

DIN ISO 1328-1

ICS 21.200

Einsprüche bis 2017-07-31

Ersatzvermerk
siehe unten**Entwurf****Zylinderräder –
ISO-Toleranzsystem –****Teil 1: Definitionen und zulässige Werte für Abweichungen an Zahnflanken
(ISO 1328-1:2013);****Text Deutsch und Englisch**

Cylindrical gears –

ISO system of flank tolerance classification –

Part 1: Definitions and allowable values of deviations relevant to flanks of gear teeth
(ISO 1328-1:2013);

Text in German and English

Engrenages cylindriques –

Système ISO de classification des tolérances sur flancs –

Partie 1: Définitions et valeurs admissibles des écarts pour les flancs de la denture
(ISO 1328-1:2013);

Texte en allemand et anglais

AnwendungswarnvermerkDieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2017-03-31 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs
besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nam@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Maschinenbau (NAM), 60498 Frankfurt am Main, Postfach 71 08 64, 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.**Ersatzvermerk**Vorgesehen als Ersatz für DIN 3961:1978-08, DIN 3962-1:1978-08, DIN 3962-2:1978-08, DIN 3962-3:1978-08
und DIN 3963:1978-08

DIN-Normenausschuss Maschinenbau (NAM)

Gesamtumfang 118 Seiten

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	4
Vorwort	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich.....	8
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe, Definitionen und Symbole.....	9
3.1 Grundlegende Begriffe und Symbole.....	9
3.2 Allgemeine Größen	15
3.3 Teilungsabweichungen.....	18
3.4 Profilabweichungen.....	19
3.4.1 Profilabweichungen – Allgemeines.....	19
3.4.2 Auswertung der Profilabweichungen	22
3.5 Flankenlinienabweichungen.....	23
3.5.1 Flankenlinienabweichungen – Allgemeines	23
3.5.2 Auswertung der Flankenlinienabweichungen.....	24
4 ISO-System zur Flanken-Toleranzklassifizierung	27
4.1 Allgemeines	27
4.2 Zu prüfende geometrische Parameter.....	27
4.3 Prüfung der Ausrüstung und Unsicherheit	29
4.4 Betrachtungen hinsichtlich der Einzelmessungen.....	30
4.4.1 Zusammenfassung der Betrachtungen.....	30
4.4.2 Bezugsachse.....	30
4.4.3 Messrichtung.....	30
4.4.4 Toleranzrichtung.....	30
4.4.5 Messkreisdurchmesser	31
4.4.6 Filterung der Messdaten	31
4.4.7 Messpunktdichte.....	32
4.4.8 Erforderliche Mess- und Auswerteverfahren.....	32
4.5 Zur Anwendung von Zahnflankentoleranzen	35
4.6 Annahme- und Auswertekriterien	36
4.6.1 Bezeichnung der Flankentoleranzklasse.....	36
4.6.2 Modifizierte Flankentoleranzklasse.....	36
4.6.3 Toleranzen	36
4.6.4 Beurteilungskriterien.....	36
4.6.5 Bestimmung der Flankentoleranzklasse	36
4.6.6 Zusätzliche Eigenschaften	36
4.7 Darstellung der Daten.....	36
5 Toleranzwerte	37
5.1 Allgemeines	37
5.2 Anwendung der Gleichungen	37
5.2.1 Gültigkeitsbereich	37
5.2.2 Stufungsfaktor	37
5.2.3 Rundungsregeln.....	37
5.3 Toleranzgleichungen.....	37

5.3.1	Toleranz der Teilungs-Einzelabweichung f_{pT}	37
5.3.2	Toleranz der Teilungs-Gesamtabweichung F_{pT}	37
5.3.3	Profiltoleranzen.....	38
5.3.4	Flankenlinientoleranzen.....	38
Anhang A (normativ) Bereichsweise Toleranzbestimmung.....		39
Anhang B (normativ) Auswertung von Profil- und Flankenlinienabweichungen mit quadratischer Regression.....		43
Anhang C (informativ) Profil- und Flankenlinien-Datenfilterung.....		47
Anhang D (informativ) Teilungs-Sektorabweichung.....		49
Anhang E (normativ) Toleranzen für den Rundlauf.....		53
Anhang F (informativ) Prüfung der Einflanken-Wälzabweichung.....		56
Anhang G (informativ) Teilungssprung f_u		61
Literaturhinweise.....		63

Nationales Vorwort

Die Internationale Norm ISO 1328-1:2013 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 60/WG 2 „Accuracy of gears“ erarbeitet.

Die nationalen Interessen bei der Erarbeitung werden vom Arbeitsausschuss NA 060-34-11 AA „Zylinderräder – Terminologie und Toleranzen“ im Fachbereich „Antriebstechnik“ des DIN-Normenausschusses Maschinenbau (NAM) wahrgenommen. Vertreter der Hersteller und Anwender von Stahlgelenkketten sind an der Erarbeitung beteiligt.

Der Ausschuss dokumentiert damit die Übereinstimmung mit der ISO-Norm.

DIN ISO 1328-1 ersetzt die Zylinderrad-Toleranznormen DIN 3961, DIN 3962 und DIN 3963.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Änderungen

Gegenüber DIN 3961:1978-08, DIN 3962-1:1978-08, DIN 3962-2:1978-08, DIN 3962-3:1078-08 und DIN 3963:1978-08 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) der Anwendungsbereich wurde erweitert;
- b) neue Toleranzgleichungen mit Rundungsregeln wurden eingeführt;
- c) die Stufensprünge für Modul und Durchmesser wurden beseitigt;
- d) Gauß 50 %-Filter bei Profil- und Flankenlinie ist nun vorgeschrieben;
- e) die Mindestpunktdichte auf Messlinien wurde festgelegt;
- f) Auswertung aufgeteilt:
 - unmodifiziert,
 - Auswertung als Soll-Profil bzw. Soll-Flankenlinie,
 - Bereichsweise Auswertung (Kopf-, Fuß-, Endrücknahmen);
- g) Balligkeit mit Parabel-Einpassung;
- h) Hochrechnung von $f_{H\beta}$ auf volle Zahnbreite;
- i) Hochrechnung von $f_{H\alpha}$ bis zum Kopfkreisdurchmesser;
- j) Einflankenwälzprüfung nach DIN 3963 in ISO 1328-1 nur informativ;
- k) Zweiflankenwälzprüfung nach DIN 3963 ist nur in ISO 1328-2 beschrieben;

- l) für Teilungs-Sektorabweichung $F_{pz/k}$ sind in DIN 3962-3 Toleranzen definiert. In DIN ISO 1328-1 nur informativ. Ebenso für f_u . Der Parameter R_s fehlt komplett.

DIN 21772 wird wegen Überschneidungen im Inhalt mit Erscheinen der DIN ISO 1328-1 zurückgezogen werden.

In DIN ISO 1328-1 erhalten die Toleranzwerte den Index T (z. B. F_{pT}), in DIN war von Abweichung die Rede (z. B. F_p).

Rundlauf ist aktuell in ISO 1328-1 und auch in ISO 1328-2 enthalten. ISO 1328-2 soll neu veröffentlicht werden, ohne Rundlauf. Für die Rundlaufauswertung sollen nur die Toleranzwerte aus ISO 1328-1 verwendet werden.

Wie schon in DIN 3960 wird im Text unter Profil stets das Stirnprofil verstanden.

Vorwort

Die ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedskörperschaften). Die zur Erstellung Internationaler Normen erforderlichen Arbeiten werden üblicherweise von den Technischen Komitees der ISO ausgeführt. Jede Mitgliedskörperschaft, die an einem Thema interessiert ist, für das ein Technisches Komitee eingerichtet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Sowohl staatliche als auch nicht staatliche internationale Organisation beteiligen sich ebenfalls an diesen Arbeiten in Zusammenarbeit mit der ISO. ISO arbeitet auf allen Gebieten der elektrotechnischen Normung eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Internationale Normen werden nach den in den ISO/IEC-Richtlinien Teil 2 festgelegten Regeln konzipiert.

Hauptaufgabe der Technischen Komitees ist es, Internationale Normen zu erstellen. Von den Technischen Komitees angenommene Internationale Normentwürfe werden den Mitgliedskörperschaften zur Abstimmung vorgelegt. Für die Veröffentlichung als Internationale Norm ist die Zustimmung von mindestens 75 % aller Mitgliedskörperschaften, die abgestimmt haben, erforderlich.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

ISO 1328-1 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 60 „Gears“ erarbeitet.

Die vorliegende zweite Fassung hebt die erste Fassung (ISO 1328-1:1995), die technisch überarbeitet wurde, auf und ersetzt sie. Es wurden insbesondere folgende wesentliche Änderungen vorgenommen:

- der Anwendungsbereich wurde erweitert;
- die Gleichungen zur Festlegung der Flankentoleranzen wurden überarbeitet;
- es wurden Anhänge zur Beschreibung zusätzlicher Verfahren zur Auswertung modifizierter Profile und Flankenlinien hinzugefügt;
- die Auswertung des Rundlaufs, die zuvor in ISO 1328-2 behandelt wurde, wurde wieder in diesen Teil von ISO 1328 aufgenommen.

ISO 1328 besteht aus den folgenden Teilen unter dem allgemeinen Titel „*Stirnräder (Zylinderräder) — ISO-Toleranzsystem*“:

- *Teil 1: Definitionen und zulässige Werte für Abweichungen an Zahnflanken*
- *Teil 2: Definitionen und zulässige Werte für Zweiflanken-Wälzabweichungen und Rundlaufabweichungen*¹

1) Es ist beabsichtigt, bei einer Überarbeitung den Titel von Teil 2 an den Titel von Teil 1 anzupassen.

Einleitung

ISO 1328:1975 (dritte Fassung, zurückgezogen) enthielt Definitionen und zulässige Werte für Abweichungen an Zahnrädern sowie Empfehlungen zu geeigneten Prüfverfahren.

Die erste Fassung dieses Teils von ISO 1328 enthielt die Definitionen und zulässigen Werte für Zahnflankenabweichungen (Teilungs-Einzelabweichung, Teilungs-Summenabweichung, Teilungs-Gesamtabweichung, Profil-Gesamtabweichung und Flankenlinien-Gesamtabweichung), während die Empfehlungen zu geeigneten Prüfverfahren in ISO/TR 10064-1 (angegeben in Abschnitt 2) aufgeführt wurden.

WICHTIG — Es wird nachdrücklich empfohlen, dass jeder Anwender dieses Teils von ISO 1328 mit den in ISO/TR 10064-1 beschriebenen Verfahren und Vorgehensweisen vertraut ist. Die Anwendung von anderen als den in ISO/TR 10064-1 aufgeführten Techniken könnte in Kombination mit den in diesem Teil von ISO 1328 beschriebenen Grenzwerten nicht geeignet sein.

ACHTUNG — Zur Anwendung der Flankentoleranzklassen zur Bestimmung des Betriebsverhaltens der Zahnradpaarung sind umfangreiche Erfahrungen der speziellen Anwendung erforderlich. Anwender dieses Teils von ISO 1328 werden davor gewarnt, Toleranzwerte für nicht montierte (lose) Zahnräder zur Bestimmung des voraussichtlichen Betriebsverhaltens des Getriebes in dem diese Zahnräder montiert sind, direkt anzuwenden.

Zylinderräder — ISO-Toleranzsystem — Teil 1: Definitionen und zulässige Werte für Abweichungen an Zahnflanken

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 1328 legt ein System zur Toleranzklassifizierung fest, das für die Herstellung und Konformitätsbewertung von Zahnflanken einzelner zylindrischer Evolventenräder maßgebend ist. Er legt Definitionen für Begriffe von Zahnflankentoleranzen, den Aufbau des Flankentoleranzklassensystems und die zulässigen Werte fest.

