}{\tan \alpha_{yt}} = \frac{\cos \alpha_{yt} \cdot \cos \beta_b}{\cos \alpha_{yn}} \quad (34)$$

2.5.2 Flankenrichtung; rechtssteigend, linkssteigend

Bei Außen- und Innenverzahnung ist die Flankenrichtung rechtssteigend (linkssteigend), wenn die schraubige Flankenlinie einer Rechtsschraube (Linksschraube) entspricht.

2.5.3 Vorzeichen des Schrägungswinkels

Werden (z. B. für Berechnungen) Vorzeichen für die Schrägungswinkel benötigt, dann gilt:

Bei einem Außenrad gilt ein zu rechtssteigender Flankenrichtung gehörender Schrägungswinkel als positiv, ein zu linkssteigender Flankenrichtung gehörender Schrägungswinkel als negativ. Bei einem Hohlrad sind die Vorzeichen umgekehrt. Die Summe der Schrägungswinkel eines Stirnradpaares ist somit Null.

In Fertigungsunterlagen werden nur die Beträge (Absolutwerte) der Schrägungswinkel mit Angabe der Steigungsrichtung verwendet.

2.5.4 Profilverschiebung; Profilverschiebungsfaktor x und Vorzeichen der Profilverschiebung

Die Profilverschiebung einer Evolventenverzahnung ist der Abstand der Profilbezugslinie vom Teilzylinder. Die Größe der Profilverschiebung wird mit dem Profilverschiebungsfaktor x in Teilen des Normalmoduls ausgedrückt:

$$\text{Profilverschiebung} = x \cdot m_n$$

(Bei Geradstirnrädern: Profilverschiebung = $x \cdot m$).

Eine Profilverschiebung ist

positiv, wenn die Profilbezugslinie vom Teilkreis in Richtung zum Kopfkreis verschoben ist; dabei ist die Zahndicke im Teilkreis größer als bei der Profilverschiebung Null, siehe Bild 7

negativ, wenn die Profilbezugslinie vom Teilkreis in Richtung zum Fußkreis verschoben ist; dabei ist die Zahndicke im Teilkreis kleiner als bei der Profilverschiebung Null, siehe Bild 8.

Anmerkung: Hiermit wird für Hohlräder die Definition des Vorzeichens der Profilverschiebung gegenüber DIN 3960, Ausgabe August 1960, umgekehrt, d. h. für Hohlräder ist $x \cdot m_n$ DIN 3960 (Ausgabe Oktober 1976) = $-x \cdot m_n$ DIN 3960 (Ausgabe August 1960), siehe Abschnitt 2.1.

Profilbezugslinie

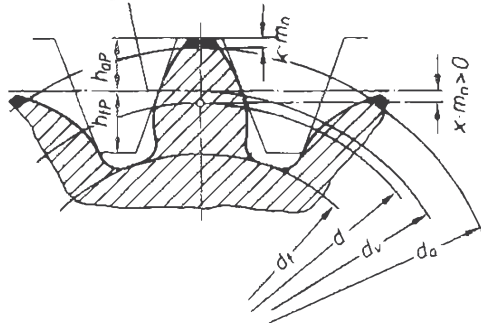


Bild 7. Positive Profilverschiebung an einem Außenrad

Profilbezugslinie

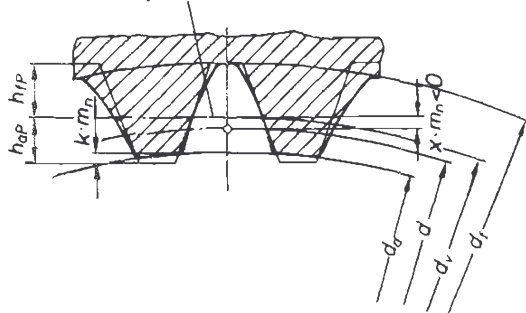


Bild 8. Negative Profilverschiebung an einem Hohlrad

2.5.5 V-Rad, Null-Rad

Ein Stirnrad mit Profilverschiebung heißt V-Rad (V_{plus} -Rad bei positiver, V_{minus} -Rad bei negativer Profilverschiebung). Ein Stirnrad mit der Profilverschiebung Null heißt Null-Rad.

2.5.6 Durchmesser der Verzahnung

Aus der Lage des Bezugsprofils zum Teilzylinder ergeben sich folgende Zylinderflächen und Durchmesser der Verzahnung.

Anmerkung: Bei einem Hohlrad ergeben sich für die Durchmesser und Halbmesser negative Werte, siehe Abschnitt 2.1.

2.5.6.1 Kopfzylinder, Kopfkreis;

Kopfkreisdurchmesser d_a

Der Kopfzylinder ist die zylindrische Mantelfläche an den Zahnköpfen einer Verzahnung; ein Stirnschnitt ergibt den Kopfkreis.

