

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEUREThermoplastische Zahnräder
Ermittlung von Tragfähigkeitskennwerten
an Zahnrädern
Thermoplastic gear wheels
Determination of strength parameters on gears

VDI 2736

Blatt 4 / Part 4

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 und Abkürzungen	2
3 Vorgehensweise zur Ermittlung der Werkstoffkennwerte	5
3.1 Versuchsaufbau und Planung	6
3.2 Wärmeübergangsbeiwerte k_g	6
3.3 Zeitschwellfestigkeit σ_{FlimN} , Scherschwellfestigkeit τ_{Flim}	7
3.4 Zeitwältfestigkeit σ_{HlimN} , zulässige Flankenpressung σ_{HP}	8
3.5 Verschleißkoeffizient k_w bei Stirnradgetrieben	8
4 Statistische Auswertung der Tragfähigkeitsversuche	8
5 Zahnradprüfstände	10
5.1 Nicht mechanisch verspannter Prüfstand	10
5.2 Mechanisch verspannter Prüfstand	11
5.3 Pulsatorprüfstand	12
6 Referenzverzahnungen	13
7 Bestimmung der Werkstoffkennwerte, Betriebsbedingungen	13
8 Weitere Hinweise zu den Messungen	14
8.1 Anwendbarkeit der Messungen	14
8.2 Temperatur	16
8.3 Reibbeiwert μ und Verzahnungswirkungsgrad η_z	19
8.4 Effiziente Bestimmung von sinnvollen Drehmomenten	20
8.5 Verschleiß bei Stirnradgetrieben	21
Schrifttum	23

Contents	Page
Preliminary note	2
1 Scope	2
2 Symbols and abbreviations	2
3 Procedure for determining material characteristic values	5
3.1 Test set-up and planning	6
3.2 Heat transfer coefficients k_g	6
3.3 Fatigue strength under pulsating stress σ_{FlimN} , shear fatigue strength τ_{Flim}	7
3.4 Rolling contact fatigue strength σ_{HlimN} , permissible flank pressure σ_{HP}	8
3.5 Wear coefficient k_w in the case of cylindrical gears	8
4 Statistical assessment of the strength tests	8
5 Gear test rigs	10
5.1 Non-mechanically closed loop test rig	10
5.2 Mechanically closed loop test rig	11
5.3 Pulsator test rig	12
6 Reference tooth systems	13
7 Determining material characteristic values, operating conditions	13
8 Further information on measurements	14
8.1 Applicability of the measurements	14
8.2 Temperature	16
8.3 Coefficient of friction μ and gear-mesh efficiency η_z	19
8.4 Efficient determination of appropriate torques	20
8.5 Wear in cylindrical gears	21
Bibliography	23

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 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 Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

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

1 Anwendungsbereich

Die Richtlinie beschreibt die Ermittlung von tragfähigkeitsrelevanten Kennwerten und Temperaturen sowie des Wirkungsgrads bei Stirnrad- und Schraubradgetrieben. Es wird eine einheitliche Methode zur statistischen Auswertung der Versuchsergebnisse definiert, um die Vergleichbarkeit der Resultate von verschiedenen Versuchsreihen zu ermöglichen.

2 Formelzeichen und Abkürzungen

Formelzeichen

In dieser Richtlinie werden die nachfolgend aufgeführten Formelzeichen verwendet:

Formelzeichen	Bezeichnung	Einheit
A_G	wärmeabführende Oberfläche des Getriebegehäuses	m^2
A_τ	Schubquerschnitt	mm^2
a	Achsabstand	mm
a_h	große Halbachse der Druckellipse	mm
b	Zahnbreite	mm
b_h	kleine Halbachse der Druckellipse	mm
b_w	gemeinsame Zahnbreite	mm
b_1	Zahnbreite Rad 1	mm
b_2	Zahnbreite Rad 2	mm
D_{Meff}	Messkugeldurchmesser	mm
d_1	Teilkreisdurchmesser Rad 1	mm
d_2	Teilkreisdurchmesser Rad 2	mm
d_{a1}	Kopfkreisdurchmesser Rad 1	mm
d_{a2}	Kopfkreisdurchmesser Rad 2	mm

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 (www.vdi.de/richtlinien) specified in the VDI Notices.

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 describes the determination of strength-relevant characteristic values and temperatures as well as efficiency in cylindrical and crossed-helical gears. A uniform method for a statistical evaluation of test results is defined thereby making it possible to compare results from different test series.