Dieser Teil von ISO 1328 stellt dem Zahnradhersteller und dem Käufer der Zahnräder eine Referenz für einheitliche Toleranzen zur Verfügung, die für beide Seiten von Vorteil ist. Es werden 11 Flankentoleranzklassen festgelegt, die bezüglich des Toleranzwertes in aufsteigender Reihenfolge von 1 bis 11 nummeriert sind. In 5.3 sind die Toleranzgleichungen angegeben. Diese Toleranzen gelten für folgende Bereiche:

- $5 \leq z \leq 1\,000$;
- $5\text{ mm} \leq d \leq 15\,000\text{ mm}$;
- $0,5\text{ mm} \leq m_n \leq 70\text{ mm}$;
- $4\text{ mm} \leq b \leq 1\,200\text{ mm}$;
- $\beta \leq 45^\circ$.

Dabei ist

d der Teilkreisdurchmesser;

m_n das Normalmodul;

b die Zahnbreite (axial);

z die Zähnezahl;

β der Schrägungswinkel.

Siehe Abschnitt 4 hinsichtlich der geforderten und optionalen Messverfahren.

Die Konstruktion der Zahnräder liegt nicht im Anwendungsbereich dieses Teils von ISO 1328.

Die Oberflächenbeschaffenheit wird in diesem Teil von ISO 1328 nicht behandelt. Für zusätzliche Informationen über die Oberflächenbeschaffenheit siehe ISO/TR 10064-4.

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 701, *International gear notation — Symbols for geometrical data*

ISO 1122-1, *Vocabulary of gear terms — Part 1: Definitions related to geometry*

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

ISO/TR 10064-1, *Code of inspection practice — Part 1: Inspection of corresponding flanks of gear teeth*

ISO/TS 16610-1, *Geometrical product specifications (GPS) — Filtration — Part 1: Overview and basic concepts*

ISO 16610-21, *Geometrical product specifications (GPS) — Filtration — Part 21: Linear profile filters: Gaussian filters*

ISO 21771, *Gears — Cylindrical involute gears and gear pairs — Concepts and geometry*

3 Begriffe, Definitionen und Symbole

3.1 Grundlegende Begriffe und Symbole

Für die Anwendung dieses Teils von ISO 1328 gelten die folgenden Begriffe, Definitionen und Symbole.

ANMERKUNG 1 Weitere Definitionen geometrischer Begriffe in Bezug auf Verzahnungen siehe ISO 701, ISO 1122-1 und ISO 21771.

ANMERKUNG 2 Einige der in diesem Teil von ISO 1328 enthaltenen Symbole und Begriffe können sich von denen in anderen Dokumenten und Internationalen Normen unterscheiden.

ANMERKUNG 3 Die in diesem Teil von ISO 1328 verwendeten Begriffe und Symbole sind jeweils in alphabetischer Reihenfolge in Tabelle 1 nach dem Begriff und in Tabelle 2 nach dem Symbol geordnet. Der Text der in Tabelle 1 verwendeten Begriffe wurde so angepasst, dass sich Gruppen von logischen Begriffen ergeben. Der Index „T“ wird für Toleranzwerte verwendet.

Tabelle 1 — Begriffe, aufgeführt in alphabetischer Reihenfolge, mit Symbolen

Begriff	Symbol	Einheit
Anzahl der Teilungen in einem Sektor	k	–
Auswertelänge der Flankenlinie	L_{β}	mm
Auswertelänge des Profils	L_{α}	mm
Berührungspunkt der Tangente am Grundkreis	T	–
Betrag der Fußrücknahme	$C_{\alpha f}$	μm
Betrag der Kopfrücknahme	$C_{\alpha a}$	μm
Betriebseingriffswinkel	α_{wt}	Grad
Einflanken-Wälzabweichung	F_{is}	μm
Einflanken-Wälzsprung	f_{is}	μm
Einzelwert der Rundlaufmessung	r_i	μm
Einzelwert der Teilungs-Einzelabweichung	f_{pi}	μm
Einzelwert der Teilungs-Gesamtabweichung	F_{pi}	μm
Einzelwert des Teilungssprungs	f_{ui}	μm
Flankenlinien-Gesamtabweichung	F_{β}	μm
Flankenlinien-Formabweichung	$f_{\text{f}\beta}$	μm
Flankenlinien-Winkelabweichung	$f_{\text{H}\beta}$	μm
Fuß-Formkreisdurchmesser	d_{Ff}	mm
Fuß-Nutzkreisdurchmesser	d_{Nf}	mm
Fuß-Nutzkreispunkt auf der Eingriffsgeraden	N_{f}	–
Genauigkeitsklasse	A	–
Grenzwellenlänge des Flankenlinienform-Filters	λ_{β}	mm
Grenzwellenlänge des Profilform-Filters	λ_{α}	mm
Grundkreisdurchmesser	d_{b}	mm
Kopf-Formkreisdurchmesser	d_{Fa}	mm
Kopf-Nutzkreisdurchmesser	d_{Na}	mm
Kopfkantenbruch (radiale Höhe)	h_{k}	mm
Kopfkreisdurchmesser	d_{a}	mm
Länge der Eingriffsstrecke	g_{α}	mm

Tabelle 1 — (fortgesetzt)

Begriff	Symbol	Einheit
Länge der Fußrücknahme	$L_{C\alpha f}$	mm
Länge der Kopfrücknahme	$L_{C\alpha a}$	mm
Länge des Mittelprofils	$L_{\alpha m}$	mm
Maximale Länge der Fußrücknahme	$L_{C\alpha f, \max}$	mm
Maximale Länge der Kopfrücknahme	$L_{C\alpha a, \max}$	mm
Messkreisdurchmesser	d_M	mm
Mindestlänge der Fußrücknahme	$L_{C\alpha f, \min}$	mm
Mindestlänge der Kopfrücknahme	$L_{C\alpha a, \min}$	mm
Normalmodul	m_n	mm
Profil-Gesamtabweichung	F_α	μm
Profil-Formabweichung	$f_{f\alpha}$	μm
Profil-Winkelabweichung	$f_{H\alpha}$	μm
Profilkontrolldurchmesser	d_{Cf}	mm
Rundlaufabweichung	F_r	μm
Schnittpunkt des Kopf-Nutkreisdurchmessers mit der Eingriffsgeraden	N_a	–
Schrägungswinkel	β	Grad
Teilkreisdurchmesser	d	mm
Teilung auf dem Messkreisdurchmesser im Stirnschnitt	p_{tM}	mm
Teilungs-Einzelabweichung	f_p	μm
Teilungs-Gesamtabweichung	F_p	μm
Teilungs-Summenabweichung	F_{pk}	μm
Teilungsspannen-Summenabweichung	F_{pSk}	μm
Teilungssprung	f_u	μm
Toleranz der Einflanken-Wälzabweichung	F_{isT}	μm
Toleranz der Flankenlinien-Formabweichung	$f_{\beta T}$	μm
Toleranz der Flankenlinien-Gesamtabweichung	$F_{\beta T}$	μm
Toleranz der Flankenlinien-Winkelabweichung	$f_{H\beta T}$	μm
Toleranz der Profil-Formabweichung	$f_{f\alpha T}$	μm
Toleranz der Profil-Gesamtabweichung	$F_{\alpha T}$	μm

Tabelle 1 — (fortgesetzt)

Begriff	Symbol	Einheit
Toleranz der Profil-Winkelabweichung	$f_{H\alpha T}$	μm
Toleranz der Teilungs-Einzelabweichung	f_{pT}	μm
Toleranz der Teilungs-Gesamtabweichung	F_{pT}	μm
Toleranz der Teilungs-Summenabweichung	F_{pkT}	μm
Toleranz des Einflanken-Wälzsprungs	f_{isT}	μm
Toleranz des Teilungssprungs	f_{uT}	μm
Tragbildbeurteilung	c_p	–
Wälzkreisdurchmesser	d_w	mm
Wälzpunkt	C	–
Zähnezahl	z	–
Zahnbreite (axial)	b	mm
Zahndicke	s	mm
Zweiflanken-Wälzabweichung ^a	F_i''	μm
Zweiflanken-Wälzsprung ^a	f_i''	μm
^a Symbole sind in ISO 1328-2 angegeben.		

Tabelle 2 — Symbole, aufgeführt in alphabetischer Reihenfolge, mit Begriffen

Symbol	Begriff	Einheit
A	Genauigkeitsklasse	–
b	Zahnbreite (axial)	mm
C	Wälzpunkt	–
$C_{\alpha a}$	Betrag der Kopfrücknahme	μm
$C_{\alpha f}$	Betrag der Fußrücknahme	μm
c_p	Tragbildbeurteilung	–
d	Teilkreisdurchmesser	mm
d_a	Kopfkreisdurchmesser	mm
d_b	Grundkreisdurchmesser	mm
d_{Cf}	Profilkontrolldurchmesser	mm
d_{Fa}	Kopf-Formkreisdurchmesser	mm

Tabelle 2 — (fortgesetzt)

Symbol	Begriff	Einheit
d_{Ff}	Fuß-Formkreisdurchmesser	mm
d_M	Messkreisdurchmesser	mm
d_{Na}	Kopf-Nutzkreisdurchmesser	mm
d_{Nf}	Fuß-Nutzkreisdurchmesser	mm
d_w	Wälzkreisdurchmesser	mm
F_i''	Zweiflanken-Wälzabweichung ^a	µm
F_{is}	Einflanken-Wälzabweichung	µm
F_{isT}	Toleranz der Einflanken-Wälzabweichung	µm
F_p	Teilungs-Gesamtabweichung	µm
F_{pi}	Einzelwert der Teilungs-Gesamtabweichung	µm
F_{pk}	Teilungs-Summenabweichung	µm
F_{pkT}	Toleranz der Teilungs-Summenabweichung	µm
F_{pT}	Toleranz der Teilungs-Gesamtabweichung	µm
F_{pSk}	Teilungsspannen-Summenabweichung	µm
F_r	Rundlaufabweichung	µm
F_α	Profilgesamtabweichung	µm
$F_{\alpha T}$	Toleranz der Profil-Gesamtabweichung	µm
F_β	Flankenlinien-Gesamtabweichung	µm
$F_{\beta T}$	Toleranz der Flankenlinien-Gesamtabweichung	µm
$f_{f\alpha}$	Profil-Formabweichung	µm
$f_{f\alpha T}$	Toleranz der Profil-Formabweichung	µm
$f_{f\beta}$	Flankenlinien-Formabweichung	µm
$f_{f\beta T}$	Toleranz der Flankenlinien-Formabweichung	µm
$f_{H\alpha}$	Profil-Winkelabweichung	µm
$f_{H\alpha T}$	Toleranz der Profil-Winkelabweichung	µm
$f_{H\beta}$	Flankenlinien-Winkelabweichung	µm
$f_{H\beta T}$	Toleranz der Flankenlinien-Winkelabweichung	µm
f_i''	Zweiflanken-Wälzsprung ^a	µm
f_{is}	Einflanken-Wälzsprung	µm

Tabelle 2 — (fortgesetzt)

Symbol	Begriff	Einheit
f_{isT}	Toleranz des Einflanken-Wälzsprungs	μm
f_p	Teilungs-Einzelabweichung	μm
f_{pi}	Einzelwert der Teilungs-Einzelabweichung	μm
f_{pT}	Toleranz der Teilungs-Einzelabweichung	μm
f_u	Teilungssprung	μm
f_{ui}	Einzelwert des Teilungssprungs	μm
f_{uT}	Toleranz des Teilungssprungs	μm
g_α	Länge der Eingriffsstrecke	mm
h_k	Kopfkantenbruch (radiale Höhe)	mm
k	Anzahl der Teilungen in einem Sektor	–
$L_{\alpha m}$	Länge des Mittelprofils	–
$L_{C\alpha a}$	Länge der Kopfrücknahme	–
$L_{C\alpha f}$	Länge der Fußrücknahme	–
$L_{C\alpha a, \max}$	Maximale Länge der Kopfrücknahme	mm
$L_{C\alpha a, \min}$	Mindestlänge der Kopfrücknahme	mm
$L_{C\alpha f, \max}$	Maximale Länge der Fußrücknahme	mm
$L_{C\alpha f, \min}$	Mindestlänge der Fußrücknahme	mm
L_α	Auswertelänge des Profils	mm
L_β	Auswertelänge der Flankenlinie	mm
m_n	Normalmodul	mm
N_a	Schnittpunkt des Kopf-Nutkreisdurchmessers mit der Eingriffsgeraden	–
N_f	Fuß-Nutkreispunkt auf der Eingriffsgeraden	–
p_{tM}	Teilung auf dem Messkreisdurchmesser im Stirnschnitt	mm
r_i	Einzelwert der Rundlaufmessung	μm
s	Zahndicke	mm
T	Berührungspunkt der Tangente am Grundkreis	–
z	Zähnezahl	–
α_{wt}	Betriebseingriffswinkel	Grad
β	Schrägungswinkel	Grad
λ_α	Grenzwellenlänge des Profilform-Filters	mm

Tabelle 2 — (fortgesetzt)

Symbol	Begriff	Einheit
λ_{β}	Grenzwellenlänge des Flankenlinienform-Filters	mm
^a Symbole sind in ISO 1328-2 angegeben.		