Größen am Kopfzylinder werden mit dem Index a bezeichnet.

Der Kopfkreisdurchmesser d_a beträgt bei Rad 1 (siehe Bild 7)

$$\begin{aligned} d_{a1} &= 2 \cdot a - d_{f2} - 2 \cdot c = d_1 + 2 \cdot h_a = \\ &= d_1 + 2 \cdot x_1 \cdot m_n + 2 \cdot h_{a1} + 2 \cdot k \cdot m_n \end{aligned} \quad (35)$$

und bei Rad 2 (siehe Bild 7 und Bild 8)

$$\begin{aligned} d_{a2} &= 2 \cdot a - d_{f1} - 2 \cdot c = d_2 + 2 \cdot h_a = \\ &= d_2 + 2 \cdot x_2 \cdot m_n + 2 \cdot h_{a2} + 2 \cdot k \cdot m_n \end{aligned} \quad (36)$$

Anmerkung: Zur Definition der Größen a, c und k siehe Abschnitte 3.2.3, 3.2.7 und 3.3.6 sowie Gleichung (45).

Werden die Kopfkreisdurchmesser nach den rechten Seiten der Gleichungen (35) und (36) bemessen, so wird das Kopfspiel $c = 0.167 \cdot m_n$ oder $c = 0.25 \cdot m_n$, je nach Bezugsprofil des Verzahnwerkzeuges. Einzelheiten siehe DIN 3972.

Bei einem Außenrad sollte $d_{a1} \geq d_b + 2 \cdot m_n$ sein. Daraus ergibt sich für Außenräder eine untere Grenze für den Profilverschiebungsfaktor x, siehe Abschnitt 2.6.4.

Bei einem Hohlrad muß immer $|d_{a1}| > |d_b|$ sein. Daraus ergibt sich für Hohlräder eine obere Grenze für den Profilverschiebungsfaktor, siehe Abschnitt 2.6.4.

2.5.6.2 Fußzylinder, Fußkreis;

Fußkreisdurchmesser d_f

Der Fußzylinder ist die zylindrische Mantelfläche am Grund der Zahnflanken einer Verzahnung; ein Stirnschnitt ergibt den Fußkreis.

Größen am Fußzylinder werden mit dem Index f bezeichnet.

Der Fußkreisdurchmesser d_f beträgt bei Rad 1 (siehe Bild 7)

$$d_{f1} = d_1 - 2 \cdot h_f = d_1 + 2 \cdot x_1 \cdot m_n - 2 \cdot h_{f1} \quad (37)$$

und bei Rad 2 (siehe Bild 7 und Bild 8)

$$d_{f2} = d_2 - 2 \cdot h_f = d_2 + 2 \cdot x_2 \cdot m_n - 2 \cdot h_{f2} \quad (38)$$

Anmerkung: Werden die Zahndickenabmaße A_{st} durch tiefere Zustellung des Verzahnwerkzeuges erzeugt, dann ergibt sich

$$d_f = d - 2 \cdot h_f + A_{st} \cdot \cot \alpha_t \quad (39)$$

Bei geschliffenen und geschabten Stirnrädern ist in Gleichung (37) und (38) für h_{f1} , die Werkzeugkopfhöhe h_{a0} und für x der Profilverschiebungsfaktor der Vorverzahnung einzusetzen.

2.5.6.3 V-Kreis-Durchmesser d_v ,

V-Zylinder; Profilwinkel α_v

Der V-Zylinder berührt die Profilbezugslinie, siehe Bild 7 und Bild 8. Sein Durchmesser (V-Kreis-Durchmesser) ist

$$\begin{aligned} d_v &= d + 2 \cdot x \cdot m_n = \\ &= d \left(1 + 2 \cdot \frac{x}{z} \cdot \cos \beta \right) \end{aligned} \quad (40)$$

Größen am V-Zylinder werden mit dem Index v bezeichnet.

Am Schnitt des V-Zylinders mit einer Evolventen-Zahnflanke sind folgende Winkel vorhanden:

Schrägungswinkel β_v

$$\begin{aligned} \tan \beta_v &= \frac{z + 2 \cdot x \cdot \cos \beta}{z} \cdot \tan \beta = \\ &= \tan \beta + 2 \cdot \frac{x}{z} \cdot \sin \beta = \tan \beta \cdot \frac{d_v}{d} \end{aligned} \quad (41)$$

Stirnprofilwinkel α_{vt}

$$\begin{aligned} \cos \alpha_{vt} &= \frac{z}{z + 2 \cdot x \cdot \cos \beta} \cdot \cos \alpha_t = \\ &= \frac{\cos \alpha_t}{1 + 2 \cdot \frac{x}{z} \cdot \cos \beta} \end{aligned} \quad (42)$$

Normalprofilwinkel α_{vn}

$$\tan \alpha_{vn} = \tan \alpha_{vt} \cdot \cos \beta_v \quad (43)$$

2.5.7 Höhen an der Verzahnung

Anmerkung: Die Gemeinsame Zahnhöhe, die sich aus der Paarung mit einem Gegenrad ergibt, ist in Abschnitt 3.2.6 definiert.

