

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEUREThermoplastische Zahnräder
Stirnradgetriebe
Tragfähigkeitsberechnung
Thermoplastic gear wheels
Cylindrical gears
Calculation of the load-carrying capacity

VDI 2736

Blatt 2 / Part 2

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English*Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.**The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.*

Inhalt	Seite
Vorbemerkung	2
1 Anwendungsbereich	2
2 Formelzeichen, Indizes und Abkürzungen	2
3 Tragfähigkeitsberechnung	5
3.1 Entwurfsberechnung	6
3.2 Nachrechnung für Ermüdungsbeanspruchung	8
3.3 Nachrechnung für Spitzenlasten	20
3.4 Getriebewirkungsgrad	21
4 Flussdiagramm	21
Anhang A Beispiele	25
A1 Aufgabe 1 – Exzenterpresse	25
A2 Aufgabe 2 – Antrieb der Transportwalzen eines Kopiergeräts	26
A3 Aufgabe 3 – Antrieb der Transportwalzen eines Kartenlesegeräts	27
Anhang B Erläuterung der Gleichungen	30
Schrifttum	38

Contents	Page
Preliminary note	2
1 Scope	2
2 Symbols, indices and abbreviations	2
3 Calculation of load-carrying capacity	5
3.1 Design calculation	6
3.2 Check calculation for fatigue loading	8
3.3 Check calculation for peak loads	20
3.4 Transmission efficiency	21
4 Flow chart	21
Annex A Examples	25
A1 Task 1 – Eccentric press	25
A2 Task 2 – Drive for the feed rollers of a photocopier	26
A3 Task 3 – Drive for the feed rollers of a card reader	27
Annex B Commentary on the equations	30
Bibliography	38

VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (GPP)

Fachbereich Getriebe und Maschinenelemente

VDI-Handbuch Getriebetechnik II: Gleichförmig übersetzte Getriebe

[This is a preview. Click here to purchase the full publication.](#)

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser VDI-Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi.de/richtlinien), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser VDI-Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/2736.

1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie gilt für Stirnradgetriebe mit gerad- und schrägverzahnten Rädern aus thermoplastischen Werkstoffen mit den Bezugsprofilen nach DIN 867 und DIN 58400 sowie mit Moduln ab 0,1 mm. Sie beinhaltet die Tragfähigkeitsberechnung unter Beachtung der speziellen Eigenschaften dieser Werkstoffe. Angaben zu denselben und Herstellverfahren einschließlich der erreichbaren Herstellgenauigkeit und Hinweise zur Prüfung der Stirnräder sowie Regeln für das konstruktive Gestalten und zu Zeichnungsangaben enthält VDI 2736 Blatt 1. Da sowohl im Maschinenbau als auch in der Feinwerktechnik daneben auch Stirnradgetriebe mit Rädern aus Schichtpressstoffen (Hartgewebe – Hgw) zum Einsatz kommen und dafür keine technische Regel existiert, wird in dieser Richtlinie mit Anmerkungen auf die Besonderheiten bei deren Berechnung hingewiesen.

2 Formelzeichen, Indizes und Abkürzungen

Formelzeichen

In dieser Richtlinie werden die nachfolgend aufgeführten Formelzeichen verwendet:

Formelzeichen	Benennung	Einheit
A_G	wärmeabführende Oberfläche des Getriebegehäuses	m ²
a	Achsabstand	mm
b	Zahnbreite	mm
b_w	gemeinsame Zahnbreite	mm
b/m_n	Breitenverhältnis	–

Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions specified in the VDI Notices (www.vdi.de/richtlinien).

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this standard.

A catalogue of all available parts of this series of standards can be accessed on the Internet at www.vdi.de/2736.

1 Scope

This standard applies to cylindrical gears with straight or helical-cut gears made of thermoplastic materials with reference profiles in accordance with DIN 867 and DIN 58400 as well as with modules of 0,1 mm and above. It includes details of calculating load-carrying capacity which also takes into account the special properties of these materials. Information about this and manufacturing processes, including the precision achievable in manufacturing, information about inspecting cylindrical gears, and rules relating to their design and the information provided on drawings will be found in VDI 2736 Part 1. Since cylindrical gears with gears made of laminates ("Hgw", that is, fabric-based laminate) are used in mechanical engineering and also in precision engineering and no corresponding technical rules exist, the present standard will in the form of comments draw attention to special aspects applicable to their calculation.