3.2 Allgemeine Größen

3.2.1

Teilkreisdurchmesser

d

Durchmesser des Teilkreises

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Teilkreisdurchmesser wird zur Berechnung der Toleranzwerte verwendet.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe ISO 21771:2007, 4.2.4.

3.2.2

Messkreisdurchmesser

d_M

Durchmesser des mit der *Bezugsachse* (3.2.7) konzentrischen Kreises, an dem der Taster während der Messung der Abweichungen von Flankenlinie, Teilung oder Zahndicke mit den Zahnflanken in Berührung kommt

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Messkreisdurchmesser liegt gewöhnlich nahe der Flankenmitte.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe ISO/TR 10064-3.

3.2.3

Grenzwellenlänge des Profilformfilters

λ_{α}

Wellenlänge, bei der 50 % der Amplitude der Evolventenprofil-Abweichungen als Ergebnis des Gauß-Tiefpassfilters übertragen werden, wodurch nur Abweichungen längerer Wellenlängen enthalten sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe 4.4.6 und Anhang C.

3.2.4

Grenzwellenlänge des Flankenlinienform-Filters

λ_{β}

Wellenlänge, bei der 50 % der Amplitude der Flankenlinien-Abweichungen als Ergebnis des Gauß-Tiefpassfilters übertragen werden, wodurch nur Abweichungen längerer Wellenlängen enthalten sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe 4.4.6 und Anhang C.

3.2.5

Wälzlänge

Wälzweglänge

Länge auf der Grundkreistangente vom Punkt der Berührung des Grundkreises bis zu einem bestimmten Punkt auf dem Evolventenprofil in der Stirnschnittebene

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Wälzlänge ist eine Alternative zum Wälzwinkel zur Festlegung ausgewählter Durchmesserpositionen auf einem Evolventenprofil.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe Bild 1 und ISO 21771:2007, 4.3.8.

3.2.6

Länge der Eingriffsstrecke

g_α

Wälzlänge (3.2.5) vom Fuß-Nutkreisdurchmesser d_{Nf} bis zum Kopf-Formkreisdurchmesser d_{Fa} , oder bis zu dem Punkt, an dem die Berührung aufgrund eines Unterschnitts des Gegenrads endet (Ende des aktiven Profils)

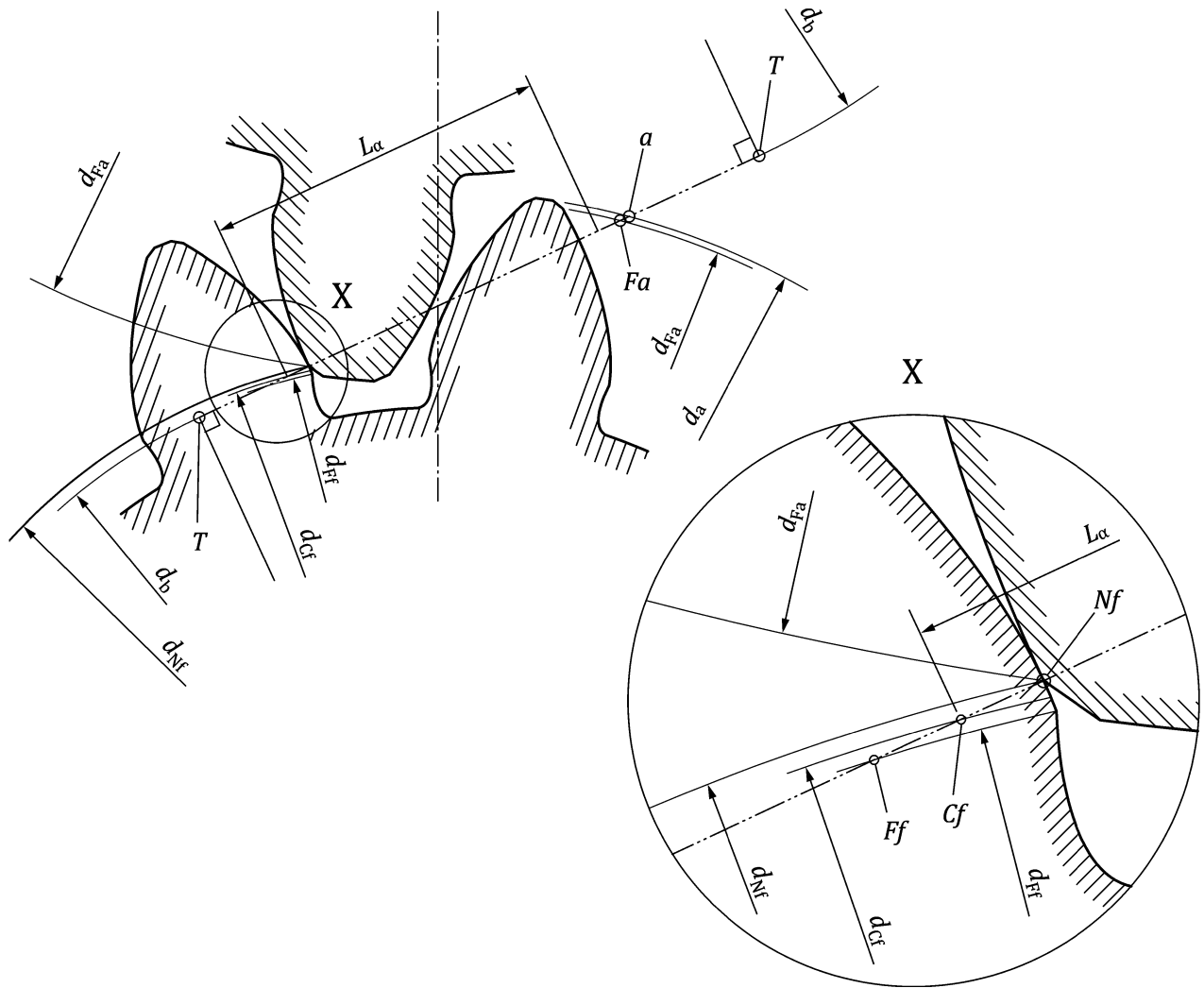
3.2.7

Bezugsachse

Achse, zu der die Merkmale des Zahnrades, insbesondere die Toleranzen für Teilung, Profil und Flankenlinien definiert sind.

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Bezugsachse des Zahnrades wird durch die Bezugsflächen festgelegt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe ISO/TR 10064-3.



Legende

L_α Auswertelänge

Punkte auf der Eingriffsgeraden

a Kopfkreis

C_f Profilkontrolle

F_a Kopf-Formkreis

F_f Fuß-Formkreis

N_f Fuß-Nutzkreispunkt

T Berührungspunkt der Tangente am Grundkreis

..... Eingriffsgerade

Durchmesser

d_a Kopfkreisdurchmesser

d_b Grundkreisdurchmesser

d_{Cf} Profilkontrolldurchmesser

d_{Fa} Kopf-Formkreisdurchmesser,
Ende des evolventischen Profils

d_{Ff} Fuß-Formkreisdurchmesser,
Beginn des evolventischen Profils

d_{Nf} Fuß-Nutzkreisdurchmesser

ANMERKUNG Die Durchmesser des Gegenrades haben die gleichen Symbole, jedoch andere Werte.

Bild 1 — Durchmesser und Wälzlänge für ein Außenzahnradpaar

3.3 Teilungsabweichungen

3.3.1

einzelne Teilungs-Einzelabweichungen

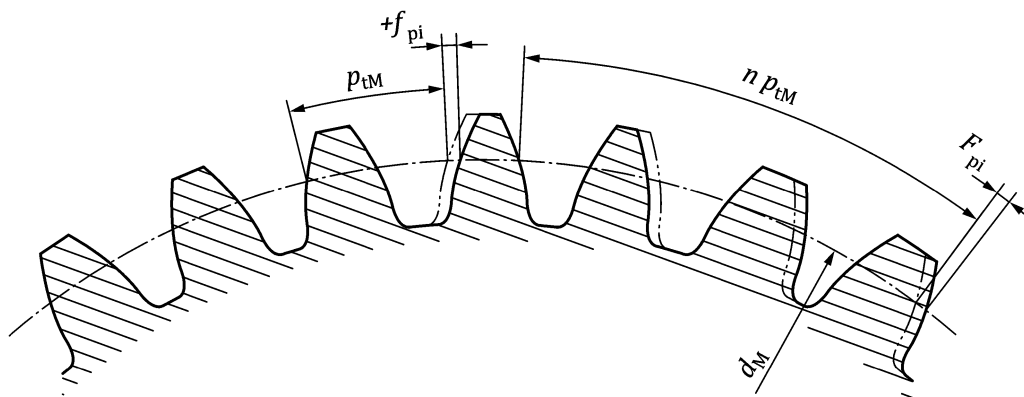
f_{pi}

algebraische Differenz zwischen der tatsächlichen Teilung und der entsprechenden theoretischen Teilung in der Stirnschnittebene auf dem Messkreis des Zahnrades

Anmerkung 1 zum Begriff: Sie entspricht der Verschiebung der Zahnflanke ausgehend von ihrer theoretischen Lage in Bezug zu einer entsprechenden Flanke eines benachbarten Zahnes.

Anmerkung 2 zum Begriff: Für die linken Flanken gibt es – ebenso wie für die rechten Flanken – genauso viele Werte für f_{pi} wie Zähne.

Anmerkung 3 zum Begriff: Siehe Bild 2.



Legende

..... theoretisch
————— tatsächlich

ANMERKUNG $p_{tm} = \pi d_m / z$.

Bild 2 — Teilungsabweichungen

3.3.2

Teilungs-Einzelabweichung

f_p

maximaler Absolutwert aller erfassten *einzelnen Teilungs-Einzelabweichungen* (3.3.1)

Anmerkung 1 zum Begriff: $f_p = \max |f_{pi}|$.

3.3.3

einzelne Teilungs-Summenabweichung

F_{pi}

algebraische Differenz über einen Bereich von n benachbarten Teilungen, zwischen der tatsächlichen Länge und der theoretischen Länge des maßgebenden Bogens

Anmerkung 1 zum Begriff: n variiert von 1 bis z ; für die linken Flanken gibt es – genau wie für die rechten Flanken – genauso viele Werte für F_{pi} wie Zähne.

Anmerkung 2 zum Begriff: Theoretisch entspricht sie der algebraischen Summe der einzelnen Teilungs-Einzelabweichungen (3.3.1) der gleichen n Teilungen. Sie entspricht der Verschiebung der Zahnflanke ausgehend von ihrer theoretischen Lage in Bezug zu einer Bezugszahnflanke.

Anmerkung 3 zum Begriff: Siehe Bild 2 und Anhang D.