2 Symbols and abbreviations

Symbols

The following symbols are used throughout this standard:

Symbol	Designation	Unit
A_G	heat-dissipating surface of the mechanism housing	m^2
A_τ	shearing section	mm^2
a	centre distance	mm
a_h	major semi-axis of the contact ellipse	mm
b	face width	mm
b_h	minor semi-axis of the contact ellipse	mm
b_w	common face width	mm
b_1	face width, gear 1	mm
b_2	face width, gear 2	mm
D_{Meff}	measuring ball diameter	mm
d_1	reference diameter, gear 1	mm
d_2	reference diameter, gear 2	mm
d_{a1}	addendum circle diameter, gear 1	mm
d_{a2}	addendum circle diameter, gear 2	mm

Formelzeichen	Bezeichnung	Einheit
d_{f1}	Fußkreisdurchmesser Rad 1	mm
d_{f2}	Fußkreisdurchmesser Rad 2	mm
d_{s2}	Schraubkreisdurchmesser Rad 2	mm
ED	relative Einschaltdauer bezogen auf zehn Minuten	–
F	Pulsatorkraft	N
$F_{n, \text{lokal}}$	Zahnnormalkraft im Kontakt	N
F_t	Nennumfangskraft	N
F_{t2}	Umfangskraft am Rad	N
f	Frequenz	1/s
$f_{\text{f}\beta}$	Flankenlinien-Formabweichung	μm
H_V	Zahnverlustgrad	–
h^*_{aP}	Kopfhöhenfaktor des Bezugsprofils der Verzahnung	–
h^*_{fP}	Fußhöhenfaktor des Bezugsprofils der Verzahnung	–
i	Übersetzung	–
k_g	Wärmeübergangsbeiwert des Kunststoffrads	$\text{K} \cdot (\text{m/s})^{0,75} \cdot \text{mm}^{1,75}/\text{W}$
k_W	Verschleißkoeffizient	$10^{-6} \text{mm}^3/(\text{N} \cdot \text{m})$
L_{ij}	$\log_{10} N_{ij}$	–
$L_{i,10\%}$	logarithmierte Schätzung von $N_{i,10\%}$	–
$L_{i,50\%}$	logarithmierte Schätzung von $N_{i,50\%}$	–
m_n	Normalmodul	mm
M_{dk}	Zweikugelmaß	mm
M_W	Masseverlust	g
N_L	Lastwechselzahl	–
$N_{i,10\%}$	ertragbare Lastwechselzahl, i -ter Versuch, 10 % Versagenswahrscheinlichkeit	–
$N_{i,50\%}$	ertragbare Lastwechselzahl, i -ter Versuch, 50 % Versagenswahrscheinlichkeit	–
N_{ij}	Bruchlastwechselzahl	–
n_{an}	Drehzahl Antrieb	1/min
n_{Motor}	Drehzahl Motor	1/min
n_p	Anzahl Versuche (Temperatur-Drehmoment-Paare)	–
n_{wi}	Anzahl Wiederholungen des i -ten Versuchs	–
P	Nennleistung	W
P_{ab}	Leistung am Abtrieb	W
P_{an}	Leistung am Antrieb	W
P_{Motor}	Leistung am Motor	W
P_V	Gesamtverlustleistung	W

Symbol	Designation	Unit
d_{f1}	root diameter, gear 1	mm
d_{f2}	root diameter, gear 2	mm
d_{s2}	helical circle diameter, gear 2	mm
ED	relative tooth-engagement time with respect to ten minutes	–
F	pulsator force	N
$F_{n, \text{lokal}}$	normal force on the tooth at the contact	N
F_t	nominal tangential force	N
F_{t2}	peripheral force on gear	N
f	frequency	1/s
$f_{\text{f}\beta}$	tooth-trace form deviation	μm
H_V	degree of tooth loss	–
h^*_{aP}	addendum factor of the reference profile of the gear teeth	–
h^*_{fP}	dedendum factor of the reference profile of the gear teeth	–
i	transmission ratio	–
k_g	heat transfer coefficient of the plastic gear	$\text{K} \cdot (\text{m/s})^{0,75} \cdot \text{mm}^{1,75}/\text{W}$
k_W	wear coefficient	$10^{-6} \text{mm}^3/(\text{N} \cdot \text{m})$
L_{ij}	$\log_{10} N_{ij}$	–
$L_{i,10\%}$	logarithmized estimate of $N_{i,10\%}$	–
$L_{i,50\%}$	logarithmized estimate of $N_{i,50\%}$	–
m_n	normal module	mm
M_{dk}	diametral dimension between balls	mm
M_W	loss of mass	g
N_L	number of load cycles	–
$N_{i,10\%}$	sustainable number of load cycles, i -th test, 10 % probability of failure	–
$N_{i,50\%}$	sustainable number of load cycles, i -th test, 50 % probability of failure	–
N_{ij}	number of load cycles to failure	–
n_{an}	speed of drive	1/min
n_{Motor}	speed of motor	1/min
n_p	number of tests (temperature-torque pairs)	–
n_{wi}	number of repetitions of the i -th test	–
P	nominal output	W
P_{ab}	power at output	W
P_{an}	power at input	W
P_{Motor}	power at motor	W
P_V	total power loss	W