2 Symbols, indices and abbreviations

Symbols

The following symbols are used throughout this standard:

Symbol	Term	Unit
A_G	heat-dissipating surface of the mechanism housing	m ²
a	centre distance	mm
b	face width	mm
b_w	common face width	mm
b/m_n	width ratio	–

Formelzeichen	Benennung	Einheit
d	Teilkreisdurchmesser	mm
d_a	Kopfkreisdurchmesser	mm
d_b	Grundkreisdurchmesser	mm
d_w	Wälzkreisdurchmesser	mm
d_{Na}	Kopfnutzkreisdurchmesser	mm
d_{Nf}	Fußnutzkreisdurchmesser	mm
E	Elastizitätsmodul	N/mm ²
ED	relative Einschaltzeit bezogen auf zehn Minuten	–
$F_{n, \text{lokal}}$	Zahnnormalkraft im Kontakt	N
F_t	Nennumfangskraft	N
$F_{t,s}$	Umfangsspitzenkraft	N
H_V	Zahnverlustgrad	–
h_{aP}	Kopfhöhe des Bezugsprofils der Verzahnung	mm
h_{fP}	Fußhöhe des Bezugsprofils der Verzahnung	mm
K_A	Anwendungsfaktor für Ermüdungsbelastung	–
K_F	Faktor für Zahnfußbeanspruchung	–
K_{Fa}	Stirnfaktor (Zahnfuß)	–
$K_{F\beta}$	Breitenfaktor (Zahnfuß)	–
K_H	Faktor für Zahnflankenbeanspruchung	–
$K_{H\alpha}$	Stirnfaktor (Zahnflanke)	–
$K_{H\beta}$	Breitenfaktor (Zahnflanke)	–
K_v	Dynamikfaktor	–
k_g	Wärmeübergangsbeiwert des Kunststoffrads	K·(m/s) ^{0,75} ·mm ^{1,75} /W
k_W	Verschleißkoeffizient	10 ⁻⁶ mm ³ /(N·m)
l_{Fl}	Profillinienlänge der aktiven Zahnflanke	mm
m_n	Normalmodul	mm
m_t	Stirnmodul	mm
N_L	Lastwechselzahl	–
N_{sp}	Lastwechselzahl bei Spitzenmoment	–
n	Drehzahl	1/min
P	Nennleistung	W
R_z	gemittelte Rautiefe	µm
$R_{\lambda, G}$	Wärmeübergangswiderstand des Getriebegehäuses	K·m ² /W
$S_{F, \text{Entwurf}}$	Entwurfssicherheit Zahnfuß	–
S_{Fmin}	geforderte Mindestsicherheit Zahnfuß	–

Symbol	Term	Unit
d	reference circle diameter	mm
d_a	addendum circle diameter	mm
d_b	base circle diameter	mm
d_w	pitch circle diameter	mm
d_{Na}	usable addendum circle diameter	mm
d_{Nf}	usable root circle diameter	mm
E	modulus of elasticity	N/mm ²
ED	relative tooth-engagement time with respect to ten minutes	–
$F_{n, \text{lokal}}$	normal force on the tooth at the contact	N
F_t	nominal tangential force	N
$F_{t,s}$	peak tangential force	N
H_V	degree of tooth loss	–
h_{aP}	addendum of the reference profile of the gear teeth	mm
h_{fP}	dedendum of the reference profile of the gear teeth	mm
K_A	application factor for fatigue load	–
K_F	factor for tooth root load	–
K_{Fa}	face factor (tooth root)	–
$K_{F\beta}$	width factor (tooth root)	–
K_H	factor for tooth flank loading	–
$K_{H\alpha}$	face factor (tooth flank)	–
$K_{H\beta}$	width factor (tooth flank)	–
K_v	dynamic factor	–
k_g	heat transfer coefficient of the plastic gear	K·(m/s) ^{0,75} ·mm ^{1,75} /W
k_W	wear coefficient	10 ⁻⁶ mm ³ /(N·m)
l_{Fl}	profile line length of the active tooth flank	mm
m_n	normal module	mm
m_t	transverse module	mm
N_L	number of load cycles	–
N_{sp}	number of load cycles at peak torque	–
n	speed	1/min
P	nominal output	W
R_z	averaged peak-to-valley height	µm
$R_{\lambda, G}$	heat transfer resistance of the mechanism housing	K·m ² /W
$S_{F, \text{Entwurf}}$	design safety factor, tooth root	–
S_{Fmin}	minimum resistance required, tooth root	–