3.3.4

Teilungs-Gesamtabweichung

F_p

größte algebraische Differenz zwischen den Werten der einzelnen Teilungs-Summenabweichungen (3.3.3) für eine festgelegte Flanke über alle Zähne eines Zahnrads

Anmerkung 1 zum Begriff: $F_p = \max. F_{pi} - \min. F_{pi}$.

3.4 Profilabweichungen

3.4.1 Profilabweichungen – Allgemeines

3.4.1.1

Profilkontrolldurchmesser

Beginn des Durchmessers zur Profil-Auswertung

d_{Cf}

festgelegter Durchmesser, ab dem das Zahnprofil dem festgelegten Sollprofil (3.4.2.1) entsprechen muss

Anmerkung 1 zum Begriff: Ist der Profilkontrolldurchmesser nicht festgelegt, wird der Fuß-Nutzkreisdurchmesser d_{Nf} als Profilkontrolldurchmesser verwendet, siehe letzter Absatz von 4.5.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe Bild 1 und 3.

3.4.1.2

Kopf-Formkreisdurchmesser

d_{Fa}

sofern nicht anders festgelegt, Kopfkreisdurchmesser abzüglich dem doppelten Kopfkantenradius oder dem doppelten Kopfkantenbruch

Anmerkung 1 zum Begriff: Das ist der festgelegte Minstdurchmesser für Außenräder oder der festgelegte maximale Durchmesser für Innenräder, an dem der Kantenbruch (Beginn des Kantenbruchs oder des Kopfkantenradius) auftreten kann.

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei einem direkten Übergang von der Nenn-Evolventen-Schraubenfläche zur Kopffläche ist der Kopfkantenradius gleich Null und der Kopf-Formkreisdurchmesser entspricht dem Kopfkreisdurchmesser.

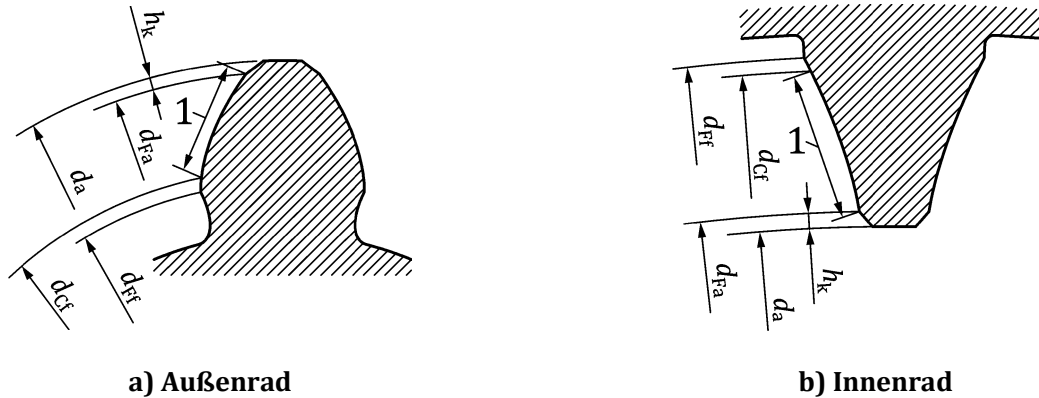
Anmerkung 3 zum Begriff: Siehe Bild 1 und 3.

3.4.1.3

Messprofil

Teil der Zahnflanke, mit dem der Taster während der Profilmessung in Berührung ist, und der den *Profilkontrolldurchmesser* (3.4.1.1) sowie den *Kopf-Formkreisdurchmesser* (3.4.1.2) einschließen muss

ANMERKUNG Siehe Bild 3.



a) Außenrad

b) Innenrad

Legende

1 Messprofil

Bild 3 — Messprofil

3.4.1.4

Profil-Auswertebereich

Abschnitt des *Messprofils* (3.4.1.3), der am Profilkontrolldurchmesser d_{Cf} (3.4.1.1) beginnt, und sofern nicht anders festgelegt bei 95 % der Wälzlänge in Richtung des Kopf-Formkreisdurchmessers d_{Fa} (3.4.1.2) endet

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe die Bilder 4 bis 8, 4.4.8 und ISO 21771.

3.4.1.5

ausgewertete Profillänge

L_α

Wälzweglänge (3.2.5) des *Profil-Auswertebereiches* (3.4.1.4) in einer Stirnschnittebene

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1.

3.4.1.6

Profilabweichung

Betrag, um den ein *Messprofil* (3.4.1.3) vom *Sollprofil* (3.4.2.1) abweicht

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bilder 4 bis 8.

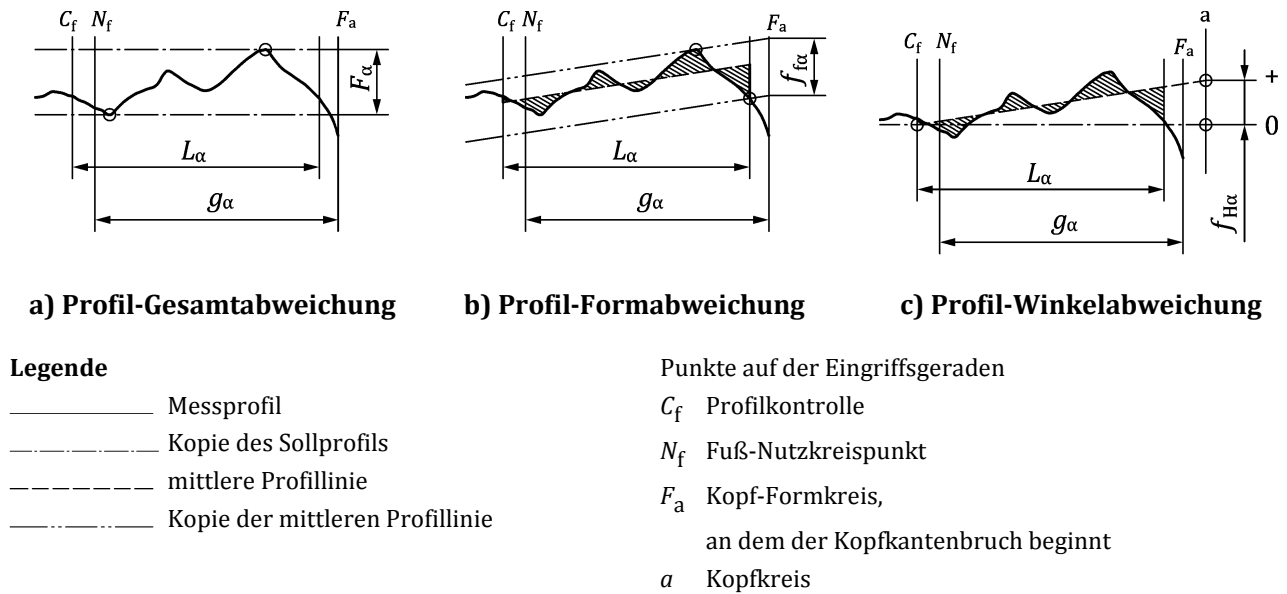
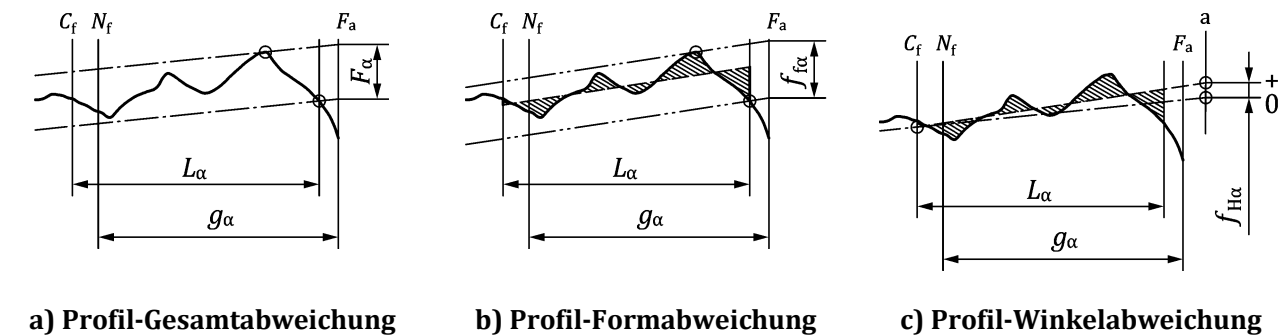
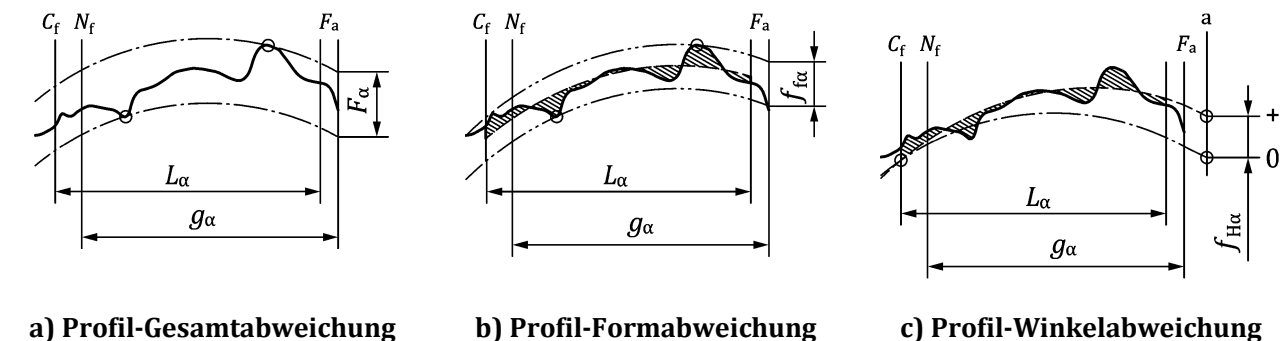


Bild 4 — Profilabweichungen mit unmodifizierter Evolvente



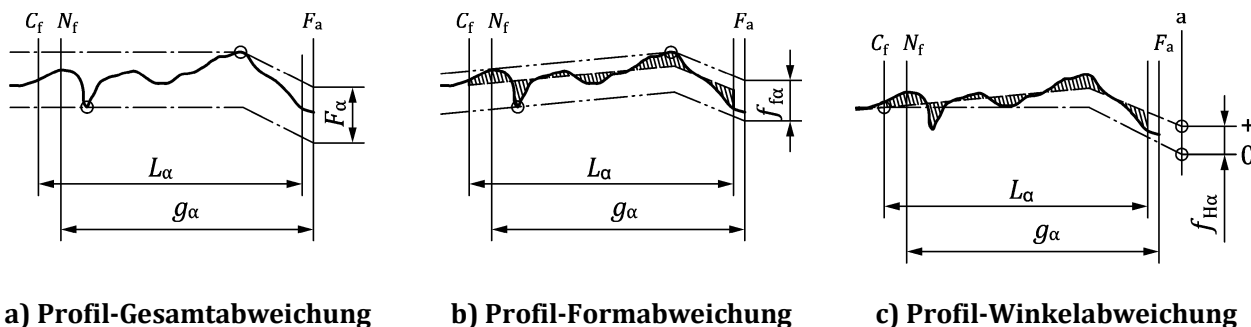
Siehe Legende von Bild 4.

Bild 5 — Profilabweichungen mit modifiziertem Eingriffswinkel



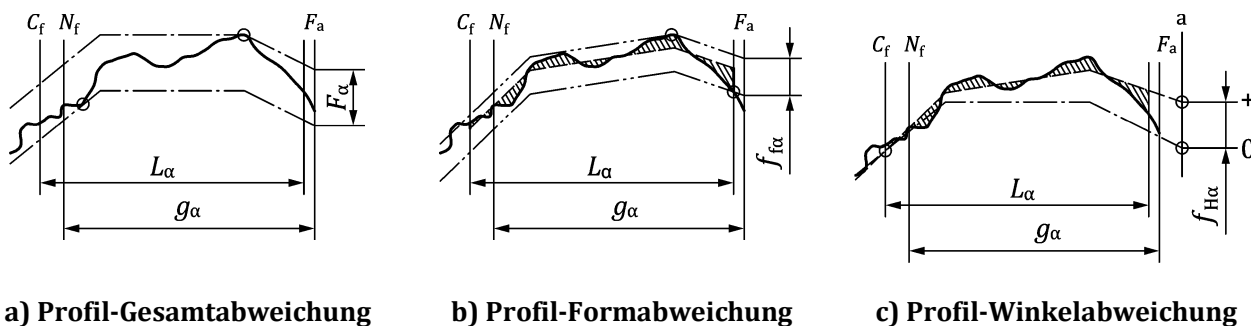
Siehe Legende von Bild 4.