2.5.7.1 Zahnhöhe h

Die Zahnhöhe h einer Stirnradverzahnung ergibt sich aus der Zahnhöhe h_p des Bezugsprofils und der Kopfhöhenänderung $k \cdot m_n$, siehe Abschnitt 3.3.6.

$$h = h_p + k \cdot m_n \quad (44)$$

2.5.7.2 Zahnkopfhöhe h_a , Zahnfußhöhe h_f
Die Zahnkopfhöhe h_a und die Zahnfußhöhe h_f eines Stirnrades werden vom Teilkreis aus angegeben:

$$h_a = h_{ap} + x \cdot m_n + k \cdot m_n \quad (45)$$

$$h_f = h_{fp} - x \cdot m_n \quad (46)$$

2.5.8 Zahndicken, Lückenweiten

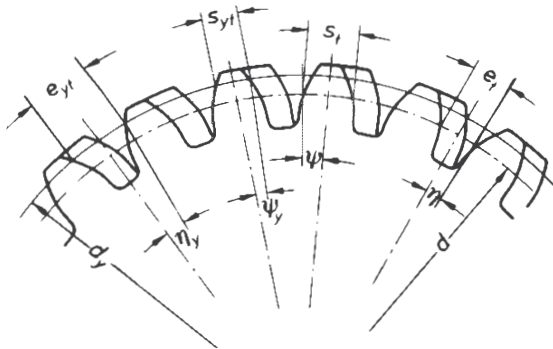


Bild 9. Schrägstirnrad: Zahndicken, Lückenweiten und deren Halbwinkel

2.5.8.1 Stirnzahndicken s_t , s_{yt} , s_{vt} und s_{bt}

Die Stirnzahndicke s_t (bei einem Geradstirnrad: die Zahndicke s) ist die Länge des Teilkreisbogens zwischen den beiden Flanken eines Zahnes.

$$\begin{aligned} s_t &= \frac{p_t}{2} + 2 \cdot x \cdot m_n \cdot \tan \alpha_t = \\ &= m_t \cdot \left(\frac{\pi}{2} + 2 \cdot x \cdot \tan \alpha_n \right) = \frac{s_n}{\cos \beta} \end{aligned} \quad (47)$$

Die Stirnzahndicke s_{yt} (bei einem Geradstirnrad: die Zahndicke s_y) ist die Länge des Kreisbogens mit dem Durchmesser d_y zwischen den beiden Flanken eines Zahnes.

$$\begin{aligned} s_{yt} &= d_y \cdot \left(\frac{s_t}{d} + \operatorname{inv} \alpha_t - \operatorname{inv} \alpha_{yt} \right) = \\ &= d_y \cdot \left(\frac{\pi + 4 \cdot x \cdot \tan \alpha_n}{2 \cdot z} + \operatorname{inv} \alpha_t - \operatorname{inv} \alpha_{yt} \right) \end{aligned} \quad (48)$$

Die Stirnzahndicke s_{vt} (bei einem Geradstirnrad: die Zahndicke s_v) ist die Länge des V-Kreis-Bogens zwischen den beiden Flanken eines Zahnes.

$$\begin{aligned} s_{vt} &= d_v \cdot \left(\frac{s_t}{d} + \operatorname{inv} \alpha_t - \operatorname{inv} \alpha_{vt} \right) = \\ &= d_v \cdot \left(\frac{\pi + 4 \cdot x \cdot \tan \alpha_n}{2 \cdot z} + \operatorname{inv} \alpha_t - \operatorname{inv} \alpha_{vt} \right) \end{aligned} \quad (49)$$

Die Grundzahndicke s_{bt} (bei einem Geradstirnrad: s_b) ist der Grundkreisbogen zwischen den Ursprungspunkten der Evolventen eines Zahnes.

$$s_{bt} = d_b \cdot \left(\frac{\pi + 4 \cdot x \cdot \tan \alpha_n}{2 \cdot z} + \operatorname{inv} \alpha_t \right) \quad (50)$$

2.5.8.2 Zahndicken-Halbwinkel ψ , ψ_y , ψ_v und ψ_b

Zentrivinkel in einem Stirnschnitt, die von den die Zahndicke s_t bzw. s_{yt} , s_{vt} oder s_{bt} begrenzenden Halbmessern

eingeschlossen werden, sind Zahndickenwinkel. Die entsprechenden Zahndicken-Halbwinkel sind:

$$\psi = \frac{s_t}{d} = \frac{\pi + 4 \cdot x \cdot \tan \alpha_n}{2 \cdot z} \quad (51)$$

$$\psi_y = \frac{s_{yt}}{d_y} = \psi + \operatorname{inv} \alpha_t - \operatorname{inv} \alpha_{yt} \quad (52)$$

$$\psi_v = \frac{s_{vt}}{d_v} = \psi + \operatorname{inv} \alpha_t - \operatorname{inv} \alpha_{vt} \quad (53)$$

Der Grunddicken-Halbwinkel ψ_b ist

$$\psi_b = \frac{s_{bt}}{d_b} = \psi + \operatorname{inv} \alpha_t \quad (54)$$

Anmerkung: Bei einem Hohlrad ergeben sich für die Zahndicken-Halbwinkel negative Werte, siehe Abschnitt 2.1.