Formelzeichen	Benennung	Einheit
$S_{H,Entwurf}$	Entwurfssicherheit Zahnflanke	–
S_{Hmin}	geforderte Mindestsicherheit Zahnflanke	–
S_{Smin}	geforderte Mindestsicherheit gegen Überschreitung der Streckgrenze	–
T_d	Nennndrehmoment	N·m
T_{sp}	Spitzendrehmoment	N·m
u	Zähnezahlverhältnis	–
v_t	Umfangsgeschwindigkeit	m/s
W_{lokal}	lokaler linearer Verschleiß	mm
W_m	gemittelter linearer Verschleiß	mm
W_{zul}	zulässiger linearer Verschleiß	mm
x	Profilverschiebungsfaktor	–
Y_{Fa}	Formfaktor	–
Y_{Sa}	Spannungskorrekturfaktor (Kerbwirkung)	–
Y_{St}	Spannungskorrekturfaktor (Festigkeit)	–
Y_β	Schrägenfaktor	–
Y_ϵ	Überdeckungsfaktor	–
Z_E	Elastizitätsfaktor	(N/mm ²) ^{0,5}
Z_H	Zonenfaktor	–
Z_R	Rauheitsfaktor	–
Z_β	Schrägenfaktor	–
Z_ϵ	Überdeckungsfaktor	–
z_i	Zähnezahl ($i = 1, 2$)	–
α	Eingriffswinkel	°
α_n	Eingriffswinkel im Normal-schnitt	°
α_t	Eingriffswinkel im Stirnschnitt	°
α_{wt}	Betriebseingriffswinkel im Stirnschnitt	°
β	Schrägungswinkel am Teilkreis	°
β_b	Schrägungswinkel am Grund-kreis	°
ϑ_0	Umgebungstemperatur	°C
$\vartheta_{Fuß}$	Zahnfußtemperatur	°C
ϑ_{Fla}	Zahnflankentemperaturkennwert	°C
ϑ_{zul}	zulässige Spitzentemperatur	°C
$\varepsilon_1, \varepsilon_2$	Teil-Profilüberdeckung von Ritzel, Rad	–
ε_α	Profilüberdeckung	–
ε_β	Sprungüberdeckung	–
λ	Verformung	mm

Symbol	Term	Unit
$S_{H,Entwurf}$	design safety factor, tooth flank	–
S_{Hmin}	minimum resistance required, tooth flank	–
S_{Smin}	minimum safety factor re-quired for exceeding the yield point	–
T_d	nominal torque	N·m
T_{sp}	peak torque	N·m
u	gear ratio	–
v_t	tangential velocity	m/s
W_{lokal}	local linear wear	mm
W_m	averaged linear wear	mm
W_{zul}	permissible linear wear	mm
x	addendum modification coef-ficient	–
Y_{Fa}	form factor	–
Y_{Sa}	stress correction factor (notch effect)	–
Y_{St}	stress correction factor (strength)	–
Y_β	helix angle factor	–
Y_ϵ	contact ratio factor	–
Z_E	elasticity factor	(N/mm ²) ^{0,5}
Z_H	zone factor	–
Z_R	surface roughness factor	–
Z_β	spiral angle factor	–
Z_ϵ	contact ratio factor	–
z_i	number of teeth ($i = 1, 2$)	–
α	pressure angle	°
α_n	pressure angle in the normal section	°
α_t	pressure angle in the trans-verse section	°
α_{wt}	operating pressure angle in the transverse section	°
β	helix angle at the reference circle	°
β_b	helix angle at the base circle	°
ϑ_0	ambient temperature	°C
$\vartheta_{Fuß}$	root temperature	°C
ϑ_{Fla}	flank temperature characteris-tic	°C
ϑ_{zul}	permissible peak temperature	°C
$\varepsilon_1, \varepsilon_2$	partial contact ratio of pinion, gear	–
ε_α	radial contact ratio	–
ε_β	overlap contact ratio	–
λ	deformation	mm