Bild 6 — Profilabweichungen bei Profilballigkeit



Siehe Legende von Bild 4.

Bild 7 — Profilabweichungen bei einem Profil mit Kopfrücknahme



Siehe Legende von Bild 4.

Bild 8 — Profilabweichungen bei einem modifizierten Profil mit Kopf- und Fußrücknahme

3.4.2 Auswertung der Profilabweichungen

3.4.2.1

Sollprofil

Profil, das vom Konstrukteur in einem Diagramm festgelegt wird, und bei dem eine Achse Modifikationen gegenüber einer reinen Evolvente aufweist und auf der anderen Achse die Wälzlänge entlang der Tangente zum Grundkreis aufgetragen ist.

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn das Sollprofil nicht festgelegt ist, handelt es sich um eine unmodifizierte Evolvente, die als gerade Linie erscheint. In den Bildern 4 bis 8 sind die Sollprofile als unterbrochene Strich-(Punkt)-Linien dargestellt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe die Bilder 4 bis 8.

3.4.2.2

mittlere Profilinie

Gerade Linie (oder Kurve), die die Form des Sollprofils (3.4.2.1) darstellt, jedoch in die gemessene Profilinie über dem Profilauswertebereich (3.4.1.4) eingepasst ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe 4.4.8.2 für das anzuwendende Verfahren.

3.4.2.3

Profil-Gesamtabweichung

F_{α}

Abstand zwischen zwei Kopien des *Sollprofils* (3.4.2.1), die das *Messprofil* (3.4.1.3) über dem *Profilauswertebereich* (3.4.1.4) einschließen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Kopien des Sollprofils verlaufen parallel zum Sollprofil.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe die Bilder 4 bis 8 sowie 4.4.8.2.

3.4.2.4

Profil-Formabweichung

$f_{f\alpha}$

Abstand zwischen zwei Kopien der *mittleren Profillinie* (3.4.2.2), die das *Messprofil* (3.4.1.3) über dem *Profilauswertebereich* (3.4.1.4) einschließen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Kopien der mittleren Profillinie verlaufen parallel zur mittleren Profillinie.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe die Bilder 4 bis 8 sowie 4.4.8.2.

3.4.2.5

Profilwinkelabweichung

$f_{H\alpha}$

Abstand zwischen zwei Kopien des *Sollprofils* (3.4.2.1), welche die extrapolierte *mittlere Profillinie* (3.4.2.2) am *Profilkontrolldurchmesser* d_{cf} (3.4.1.1) und am *Kopfkreisdurchmesser* d_a schneiden

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Kopien des Sollprofils verlaufen parallel zum Sollprofil.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe die Bilder 4 bis 8.

3.5 Flankenlinienabweichungen

3.5.1 Flankenlinienabweichungen – Allgemeines

3.5.1.1

gemessene Flankenlinie

vollständige Flanke zwischen den Stirnflächen oder, sofern vorhanden, dem Beginn von Stirnkantenbruch, -rundung oder sonstigen Modifikationen, die darauf abzielen, den Teil des Zahns, mit dem der Taster während der Flankenlinienmessung in Berührung ist, vom Eingriff auszuschließen

3.5.1.2

Flankenlinien-Auswertebereich

Flankenbereich zwischen den Stirnflächen oder, sofern vorhanden, dem Beginn von Stirnkantenbruch, -rundung oder sonstigen Modifikationen, die darauf abzielen, den Teil des Zahns, vom Eingriff auszuschließen, der, sofern nicht anders festgelegt, in axialer Richtung an jedem Ende um entweder 5 % der Zahnbreite oder der Länge, die einem Modul entspricht, gekürzt ist, wobei der jeweils kleinere Wert gilt

Anmerkung 1 zum Begriff: Es liegt in der Verantwortung des Zahnrad-Konstrukteurs sicherzustellen, dass der Flankenlinien-Auswertebereich für die Anwendung angemessen ist.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe 4.4.8.4.

3.5.1.3

ausgewertete Länge der Flankenlinie

L_β

axiale Länge des *Flankenlinien-Auswertebereiches* (3.5.1.2)

3.5.1.4

Flankenlinienabweichung

Betrag, um den eine *gemessene Flankenlinie* (3.5.1.1) von der *Sollflankenlinie* (3.5.2.1) abweicht

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe die Bilder 9 bis 13.

3.5.2 Auswertung der Flankenlinienabweichungen

3.5.2.1

Sollflankenlinie

vom Konstrukteur in einem Diagramm festgelegte Flankenlinie, deren eine Achse Modifikationen gegenüber einer reinen Flankenlinie aufweist und deren andere Achse der Zahn längsrichtung entspricht

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn nicht festgelegt, handelt es sich um eine unmodifizierte Flankenlinie.

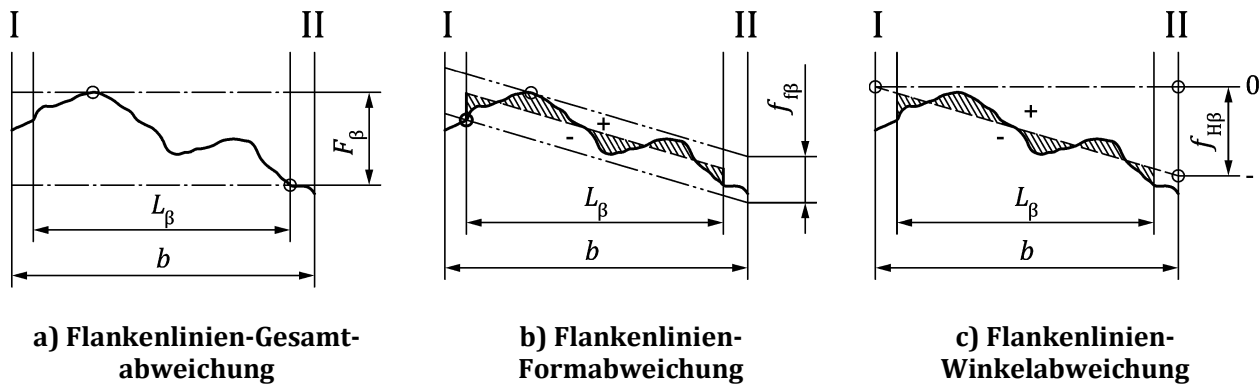
Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe die Bilder 9 bis 13.

3.5.2.2

mittlere Flankenlinie

Gerade (oder Kurve), die die Form der *Sollflankenlinie* (3.5.2.1) darstellt, jedoch zur gemessenen Flankenlinie eingepasst ist

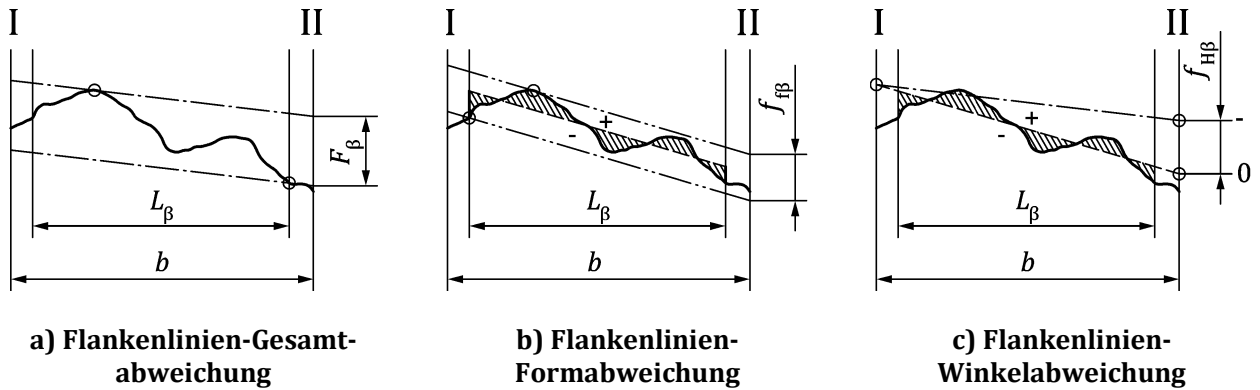
Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe 4.4.8.4 für das anzuwendende Verfahren.



Legende

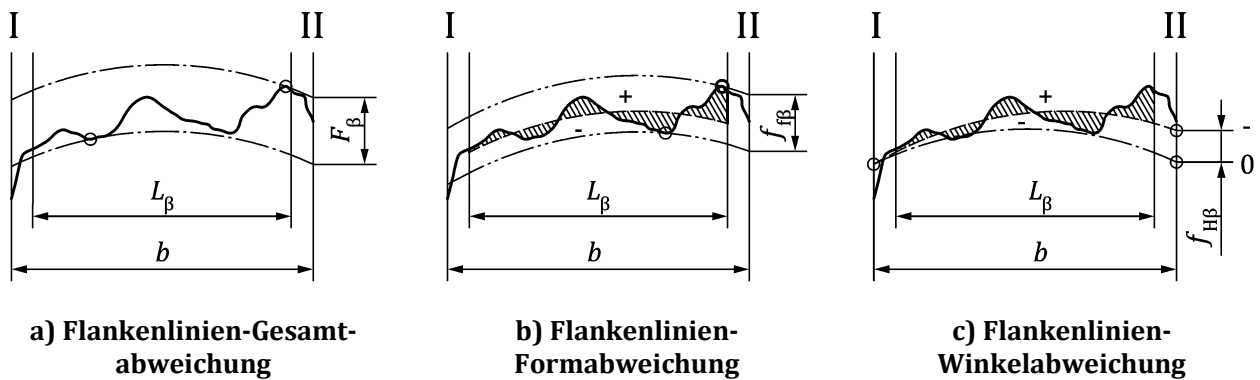
- gemessene Flankenlinie
- - - - - mittlere Flankenlinie
- Kopie der Sollflankenlinie
- Kopie der mittleren Flankenlinie

Bild 9 — Flankenlinienabweichungen bei unmodifizierter Flankenlinie



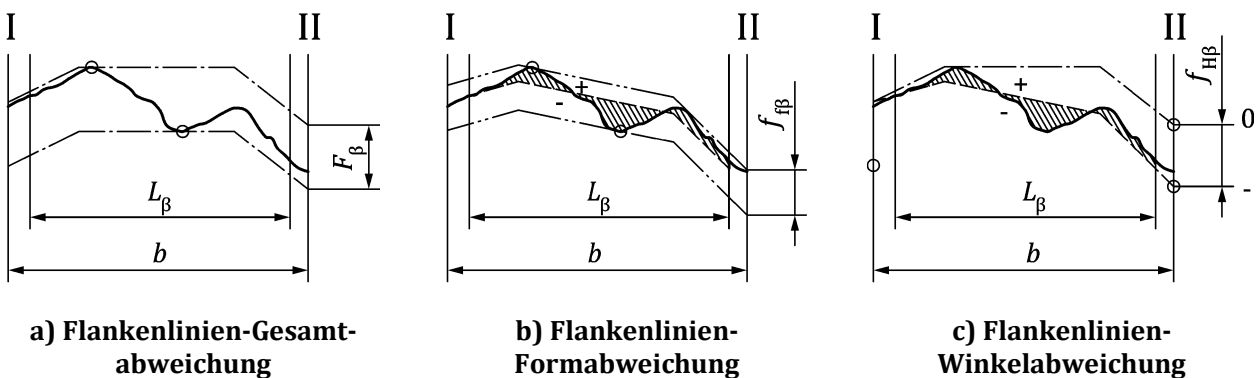
Siehe Legende zu Bild 9.