2.5.8.3 Lückenweiten e_t , e_{yt} , e_{vt} und e_{bt}

Die Lückenweite e_t (bei einem Geradstirnrad: e) ist die Länge des Teilkreisbogens zwischen den eine Zahnücke einschließenden Zahnflanken. Zahndicke s_t und Lückenweite e_t ergeben zusammen die Teilkreisteilung p_t .

$$s_t + e_t = p_t \quad (55)$$

$$\begin{aligned} e_t &= \frac{p_t}{2} - 2 \cdot x \cdot m_n \cdot \tan \alpha_t = \\ &= m_t \cdot \left(\frac{\pi}{2} - 2 \cdot x \cdot \tan \alpha_n \right) \end{aligned} \quad (56)$$

Die Lückenweite e_{yt} (bei einem Geradstirnrad: e_y) ist die Länge des Kreisbogens mit dem Durchmesser d_y zwischen den eine Zahnücke einschließenden Zahnflanken. Zahndicke s_{yt} und Lückenweite e_{yt} ergeben zusammen die Y-Kreis-Teilung p_{yt} .

$$s_{yt} + e_{yt} = p_{yt} \quad (57)$$

$$\begin{aligned} e_{yt} &= d_y \cdot \left(\frac{e_t}{d} - \operatorname{inv} \alpha_t + \operatorname{inv} \alpha_{yt} \right) = \\ &= d_y \cdot \left(\frac{\pi - 4 \cdot x \cdot \tan \alpha_n}{2 \cdot z} - \operatorname{inv} \alpha_t + \operatorname{inv} \alpha_{yt} \right) \end{aligned} \quad (58)$$

Die Lückenweite e_{vt} (bei einem Geradstirnrad: e_v) ist die Länge des V-Kreis-Bogens zwischen den eine Zahnücke einschließenden Zahnflanken. Zahndicke s_{vt} und Lückenweite e_{vt} ergeben zusammen die V-Kreis-Teilung p_{vt} .

$$s_{vt} + e_{vt} = p_{vt} \quad (59)$$

$$\begin{aligned} e_{vt} &= d_v \cdot \left(\frac{e_t}{d} - \operatorname{inv} \alpha_t + \operatorname{inv} \alpha_{vt} \right) = \\ &= d_v \cdot \left(\frac{\pi - 4 \cdot x \cdot \tan \alpha_n}{2 \cdot z} - \operatorname{inv} \alpha_t + \operatorname{inv} \alpha_{vt} \right) \end{aligned} \quad (60)$$

Die Grundlückenweite e_{bt} (bei einem Geradstirnrad: e_b) ist der Grundkreisbogen zwischen den Ursprungspunkten der beiden Evolventen, die eine Zahnücke einschließen. Grundzahndicke s_{bt} und Grundlückenweite e_{bt} ergeben zusammen die Grundkreisteilung p_{bt} .

$$s_{bt} + e_{bt} = p_{bt} \quad (61)$$

$$e_{bt} = d_b \cdot \left(\frac{\pi - 4 \cdot x \cdot \tan \alpha_n}{2 \cdot z} - \operatorname{inv} \alpha_t \right) \quad (62)$$

2.5.8.4 Zahnflücken-Halbwinkel η , η_y , η_v und η_b

Zentriwinkel in einem Stirnschnitt, die von den die Lückenweiten e_l bzw. e_{yl} , e_{vl} oder e_{bl} begrenzenden Halbmessern eingeschlossen werden, sind Zahnflückenwinkel. Die entsprechenden Zahnflücken-Halbwinkel sind:

$$\eta = \frac{e_l}{d} = \frac{\pi - 4 \cdot x \cdot \tan \alpha_n}{2 \cdot z} \quad (63)$$

$$\eta_y = \frac{e_{yl}}{d_y} = \eta - \text{inv } \alpha_l + \text{inv } \alpha_{yl} \quad (64)$$

$$\eta_v = \frac{e_{vl}}{d_v} = \eta - \text{inv } \alpha_l + \text{inv } \alpha_{vl} \quad (65)$$

Der Grundflücken-Halbwinkel η_b ist

$$\eta_b = \frac{e_{bl}}{d_b} = \eta - \text{inv } \alpha_l \quad (66)$$

Anmerkung: Bei einem Hohlrad ergeben sich für die Zahnflücken-Halbwinkel negative Werte, siehe Abschnitt 2.1.