Formelzeichen	Benennung	Einheit
λ_{zul}	zulässige Verformung	mm
μ	Reibbeiwert	–
ν	Querkontraktionszahl	–
ρ_{IP}	Fußrundung am Bezugsprofil der Verzahnung	mm
σ_{S}	Streckgrenze	N/mm ²
σ_{F}	Zahnfußspannung	N/mm ²
σ_{FG}	Zahnfußgrenzfestigkeit	N/mm ²
σ_{FlimN}	Zeitschwellfestigkeit (Nennspannung)	N/mm ²
σ_{FP}	zulässige Zahnfußspannung	N/mm ²
$\sigma_{\text{FP,s}}$	zulässige örtliche Zahnfußspannung bei Spitzendrehmoment	N/mm ²
$\sigma_{\text{F,s}}$	örtliche Zahnfußspannung bei Spitzendrehmoment	N/mm ²
$\sigma_{\text{Fü}}$	überschlägiger Festigkeitswert	N/mm ²
σ_{HlimN}	Zeitwälfzfestigkeit	N/mm ²
σ_{H}	Flankenpressung (Pressung nach <i>Hertz</i>)	N/mm ²
σ_{HP}	zulässige Flankenpressung	N/mm ²
ω	Winkelgeschwindigkeit	1/s
ζ	lokales spezifisches Gleiten	–

Indizes

In dieser Richtlinie werden die nachfolgend aufgeführten Indizes verwendet:

- 1 Ritzel
- 2 Rad

Abkürzungen

In dieser Richtlinie werden die nachfolgend aufgeführten Abkürzungen verwendet:

- GF Glasfaser
- PA Polyamid
- PBT Polybutylenterephthalat
- POM Polyoxymethylen

3 Tragfähigkeitsberechnung

Die Tragfähigkeitsberechnung von Stirnrädern aus Thermoplasten lehnt sich an die für metallische Werkstoffe geltende DIN 3990 an [1 bis 4].

Es wird empfohlen, die Nachrechnung der Tragfähigkeit für die mittige Lage der Bauteile im Toleranzbereich durchzuführen.

Thermoplaste weisen im Vergleich zu Metallen einige Besonderheiten auf, z. B.

- Abhängigkeit der mechanischen Festigkeit von der Betriebstemperatur sowie von der Belastungshöhe, -zeit und -geschwindigkeit,

Symbol	Term	Unit
λ_{zul}	permissible deformation	mm
μ	coefficient of friction	–
ν	Poisson's ratio	–
ρ_{IP}	fillet on the reference profile of the gear teeth	mm
σ_{S}	yield point	N/mm ²
σ_{F}	root stress	N/mm ²
σ_{FG}	maximum root strength	N/mm ²
σ_{FlimN}	fatigue strength under pulsating stress (nominal stress)	N/mm ²
σ_{FP}	permissible root stress	N/mm ²
$\sigma_{\text{FP,s}}$	permissible local root stress under peak torque	N/mm ²
$\sigma_{\text{F,s}}$	local root stress under peak torque	N/mm ²
$\sigma_{\text{Fü}}$	approximate strength value	N/mm ²
σ_{HlimN}	rolling contact fatigue strength	N/mm ²
σ_{H}	flank pressure (Hertz stress)	N/mm ²
σ_{HP}	permissible flank pressure	N/mm ²
ω	angular velocity	1/s
ζ	local specific sliding	–

Indices

The following indices are used throughout this standard:

- 1 pinion
- 2 gear

Abbreviations

The following abbreviations are used throughout this standard:

- GF glass fibre
- PA polyamide
- PBT polybutylene terephthalate
- POM polyoxymethylene

3 Calculation of load-carrying capacity

Calculation of the load-carrying capacity of thermoplastic cylindrical gears is based on DIN 3990 which applies to metallic materials [1 to 4].

It is recommended that a check calculation of the load-carrying capacity be made for the central position of the components within the tolerance field.

In comparison with metals, thermoplastics have a number of special features, for example,

- the dependence of their mechanical strength on operating temperature as well as on the level, time and speed of loading,