Bild 10 — Flankenlinienabweichungen mit Modifikation des Flankenlinienwinkels



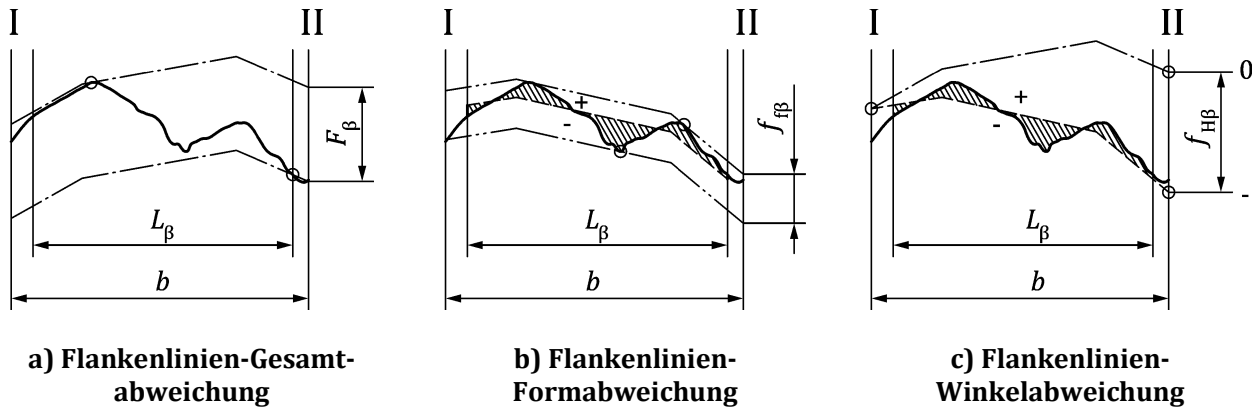
Siehe Legende zu Bild 9.

Bild 11 — Flankenlinienabweichungen bei Flankenlinienballigkeit



Siehe Legende zu Bild 9.

Bild 12 — Flankenlinienabweichungen bei Flankenlinien-Endrücknahmen



Siehe Legende zu Bild 9.

Bild 13 — Flankenlinienabweichungen mit modifiziertem Flankenlinienwinkel und Endrücknahme

3.5.2.3

Flankenlinien-Gesamtabweichung

F_β
Abstand zwischen zwei Kopien der *Sollflankenlinie* (3.5.2.1), die die *gemessene Flankenlinie* (3.5.1.1) über dem *Flankenlinien-Auswertebereich* (3.5.1.2) einschließen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Kopien der Sollflankenlinie verlaufen parallel zur Sollflankenlinie.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe die Bilder 9 bis 13 sowie 4.4.8.4.

3.5.2.4

Flankenlinien-Formabweichung

$f_{f\beta}$
Abstand zwischen zwei Kopien der *mittleren Flankenlinie* (3.5.2.2), die die *gemessene Flankenlinie* (3.5.1.1) über dem *Flankenlinien-Auswertebereich* (3.5.1.2) einschließen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Kopien der mittleren Flankenlinie verlaufen parallel zur mittleren Flankenlinie.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe die Bilder 9 bis 13 sowie 4.4.8.4.

3.5.2.5

Flankenlinien-Winkelabweichung

$f_{H\beta}$
Abstand zwischen zwei Kopien der *Sollflankenlinie* (3.5.2.1), welche die extrapolierte *mittlere Flankenlinie* (3.5.2.2) an den Endpunkten der Zahnbreite b schneiden

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Kopien der Sollflankenlinie verlaufen parallel zur Sollflankenlinie.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe die Bilder 9 bis 13.

Anmerkung 3 zum Begriff: Siehe 4.4.8.4 für das anzuwendende Verfahren.

4 ISO-System zur Flanken-Toleranzklassifizierung

4.1 Allgemeines

Dieser Teil von ISO 1328 legt Toleranzen für die Flankenklassifizierung fest und empfiehlt Messanforderungen für nicht montierte Zahnräder.

Manche Konstruktions- und Anwendungsfälle können Messungen oder Dokumentationen rechtfertigen, die üblicherweise bei Standard-Herstellungsprozessen nicht verfügbar sind. Besondere Anforderungen sind in den Vertragsunterlagen anzugeben.

Kein bestimmtes Mess- oder Dokumentationsverfahren wird als verpflichtend betrachtet, es sei denn, es wurde eigens zwischen dem Hersteller und dem Kunden vereinbart. Wenn für bestimmte Anwendungen Messungen erforderlich sind, die über die in diesem Teil von ISO 1328 empfohlenen hinausgehen, sind vor der Herstellung des Zahnrads spezielle Messverfahren zu vereinbaren.

Die in 4.6.1 festgelegte Bezeichnungsweise ist für die Festlegung der Flankentoleranzklassen nach diesem Teil von ISO 1328 zu verwenden, da in der vorherigen Ausgabe der Norm die Flankentoleranzklassen andere Toleranzwerte hatten.

4.2 Zu prüfende geometrische Parameter

Die in Tabelle 3 aufgeführten geometrischen Merkmale eines Zahnrades können mit einer Reihe von Verfahren gemessen werden. Die Wahl des jeweiligen Verfahrens hängt von der Größe der Toleranz, der zugehörigen Messunsicherheit, der Größe des Zahnrades, den Fertigungsmengen, der verfügbaren Ausrüstung, der Genauigkeit der Verzahnungsgrundkörper und den Kosten für die Messung ab. Die Messverfahren und -praktiken für Gerad- und Schrägverzahnungen werden in ISO/TR 10064-1 behandelt.

Tabelle 3 — Parameter — Stellen an denen Definitionen und Toleranzen angegeben sind

Parameter-symbol	Beschreibung der Messung	Angabe der Toleranzen	Angabe der Definition
Einzeltoleranzen:			
F_p	Teilungs-Gesamtabweichung	5.3.2	3.3.4
f_p	Stirneingriffsteilungs- Abweichung	5.3.1	3.3.2
F_α	Profil-Gesamtabweichung	5.3.3.3	3.4.2.3
$f_{f\alpha}$	Profil-Formabweichung	5.3.3.2	3.4.2.4
$f_{H\alpha}$	Profil-Winkelabweichung	5.3.3.1	3.4.2.5
F_β	Flanken- Liniengesamtabweichung	5.3.4.3	3.5.2.3
$f_{f\beta}$	Flankenlinien-Formabweichung	5.3.4.2	3.5.2.4
$f_{H\beta}$	Flankenlinien- Winkelabweichung	5.3.4.1	3.5.2.5
F_r	Rundlauf	E.4	E.3
F_{pk}	Teilungs-Sektorabweichung	D.5	D.2
f_u	Teilungssprung	G.2	G.1.2

Parameter-symbol	Beschreibung der Messung	Angabe der Toleranzen	Angabe der Definition
Wälzabweichungen:			
F_{is}	Einflanken-Wälzabweichung, gesamt	F.1.6	Anhang F
f_{is}	Einflanken-Wälzsprung	F.1.5	F.1.5
c_p	Tragbild (siehe ISO/TR 10064-4)	–	
Größe:			
s	Zahndicke (siehe ISO 21771)	–	

Ein Zahnrad, für das eine ISO-Flankentoleranzklasse festgelegt ist, muss alle einzelnen Toleranzanforderungen erfüllen, die für die in den Tabellen 4 und 5 zu den jeweiligen Flankentoleranzklassen und -größen angegeben sind.

Tabelle 4 enthält Auflistungen von Parametern, die mindestens auf Übereinstimmung mit diesem Teil von ISO 1328 zu überprüfen sind. Bei Vereinbarung zwischen dem Hersteller und dem Kunden darf anstatt der Standardliste die alternative Liste angewendet werden. Die Wahl der Standard- bzw. der alternativen Liste kann von den zur Verfügung stehenden Messgeräten abhängen. Bei der Beurteilung von Zahnradern darf die Parameterliste für eine genauere Flankentoleranzklasse angewendet werden.

Üblicherweise gelten die Toleranzen für beide Flanken der Zähne. In einigen Fällen kann die Lastflanke eine höhere Genauigkeit als die unbelastete oder minimal belastete Flanke aufweisen; sofern zutreffend sind diese Informationen sowie die Angabe der Lastflanke in der Konstruktionszeichnung des Zahnrades anzugeben.

Tabelle 4 — Zu messende Parameter

Durchmesser mm	Flankentoleranzklasse	Annehmbare Mindestparameter	
		Standard-Parameterliste	Alternative Parameterliste
$d \leq 4\,000$	10 bis 11	$F_p, f_p, s, F_\alpha, F_\beta$	$s, c_p^b, F_i''^a, f_i''^a$
	7 bis 9	$F_p, f_p, s, F_\alpha, F_\beta$	s, c_p^b, F_{is}, f_{is}
	1 bis 6	$F_p, f_p, s,$ $F_\alpha, f_{f\alpha}, f_{H\alpha}$ $F_\beta, f_{f\beta}, f_{H\beta}$	s, c_p^b, F_{is}, f_{is}
$d > 4\,000$	7 bis 11	$F_p, f_p, s, F_\alpha, F_\beta$	$F_p, f_p, s, (f_{f\beta} \text{ oder } c_p^b)$
^a Nach ISO 1328-2, jedoch nur dann, wenn die Größe keine Einschränkung darstellt. ^b Die Abnahmekriterien für das Tragbild und die Messpraktiken sind in diesem Teil von ISO 1328 nicht festgelegt und müssen zwischen Hersteller und Kunde vereinbart werden.			

Tabelle 5 — Mindestanzahl an Messungen

Bezeichnung des Verfahrens	Typisches Messverfahren	Mindestmessumfang
Einzeltoleranzen:		
F_p Teilungs-Gesamtabweichung	zwei Taster Einzeltaster	alle Zähne alle Zähne
f_p Teilungs-Einzelabweichung	zwei Taster Einzeltaster	alle Zähne alle Zähne
F_α Profil-Gesamtabweichung $f_{f\alpha}$ Profil-Formabweichung $f_{H\alpha}$ Profil-Winkelabweichung	Profil	drei Zähne
F_β Flankenlinien-Gesamtabweichung $f_{f\beta}$ Flankenlinien-Formabweichung $f_{H\beta}$ Flankenlinien-Winkelabweichung	Flankenlinie	drei Zähne
Wälzabweichungen:		
F_{is} Einflanken-Wälzabweichung, gesamt	–	alle Zähne
f_{is} Einflanken-Wälzsprung	–	alle Zähne
c_p Tragbild	–	drei Stellen
Größen:		
s Zahndicke	Messung der Zahndickensehne Messung über oder zwischen Rollen Zahnweitenmessung Wälzprüfung	drei Zähne zwei Stellen zwei Stellen alle Zähne

Sofern nichts anderes festgelegt ist, muss der Hersteller Folgendes auswählen:

- das anzuwendende Messverfahren aus den in ISO/TR 10064-1 beschriebenen und in Tabelle 5 zusammengefassten anwendbaren Verfahren;
- das Messmittel, die für das gewählte Messverfahren zu verwenden ist, vorausgesetzt, es ist ordnungsgemäß kalibriert;
- die einzelnen zu messenden Zähne, sofern sie sich in annähernd gleichem Abstand voneinander befinden und die Anforderungen an die Mindestanzahl nach dem jeweiligen in Tabelle 5 zusammengefassten Verfahren erfüllen.

4.3 Prüfung der Ausrüstung und Unsicherheit

Um die Rückverfolgbarkeit sicherzustellen, sollte die für die Messung von Zahnrädern verwendete Ausrüstung regelmäßig nach Normkalibrierungsverfahren wie z. B. nach ISO 18653 verifiziert werden. Die Unsicherheit des Messprozesses sollte ermittelt werden.