2.5.8.5 Normalzahndicken s_n , s_{yn} , s_{vn} und s_{bn}

Die Normalzahndicken sind die Zahndicken in einem Normalschnitt der Verzahnung; sie sind die Längen der Schraubenlinienbögen auf den entsprechenden Zylindern zwischen den beiden Flanken eines Zahnes. Sie ergeben sich aus dem Bezugsprofil und der Profilverschiebung:

$$\begin{aligned} s_n &= s_l \cdot \cos \beta = \frac{p_n}{2} + 2 \cdot x \cdot m_n \cdot \tan \alpha_n = \\ &= m_n \cdot \left(\frac{\pi}{2} + 2 \cdot x \cdot \tan \alpha_n \right) \end{aligned} \quad (67)$$

$$s_{yn} = s_{yl} \cdot \cos \beta_y \quad (68)$$

$$s_{vn} = s_{vl} \cdot \cos \beta_v \quad (69)$$

$$s_{bn} = s_{bl} \cdot \cos \beta_b \quad (70)$$

2.5.8.6 Normallückenweiten e_n , e_{yn} , e_{vn} und e_{bn}

Die Normallückenweiten sind die Lückenweiten in einem Normalschnitt der Verzahnung; sie sind die Längen der Schraubenlinienbögen auf den entsprechenden Zylindern zwischen den beiden Zahnflücken einschließenden Zahnflanken. Sie ergeben sich aus dem Bezugsprofil und der Profilverschiebung:

$$\begin{aligned} e_n &= e_l \cdot \cos \beta = \frac{p_n}{2} - 2 \cdot x \cdot m_n \cdot \tan \alpha_n = \\ &= m_n \cdot \left(\frac{\pi}{2} - 2 \cdot x \cdot \tan \alpha_n \right) \end{aligned} \quad (71)$$

$$e_{yn} = e_{yl} \cdot \cos \beta_y \quad (72)$$

$$e_{vn} = e_{vl} \cdot \cos \beta_v \quad (73)$$

$$e_{bn} = e_{bl} \cdot \cos \beta_b \quad (74)$$

2.6 Geometrische Grenzen für eine Evolventenverzahnung

2.6.1 Unterschnitt an Stirnrädern mit Außenverzahnung

Beim Erzeugen der Verzahnung eines Außenrades entsteht Unterschnitt an den Zahnflanken, wenn die Bahn der Werkzeug-Zahnkopfecke beim Wälzen in den evolventischen Teil der Zahnfußflanke des Werkstücks einschneidet.

Durch geeignete Wahl der Verzahnungsdaten, insbesondere Profilverschiebung, Schrägungswinkel, Kopfhöhen und Eingriffswinkel, läßt sich Unterschnitt vermeiden. Für ein mit einem Zahnstangenwerkzeug hergestelltes Außenrad besteht zwischen den Verzahnungsdaten folgender Zusammenhang:

$$x_{\min} = -\frac{z \cdot \sin^2 \alpha_l}{2 \cdot \cos \beta} + \frac{h_{a0} - \rho_{a0} \cdot (1 - \sin \alpha_n)}{m_n}, \quad (75)$$

wobei h_{a0} die Kopfhöhe und ρ_{a0} der Kopfkanten-Rundungshalbmesser des erzeugenden Werkzeuges ist.

Der danach berechnete Wert $x_{\min}$ darf meist noch um einen kleinen Betrag (höchstens um 0,17) vermindert werden, wenn ein geringer, sich im allgemeinen nicht schädlich auswirkender Unterschnitt zulässig ist.

2.6.2 Spitzgrenze und Mindestzahndicke am Kopfkreis eines Außenrades

Die Zähne eines Außenrades werden am Kopfkreis spitz, wenn

$$\psi_a = \frac{s_{al}}{d_a} = \psi + \text{inv } \alpha_l - \text{inv } \alpha_{al} = 0 \quad (76)$$

Die daraus sich ergebende Spitzgrenze ist im Abschnitt 2.6.4 behandelt.

Am Kopfzylinder sollte die Zahndicke s_{an} den Wert $0,2 \cdot m_n$ nicht unterschreiten. Daraus ergibt sich eine praktisch anwendbare obere Grenze für die Profilverschiebung eines Außenrades, siehe Abschnitt 2.6.4.

Unterschnitt und Spitzgrenze begrenzen die für ein Außenrad ausführbare Zähnezahlnach unten. Für Geradverzahnung und Bezugsprofil nach DIN 867 ist

$$z_{\min} = 8 \text{ mit } x = 0,57 \text{ für Spitzgrenze,}$$

$$z_{\min} = 9 \text{ mit } x = 0,45 \text{ für } s_{an} = 0,2 \cdot m_n,$$

siehe Bild 10.