Formelzeichen	Bezeichnung	Einheit
P_{V0}	lastunabhängige Verluste	W
P_{VD}	lastunabhängige Dichtungsverlustleistung	W
P_{VL0}	lastunabhängige Lagerverlustleistung	W
P_{VLP}	lastabhängige Lagerverlustleistung	W
P_{VX}	sonstige lastunabhängige Lagerverlustleistung	W
P_{Vz0}	lastunabhängige Verzahnungsverlustleistung	W
P_{VzP}	lastabhängige Verzahnungsverlustleistung	W
r_{K2}	Kopfrundungsradius Rad 2	mm
$R_{\lambda,G}$	Wärmeübergangswiderstand des Getriebegehäuses	K·m ² /W
$\bar{s}$	normierte geschätzte Standardabweichung der Lastwechselzahl	–
s_i	geschätzte Standardabweichung der Lastwechselzahl im i -ten Versuch	–
T_{an}	Antriebsdrehmoment	N·m
T_{Motor}	Motordrehmoment	N·m
T_{ab}	Abtriebsdrehmoment	N·m
T_d	Nennndrehmoment	N·m
T_i	Prüfdrehmoment beim i -ten Versuch	N·m
$T_{verspann}$	Verspanndrehmoment	N·m
v_t	Umfangsgeschwindigkeit	m/s
W_{k1}	Zahnweite Rad 1	mm
W_{k2}	Zahnweite Rad 2	mm
W_{lokal}	lokaler linearer Verschleiß	mm
x_1	Nennprofilverschiebungsfaktor Rad 1	–
x_2	Nennprofilverschiebungsfaktor Rad 2	–
Y_{Fa}	Formfaktor	–
Y_{Sa}	Spannungskorrekturfaktor (Kerbwirkung)	–
Y_{St}	Spannungskorrekturfaktor (Festigkeit)	–
Y_{β}	Schrägenfaktor (Fuß)	–
Y_{ϵ}	Überdeckungsfaktor (Fuß)	–
Z_E	Elastizitätsfaktor	(N/mm ²) ^{0,5}
Z_H	Zonenfaktor	–
Z_{β}	Schrägenfaktor (Flanke)	–
Z_{ϵ}	Überdeckungsfaktor (Flanke)	–
$Z_{\epsilon S}$	Überdeckungsfaktor Zahnflankentragfähigkeit	–
z_1	Zähnezahl Rad 1	–

Symbol	Designation	Unit
P_{V0}	load-independent losses	W
P_{VD}	load-independent power loss at seal	W
P_{VL0}	load-independent power loss at bearing	W
P_{VLP}	load-dependent power loss at bearing	W
P_{VX}	other load-independent power loss at bearing	W
P_{Vz0}	load-independent gear-meshing power loss	W
P_{VzP}	load-dependent gear-meshing power loss	W
r_{K2}	tip rounding radius, gear 2	mm
$R_{\lambda,G}$	heat transfer resistance of the mechanism housing	K·m ² /W
$\bar{s}$	normalized estimated standard deviation of the number of load cycles	–
s_i	estimated standard deviation of the number of load cycles in the i -th test	–
T_{an}	input torque	N·m
T_{Motor}	motor torque	N·m
T_{ab}	output torque	N·m
T_d	nominal torque	N·m
T_i	test torque in the i -th test	N·m
$T_{verspann}$	bracing torque	N·m
v_t	tangential velocity	m/s
W_{k1}	base tangent length, gear 1	mm
W_{k2}	base tangent length, gear 2	mm
W_{lokal}	local linear wear	mm
x_1	nominal addendum modification coefficient, gear 1	–
x_2	nominal addendum modification coefficient, gear 2	–
Y_{Fa}	form factor	–
Y_{Sa}	stress correction factor (notch effect)	–
Y_{St}	stress correction factor (strength)	–
Y_{β}	helix angle factor (root)	–
Y_{ϵ}	contact ratio factor (root)	–
Z_E	elasticity factor	(N/mm ²) ^{0,5}
Z_H	zone factor	–
Z_{β}	helix angle factor (flank)	–
Z_{ϵ}	contact ratio factor (flank)	–
$Z_{\epsilon S}$	contact ratio factor – tooth flank load-carrying capacity	–
z_1	tooth number, gear 1	–