4.4 Betrachtungen hinsichtlich der Einzelmessungen

4.4.1 Zusammenfassung der Betrachtungen

Bevor die Einzelmesswerte mit den Toleranzwerten verglichen werden können, müssen bestimmte Betriebsparameter des Messverfahrens bekannt sein. Dazu zählen:

- die Bezugsachse;
- die Richtung der Messung;
- die Richtung der Toleranz;
- der Messkreisdurchmesser;
- die Datenfilterung;
- die Datendichte;
- die geforderten Messmethoden.

In einigen Fällen genügen die Messgeräte standardmäßig den Mindestanforderungen. Liegen andere Bedingungen vor, müssen die Ursachen der Messunterschiede bekannt sein und berücksichtigt werden.

Es ist wesentlich, zwischen der Messstelle (Messkreisdurchmesser), der Messrichtung und der Toleranzrichtung zu unterscheiden.

4.4.2 Bezugsachse

Zur Festlegung des Sollprofils, der Sollflankenlinie und der Teilung ist die Festlegung einer geeigneten Referenz-Rotationsachse erforderlich, die als Bezugsachse bezeichnet wird. Sie ist durch die Angabe von Bezugsflächen festgelegt. Siehe ISO/TR 10064-3.

Die Zahngeometrie wird mit Bezugnahme auf die Bezugsachse bestimmt, somit stellt die Bezugsachse den Bezug für Messungen und die zugehörigen Toleranzen dar. Die Lage und Ausrichtung des Messkreisdurchmessers werden durch die Bezugsachse festgelegt.

4.4.3 Messrichtung

Messungen der Form oder der Lage einer beliebigen Oberfläche können in einer Richtung erfolgen, die senkrecht zu dieser Oberfläche liegt, die unter einem bestimmten Winkel geneigt ist, oder entlang des Bogens eines bestimmten Kreises erfolgen.

Die übliche messtechnische Praxis ist es, die Messungen senkrecht zur zu messenden Oberfläche durchzuführen. In einem beliebigen Punkt auf der Zahnflanke ist der Normalenvektor wie folgt ausgerichtet:
a) tangential zum Grundzylinder des Rades; und b) in Bezug auf die Stirnschnittebene unter dem Grundschrägungswinkel geneigt.

Es ist zu beachten, dass Zahnradmessgeräte unterschiedliche Messverfahren anwenden, die teils senkrecht zur Flanke, teils in anderer Richtung messen.

4.4.4 Toleranzrichtung

In diesem Teil von ISO 1328 ändert sich die Toleranzrichtung mit dem gegebenen Einzelparаметer. Wenn sich die tatsächliche Messrichtung und die für den jeweiligen Parameter angegebene Toleranzrichtung

unterscheiden, müssen die ursprünglichen Messwerte angepasst werden. Siehe 4.4.8.2, 4.4.8.4 und 4.4.8.6 bezüglich Vorzeichenkonventionen und Angabe von Werten.

Die festgelegte Toleranzrichtung von Messungen für alle Teilungsabweichungen liegt in der Stirnschnittebene entlang des Bogens des Messkreisdurchmessers d_M .

Die festgelegte Toleranzrichtung für Profil- und Flankenlinienabweichungen liegt in der Stirnschnittebene auf einer Linie tangential zum Grundkreis.

4.4.5 Messkreisdurchmesser

Dieser Teil von ISO 1328 legt den Messkreisdurchmesser d_M wie in 3.2.2 festgelegt als den Ort für die Messung von Flankenlinien- und Teilungsparametern fest (siehe auch 4.4.3 und 4.4.4). Der Messkreisdurchmesser ist im Prüfprotokoll anzugeben. Da die Toleranzwerte auf der Grundlage des Teilkreisdurchmessers berechnet werden, bleiben sie bei einer Änderung des Messkreisdurchmessers unverändert.

Wenn der Messkreisdurchmesser nicht festgelegt ist, ist er wie folgt vorgegeben:

— für Außenräder:

$$d_M = d_a - 2 m_n \quad (1)$$

— für Innenräder:

$$d_M = d_a + 2 m_n \quad (2)$$

Dabei ist

d_M der Messkreisdurchmesser, in mm;

d_a der Kopfkreisdurchmesser, in mm;

m_n der Normalmodul, in mm.

4.4.6 Filterung der Messdaten

Jede Zahnoberfläche weist ein weites Spektrum von Abweichungen von der festgelegten Zahnflankenform auf. Eingeschlossen sind dabei an einem Ende Abweichungen mit langer Periode, wie z. B. eine konkave Flanke. Am anderen Ende des Spektrums sind Unregelmäßigkeiten mit kurzer Periode, wie z. B. die Oberflächenrauheit.

Dieser Teil von ISO 1328 verlangt die Modifikation der ursprünglichen Messwerte für die Auswertung des Evolventenprofils und der Flankenlinie, so dass ausschließlich langperiodische Unregelmäßigkeiten für die Auswertung und den Vergleich mit Toleranzen eingeschlossen sind. Diese Modifikation wird als Tiefpass-Filterung bezeichnet. Dadurch werden Unregelmäßigkeiten mit Wellenlängen, die kürzer sind als die festgelegte Grenzwellenlänge des Filters minimiert oder ausgeschlossen. Die in diesem Teil von ISO 1328 festgelegte Filter-Grenzwellenlänge ist die Grenzwellenlänge des Zahnradformfilters λ_α oder λ_β , wie in 3.2.3 bzw. 3.2.4 festgelegt. Die Grenzwellenlänge des Profilformfilters λ_α ist als Wälzwegstrecke anzugeben. Die Grenzwellenlänge des Flankenlinienformfilters λ_β ist in Richtung Zahnbreite anzugeben. Mithilfe der Gleichungen (3) und (4) kann die empfohlene Formfilter-Grenzwellenlänge berechnet werden. Längere Formfilter-Grenzwellenlängen dürfen nicht verwendet werden.

$$\lambda_{\alpha} = \frac{L_{\alpha}}{30} \quad (3)$$

jedoch nicht weniger als 0,25 mm;

$$\lambda_{\beta} = \frac{b}{30} \quad (4)$$

jedoch nicht kleiner als λ_{α} .

Dabei ist

λ_{α} die Grenzwellenlänge des Profilform-Filters, in mm;

λ_{β} die Grenzwellenlänge des Flankenlinienform-Filters, in mm.

Der verwendete Filtertyp und die Formfilter-Grenzwellenlängen λ_{α} und λ_{β} sind neben dem Tasterdurchmesser im Prüfprotokoll anzugeben. Es ist ein Gauß 50%-Filter erforderlich, der nach ISO/TS 16610-1 und ISO 16610-21 festgelegt ist.

WARNUNG — Es gibt einige Fälle, bei denen durch die Filterung auf der Grundlange der in den Gleichungen (3) und (4) empfohlenen Werte für die Formfilter-Grenzwellenlängen Formabweichungen unterdrückt werden, die für die Funktion des Zahnrades maßgebend sind. Vorhandene Formabweichungen mit einer Wellenlänge, die zwischen der empfohlenen Formfilter-Grenzwellenlänge und der für die Oberflächenrauheit verwendeten Filter-Grenzwellenlänge liegt, werden mitunter als Welligkeit bezeichnet. Sofern festgelegt sollten für die Auswertung derartiger Formabweichungen Formfilter-Grenzwellenlängen ausgewählt werden, die kürzer als die in den Gleichungen (3) und (4) festgelegten sind.

Siehe Anhang C für zusätzliche Informationen.

4.4.7 Messpunktdichte

Die Messpunktdichte ist eng mit der Filterung von Messdaten verbunden, da die Datenabtastrate die Wellenlänge der Oberflächenunregelmäßigkeiten begrenzt. Die Anzahl der im Auswertebereich enthaltenen Messpunkte muss im Prüfprotokoll angegeben werden. Datensätze zur Messung des Evolventenprofils müssen mindestens 150 Punkte enthalten, die in annähernd gleichmäßigem Abstand über der Wälzlänge liegen. Datensätze zur Messung der Flankenlinie müssen mindestens $5 \cdot b/\lambda_{\beta}$ Punkte umfassen. Wenn die Welligkeit zu überprüfen ist, muss der Datensatz mindestens 300 Punkte oder 5 Punkte je Millimeter umfassen, wobei der jeweils größere Wert gilt.

4.4.8 Erforderliche Mess- und Auswerteverfahren

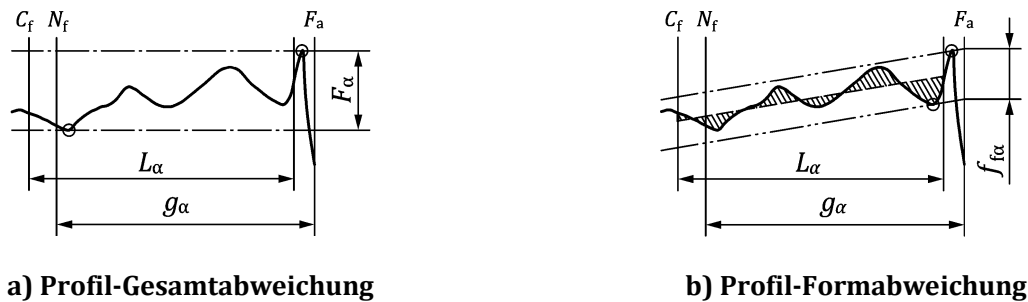
4.4.8.1 Profilmessung

Der Messtaster muss die gesamte Profillänge abfahren. Der Taster muss unterhalb des Profilkontrolldurchmessers beginnen und über den Kopfkantenbruch fahren.

4.4.8.2 Profilauswertung

Innerhalb des Profil-Auswertebereiches wird die lineare Steigung der Profilmessung bestimmt, indem die Methode der kleinsten Quadrate auf die Abweichung der gemessenen Profillinie vom festgelegten Sollprofil angewendet wird. Die Auswertung beginnt stets am Profilkontrolldurchmesser d_{cf} . Abweichungen, die durch vorstehendes Material außerhalb des Profil-Auswertebereiches in der Nähe des Zahnkopfes verursacht

werden, müssen in die Berechnung der Profil-Formabweichung $f_{f\alpha}$ und der Profil-Gesamtabweichung F_{α} einbezogen werden. Zu wenig Material außerhalb des Profil-Auswertebereiches in der Nähe des Zahnkopfes darf vernachlässigt werden (siehe Bild 14).



Legende

- Messprofil
- Sollprofil
- mittlere Profilinie
- Kopie der mittleren Profilinie

Punkte auf der Eingriffsgeraden

- C_f Profilkontrolle
- N_f Fuß-Nutzkreispunkt
- F_a Kopf-Formkreis, an dem der Kopfkantenbruch beginnt

Bild 14 — Profil mit vorstehendem Material

Die mittlere Profilinie wird bestimmt, indem die Ordinaten der linearen Steigung der Profilabweichung zu den Ordinaten des Sollprofils hinzugefügt werden. Die mittlere Profilinie wird zur Ermittlung von $f_{f\alpha}$ [siehe Bild 4 b), 5 b), 6 b), 7 b), 8 b) und 14 b)] und $f_{H\alpha}$ [siehe Bild 4 c), 5 c), 6 c), 7 c) und 8 c)] verwendet.

Sowohl für Innen- als auch für Außenräder gilt die Profil-Winkelabweichung als positiv und die entsprechende Abweichung des Eingriffswinkels als negativ, wenn die mittlere Profilinie einen Materialanstieg in Richtung des Zahnkopfes bezogen auf das Sollprofil zeigt.

Das Profil wird über den Profil-Auswertebereich beurteilt, zur Bestimmung der Profil-Winkelabweichung wird das Ergebnis jedoch bis zum Kopfkreisdurchmesser extrapoliert.