Mit geringem Unterschnitt ist noch ausführbar

$$z_{\min} = 7 \text{ mit } x = 0,41$$

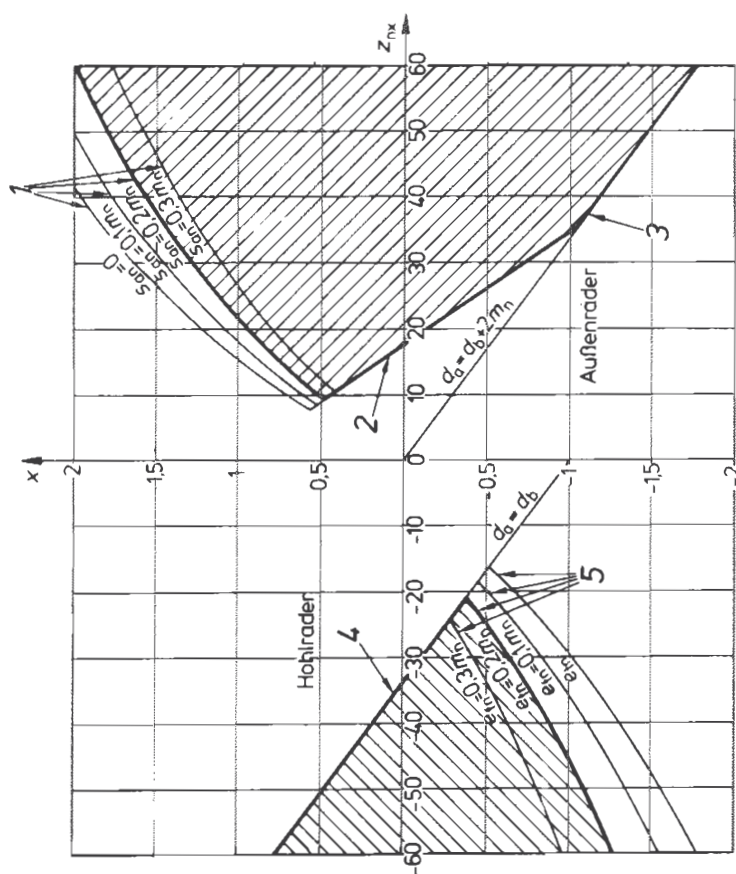
2.6.3 Spitzgrenze und Mindestlückenweite am Fußkreis eines Hohlrades

Die Lücke eines Hohlrades wird am Fußkreis spitz, wenn

$$\eta_f = \frac{e_{fl}}{d_f} = \eta - \text{inv } \alpha_l + \text{inv } \alpha_{fl} = 0 \quad (77)$$

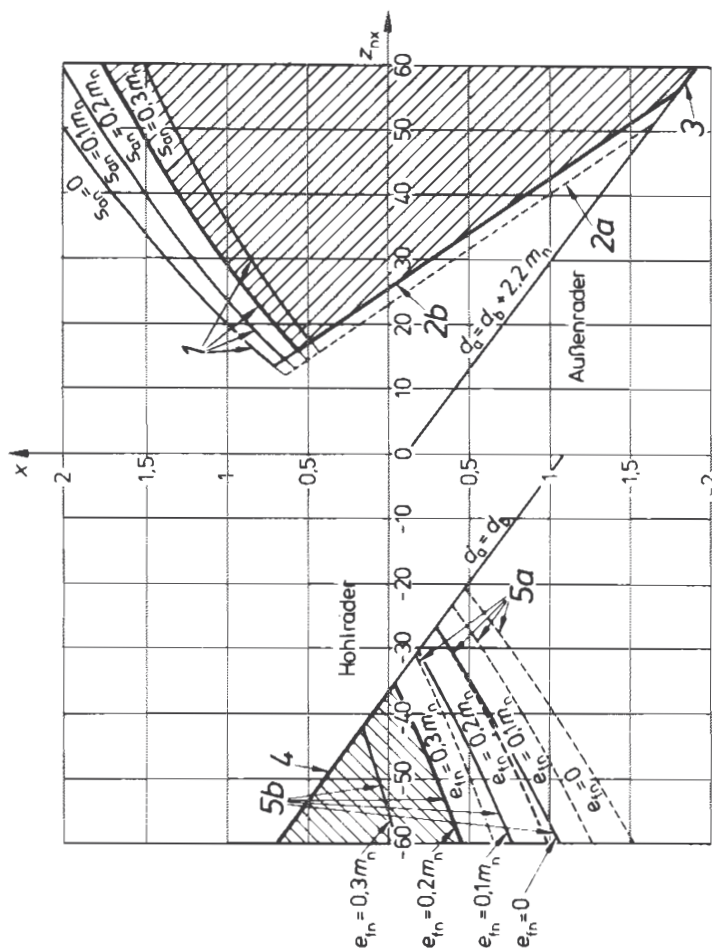
Die daraus sich ergebende Spitzgrenze ist im Abschnitt 2.6.4 behandelt.