4.4.8.3 Flankenlinien-Messung

Der Messtaster muss die gesamte Zahnbreite zwischen den Stirnflächen abfahren, oder, sofern vorhanden, vom Beginn von Stirnkantenbruch, -rundung oder sonstigen Modifikationen, die darauf abzielen, diesen Teil des Zahns vom Eingriff auszuschließen.

4.4.8.4 Flankenlinien-Auswertung

Innerhalb des Flankenlinien-Auswertebereiches wird die lineare Steigung der Flankenlinienmessung erhalten, indem die Methode der kleinsten Quadrate auf die Abweichung der gemessenen Flankenlinie von der festgelegten Sollflankenlinie angewendet wird. Abweichungen, die durch vorstehendes Material außerhalb des Flankenlinien-Auswertebereiches verursacht werden, müssen in die Berechnung der Flankenlinien-Formabweichung $f_{f\beta}$ und der Flankenlinien-Gesamtabweichung F_{β} einbezogen werden. Zu wenig Material außerhalb des Flankenlinien-Auswertebereiches darf vernachlässigt werden (siehe Bild 15).

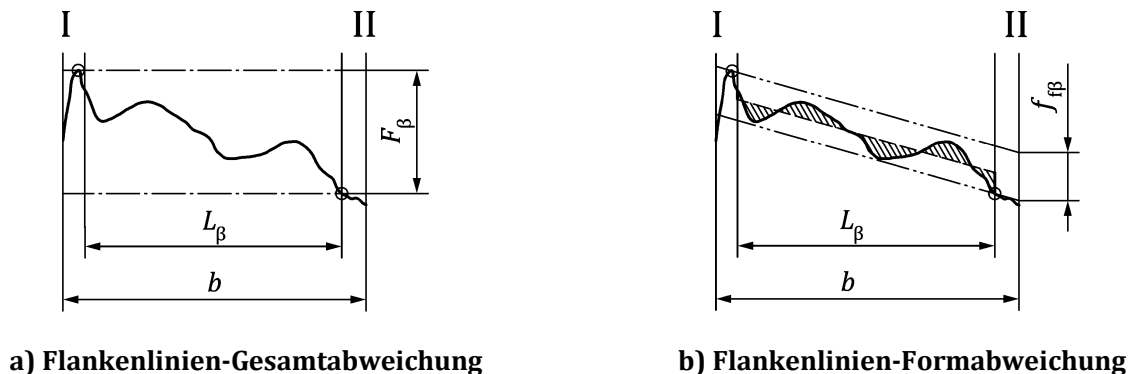


Bild 15 — Flankenlinie mit vorstehendem Material

Die mittlere Flankenlinie wird erhalten, indem die Ordinaten der linearen Steigung der Flankenlinienabweichung zu den Ordinaten der Sollflankenlinie hinzugefügt werden. Die mittlere Flankenlinie wird zur Ermittlung von $f_{f\beta}$ [siehe Bild 9 b), 10 b), 11 b), 12 b), 13 b) und 15 b)] und $f_{H\beta}$ [siehe Bild 9 c), 10 c), 11 c), 12 c) und 13 c)] verwendet.

Flankenlinien-Winkelabweichungen gelten als positiv, wenn die Absolutwerte der Schrägungswinkel größer als der Soll-Schrägungswinkel sind, und als negativ, wenn die Schrägungswinkel kleiner als der Soll-Schrägungswinkel sind. Die Flankenlinien-Winkelabweichungen von Geradverzahnungen gelten als + (positiv), wenn die Flankenrichtung rechtssteigend ist, und als - (negativ), wenn die Flankenrichtung linkssteigend ist.

4.4.8.5 Messstellen

Flankenlinienmessungen müssen am Messkreisdurchmesser durchgeführt werden. Teilungsmessungen müssen am Messkreisdurchmesser durchgeführt werden, es sei denn sie werden zur Auswertung der Zahndicke verwendet. In diesem Fall sollte der Berührkreisdurchmesser der für das gewählte Auswerteverfahren (Messung über/unter Rollen oder Kugelmessung, Messung der Zahndickensehne oder Zahnweite) geeignete Berührkreisdurchmesser sein. Unabhängig vom Messkreisdurchmesser ist der Teilkreisdurchmesser d für die Berechnung der Toleranzwerte nach Abschnitt 5 zu verwenden.

4.4.8.6 Bestimmung der Teilungsabweichungen

4.4.8.6.1 Einzelne Teilungs-Einzelabweichungen

Es wird nach dem Vorzeichen des Messwertes unterschieden. Ein Zustand, bei dem die tatsächliche Position der Zahnflanke näher an der vorangegangenen Zahnflanke ist als die theoretische Position wird als Minus(-)-Abweichung betrachtet. Ein Zustand, bei dem die tatsächliche Position der Zahnflanke weiter von der vorangegangenen Zahnflanke entfernt ist als die theoretische Position, wird als Plus(+)-Abweichung betrachtet.

4.4.8.6.2 Teilungs-Einzelabweichung

Dieser Wert wird ohne Vorzeichen angegeben. Er wird sowohl für die linke als auch die rechte Flanke im Prüfprotokoll gesondert aufgeführt.

4.4.8.6.3 Einzelne Teilungs-Summenabweichung

Je nach Richtung und Vorzeichen dieses Messwertes wird eine Unterscheidung vorgenommen. In der festgelegten Messpfadrichtung (im Uhrzeigersinn oder entgegen dem Uhrzeigersinn) wird ein Zustand, bei dem die tatsächliche Position der Zahnflanke näher an der Bezug Zahnflanke ist als die theoretische Position als Minus(-)-Abweichung betrachtet, anderenfalls handelt es sich um eine Plus(+)-Abweichung.

4.4.8.6.4 Teilungs-Gesamtabweichung

Hinsichtlich der Richtung oder des Vorzeichens dieses Messwertes wird keine Unterscheidung vorgenommen. Eine derartige Unterscheidung wäre eine vollkommen willkürliche Festlegung einer Richtung (im Uhrzeigersinn oder entgegen dem Uhrzeigersinn) zwischen den beiden Zähnen, die die Teilungs-Gesamtabweichung umfassen. Der Wert wird sowohl für die linke als auch für die rechte Flanke im Prüfprotokoll gesondert aufgeführt.

4.5 Zur Anwendung von Zahnflankentoleranzen

Die Angaben zur Anwendung der Zahnflankentoleranzen in der Zahnrad-Zeichnung oder Zahnrad-Spezifikation sollten Folgendes einschließen, jedoch nicht ausschließlich darauf beschränkt sein:

- ein Verweis auf diesen Teil von ISO 1328, d. h. ISO 1328-1:2013;
- die Flankentoleranzklasse jedes Toleranzparameters, die für jeden Parameter verschieden sein kann, sowie die nach diesem Teil von ISO 1328 berechneten Grenzwerte in Mikrometer;
- die für die Messung verwendete Bezugsachse (vorzugsweise die funktionale Bezugsachse, siehe ISO/TR 10064-3);
- die (für die Auswertung verwendete) funktionale Bezugsachse;
- Der Messkreisdurchmesser, sofern von der Empfehlung in 4.4.5 verschieden;
- Die Mindestanzahl der zu überprüfenden Zähne, sofern von der in Tabelle 5 empfohlenen Mindestzahl verschieden;
- die Sollform für Profil- oder Flankenlinien-Modifikationen, sofern gefordert;
- der Auswertebereich für die Profil- und Flankenlinien-Messung;
- der Profilkontrolldurchmesser (festgelegt als Durchmesser, Wälzlänge oder Wälzwinkel);
- zusätzliche Messanforderungen, z. B. Zahndicke (festgelegt als Dicke am r Teilkreisdurchmesser, Zahnweitenmessung oder Messung über Kugeln), Kopfkreis- und Fußkreisdurchmesser, Profil der Fußrundung, die Oberflächenrauheit der Zahnflanke.

Gewöhnlich werden diese Angaben in Form einer Wertetabelle festgelegt.

Der Konstrukteur darf den Profil-Kontrolldurchmesser so wählen, dass er an einer beliebigen Stelle zwischen dem Fuß-Formkreisdurchmesser und dem Fuß-Nutzkreisdurchmesser liegt. Der Fuß-Formkreisdurchmesser hängt entweder vom Unterschnitt-Durchmesser, dem Übergangspunkt zur Fußrundung, oder dem Grundkreisdurchmesser ab (je nachdem, welcher am nächsten zum Kopfkreisdurchmesser gelegen ist). Ist der Profilkontrolldurchmesser nicht festgelegt, wird der Fuß-Nutzkreisdurchmesser d_{Nf} anstelle des Profilkontrolldurchmessers verwendet. Wenn ein Zahnrad mit mehr als einem Gegenrad im Eingriff ist, sollte bei der Wahl des Profilkontrolldurchmessers der Fuß-Nutzkreisdurchmesser für jedes dieser Räder betrachtet werden.

4.6 Annahme- und Auswertekriterien

4.6.1 Bezeichnung der Flankentoleranzklasse

Die Bezeichnung/Festlegung einer Flankentoleranzklasse nach diesem Teil von ISO 1328 muss folgendermaßen erfolgen:

ISO 1328-1:2013, Klasse A

Dabei bezeichnet A die Soll-Flankentoleranzklasse.

ANMERKUNG Wenn das Jahr der Veröffentlichung nicht aufgeführt ist, gilt die neueste Fassung von ISO 1328-1.

4.6.2 Modifizierte Flankentoleranzklasse

Für ein gegebenes Zahnrad ist es zulässig, für jeden Toleranzparameter verschiedene Flankentoleranzklassen zu verwenden.

4.6.3 Toleranzen

Die Toleranzen werden für jeden Parameter, der für die Flankentoleranzklasse maßgeblich ist, nach den in Abschnitt 5 angegebenen Gleichungen berechnet.

4.6.4 Beurteilungskriterien

Es gelten die Toleranzen, Verfahren und Definitionen, die in diesem Teil von ISO 1328 enthalten sind, es sei denn, vertragliche Vereinbarungen zwischen dem Hersteller und dem Kunden enthalten spezielle Ausnahmen. Siehe ISO 18653, ISO/TR 10064-5 und ISO 14253-1 hinsichtlich einer Diskussion zur Messunsicherheit und darüber, wie die festgelegten Toleranzen anzuwenden sind.

4.6.5 Bestimmung der Flankentoleranzklasse

Die Gesamt-Flankentoleranzklasse eines Zahnrades wird durch die größte Flankentoleranzklasse bestimmt, die für einen für das Zahnrad festgelegten beliebigen Toleranzparameter nach diesem Teil von ISO 1328 gemessen wurde.

4.6.6 Zusätzliche Eigenschaften

Bei bestimmten Anwendungen kann es zusätzliche Anforderungen geben, für die zur Sicherstellung einer zufriedenstellenden Leistung Toleranzen erforderlich sein könnten. Wenn z. B. Abmessungen der Zahndicke oder Toleranzen für die Oberflächenbeschaffenheit wünschenswert sind, damit bei besonderen Anwendungen eine zufriedenstellende Leistung sichergestellt wird, sollten diese Abmessungen und Toleranzen auf Zeichnungen oder in den Kaufunterlagen erscheinen. In ISO/TR 10064-1 sowie in den Anhängen D bis G werden Verfahren zur Messung einiger dieser Parameter diskutiert.

4.7 Darstellung der Daten

Alle Darstellungen in diesem Teil von ISO 1328 zeigen, wie das Sollprofil oder das gemessene Profil von einer theoretischen reinen Evolvente mit dem Soll-Eingriffswinkel abweicht, oder wie die Soll- oder die gemessene Flankenlinie von einer theoretischen reinen Flankenlinie mit dem Soll-Schrägungswinkel abweicht. Die Darstellungen zeigen das Profil und die Flankenlinie im Allgemeinen als horizontale Linien, so dass keine Angabe der linken oder rechten Flanke oder der Innen- oder Außenverzahnung erforderlich ist. Die meisten Messgeräte stellen das Profil und die Flankenlinie als vertikale Linien dar; die Ausrichtung ist nicht von Bedeutung.