Am Fußkreis des Hohlrades sollte die Lückenweite e_{fn} den Wert $0,2 \cdot m$ nicht unterschreiten. Daraus ergibt sich eine praktisch anwendbare obere Grenze für die Profilverschiebung eines Hohlrades, siehe Abschnitt 2.6.4.



- Kurven 1 Grenzwerte für Außenräder durch Spitzgrenze $s_{an} = 0$ bzw. Mindest-Zahnkopfdicke $s_{an} = (0,1 \dots 0,3) \cdot m_n$
- Gerade 2 Grenzwerte für Außenräder durch Unterschnitt an den Fußflanken
- Gerade 3 Grenzwerte für Außenräder durch Mindest-Kopfkreisdurchmesser $d_a = d_b + 2 \cdot m_n$
- Gerade 4 Grenzwerte für Hohlräder durch die Bedingung, daß der Betrag des Kopfkreisdurchmessers nicht kleiner werden darf als der Betrag des Grundkreisdurchmessers
- Kurven 5 Grenzwerte für Hohlräder durch Spitzgrenze $e_{in} = 0$ bzw. Mindest-Zahnfußflächenweite $e_{in} = (0,1 \dots 0,3) \cdot m_n$

Bild 10. Bereich der ausführbaren Evolventenverzahnungen mit Bezugsprofil nach DIN 867
Zusammenhang zwischen der Ersatzzähnezahl z_{nx} und dem Profilverschiebungsfaktor x für Zähnezahlen bis $z_{nx} = \pm 60$



- Kurven 1 Grenzwerte für Außenräder durch Spitzgrenze $s_{an} = 0$ bzw. Mindest-Zahnkopfdicke $s_{an} = (0,1 \dots 0,3) \cdot m_n$
- Gerade 2a Grenzwerte für Außenräder mit $c = 0,25 \cdot m_n$ durch Unterschnitt an den Fußflanken
- Gerade 2b Grenzwerte für Außenräder mit $c = 0,4 \cdot m_n$ durch Unterschnitt an den Fußflanken
- Gerade 3 Grenzwerte für Außenräder durch Mindest-Kopfkreisdurchmesser $d_a = d_b + 2,2 \cdot m_n$
- Gerade 4 Grenzwerte für Hohlräder durch die Bedingung, daß der Betrag des Kopfkreisdurchmessers nicht kleiner werden darf als der Betrag des Grundkreisdurchmessers
- Kurven 5a Grenzwerte für Hohlräder mit $c = 0,25 \cdot m_n$ durch Spitzgrenze $e_{in} = 0$ bzw. Mindest-Zahnfußflächenweite $e_{in} = (0,1 \dots 0,3) \cdot m_n$
- Kurven 5b Wie Kurven 5a, jedoch Grenzwerte für Hohlräder mit $c = 0,4 \cdot m_n$

Bild 11. Bereich der ausführbaren Evolventenverzahnungen mit Bezugsprofil nach DIN 58 400
Zusammenhang zwischen der Ersatzzähnezahl z_{nx} und dem Profilverschiebungsfaktor x für Zähnezahlen bis $z_{nx} = \pm 60$

Tabelle 1. Ersatzzähnezahl-Faktor $z_{n\lambda}^* = \frac{1}{\cos^2 \beta_b \cdot \cos \beta}$ in Abhängigkeit vom Schrägungswinkel β für $\alpha_n = 20^\circ$

β in Grad	$z_{n\lambda}^*$	β in Grad	$z_{n\lambda}^*$	β in Grad	$z_{n\lambda}^*$	β in Grad	$z_{n\lambda}^*$	β in Grad	$z_{n\lambda}^*$
1	1,0004	11	1,0526	21	1,2082	31	1,5235	41	2,1373
2	1,0017	12	1,0629	22	1,2311	32	1,5680	42	2,2255
3	1,0038	13	1,0743	23	1,2556	33	1,6155	43	2,3203
4	1,0068	14	1,0868	24	1,2819	34	1,6663	44	2,4223
5	1,0106	15	1,1004	25	1,3100	35	1,7206	45	2,5322
6	1,0153	16	1,1151	26	1,3400	36	1,7787		
7	1,0209	17	1,1311	27	1,3720	37	1,8409		
8	1,0274	18	1,1483	28	1,4063	38	1,9074		
9	1,0348	19	1,1668	29	1,4428	39	1,9788		
10	1,0432	20	1,1868	30	1,4818	40	2,0553		

Die Grenze für den Kopfkreisdurchmesser und die Spitzgrenze der Lücken begrenzen den für ein Hohlrad ausführbaren Betrag der Zähnezah nach unten. Für Geradverzahnung und Bezugsprofil nach DIN 867 ist

$$|z|_{\min} = 16 \text{ mit } x = -0,52 \text{ für Spitzgrenze,}$$

$$|z|_{\min} = 21 \text{ mit } x = -0,38 \text{ für } e_{fn} = 0,2 \cdot m,$$

siehe Bild 10.

Andere, sich aus Paarungsgründen ergebende Grenzen behandelt DIN 3993 (z. Z. noch Entwurf).

2.6.4 Bereich der ausführbaren Evolventenverzahnungen

Der durch die Grenzen nach den Abschnitten 2.6.1 bis 2.6.3 bedingte Bereich der ausführbaren Evolventenverzahnungen für Bezugsprofil nach DIN 867 ist im Bild 10, für Bezugsprofil nach DIN 58 400 im Bild 11 angegeben. Die Zusammenhänge für Schrägverzahnungen sind hierbei für Ersatz-Geradverzahnungen dargestellt, die für ein Bezugsprofil nach DIN 867 oder DIN 58 400 durch den Profilverschiebungsfaktor x der Schrägverzahnung und durch die Ersatzzähnezahl

$$z_{n\lambda} = \frac{z}{\cos^2 \beta_b \cdot \cos \beta} = z \cdot z_{n\lambda}^* \quad (78)$$

bestimmt sind. Ersatzzähnezahl-Faktor $z_{n\lambda}^*$ siehe Tabelle 1. Diese Beziehung zwischen den Zähnezahlen ist so gewählt, daß sich für eine Schrägverzahnung und die zugehörige Ersatz-Geradverzahnung aus der Gleichung (75) der gleiche Wert $x_{\min}$ ergibt. In Bild 10 und Bild 11 sind die jeweils möglichen Profilverschiebungen x über den Ersatzzähnezahlen $z_{n\lambda}$ aufgetragen.

Für ein Außenrad sind die Bereichsgrenzen gegeben durch die Spitzgrenze bzw. Mindest-Zahnkopfdicke nach Abschnitt 2.6.2 (Kurven 1), durch Unterschnitt nach Abschnitt 2.6.1 (Gerade 2) und durch den Mindest-Kopfkreisdurchmesser nach Abschnitt 2.5.6.1 (Gerade 3).

Für ein Hohlrad sind die Bereichsgrenzen gegeben durch den Grenzwert des Kopfkreisdurchmessers nach Abschnitt 2.5.6.1 (Gerade 4) und durch die Spitzgrenze bzw. Mindest-Lückenweite nach Abschnitt 2.6.3 (Kurven 5). Diese Grenzen sind allerdings aus Paarungsgründen praktisch nicht erreichbar, siehe DIN 3993 (z. Z. noch Entwurf).

2.7 Prüfmaße für die Zahndicke

Die Zahndicke ist ein Kreis- oder Schraubenlinienbogen und kann als solcher nicht unmittelbar gemessen werden. Zum Prüfen der Zahndicke bedient man sich deshalb mittelbarer Meßverfahren, aus deren Meßwerten sich die Zahndicke durch Berechnung ergibt.

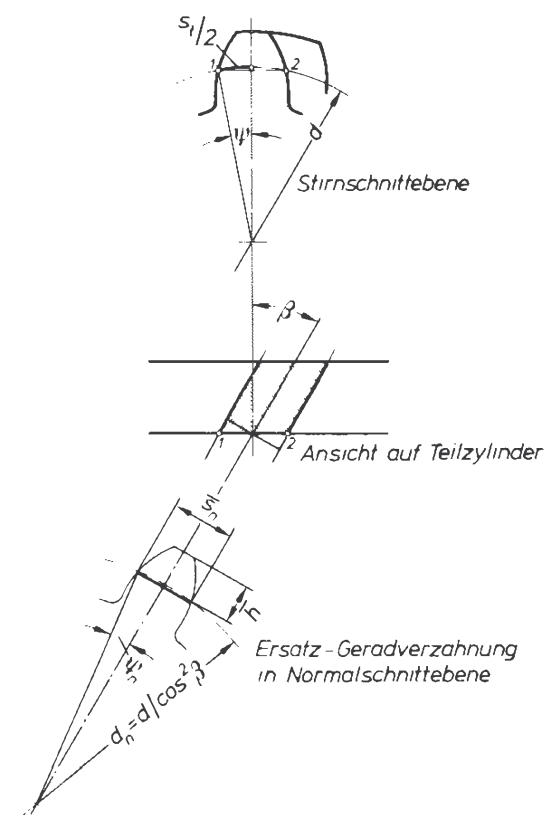


Bild 12. Zahndickensehne $\bar{s}_n$ und Höhe $\bar{h}$ über der Sehne eines außenverzahnten Schrägstirnrades aus der Ersatz-Geradverzahnung an der Krümmungsellipse am Normalschnitt