

# DIN 3996:2012-09 (D)

## Tragfähigkeitsberechnung von Zylinder-Schneckengetrieben mit sich rechtwinklig kreuzenden Achsen

---

Inhalt	Seite
Vorwort .....	6
1 Anwendungsbereich .....	7
1.1 Allgemeines .....	7
1.2 Schneckenwerkstoffe.....	7
1.3 Schneckenradwerkstoffe .....	7
1.4 Schmierstoffe.....	8
1.5 Flankenformen.....	8
2 Normative Verweisungen .....	8
3 Formelzeichen, Benennungen und Einheiten .....	9
4 Allgemeines .....	14
4.1 Grundlagen, Wechselwirkungen.....	14
4.1.1 Verschleiß .....	14
4.1.2 Grübchenschäden .....	15
4.1.3 Fressen .....	15
4.1.4 Wechselwirkung zwischen Fressen und Verschleiß .....	15
4.1.5 Wechselwirkung zwischen Verschleiß und Grübchen .....	15
4.1.6 Wechselwirkung zwischen Verschleiß und Zahnbruch .....	15
4.1.7 Riefenbildung.....	15
4.2 Absolutrechnung bzw. Relativrechnung.....	15
4.2.1 Absolutrechnung .....	15
4.2.2 Relativrechnung .....	16
4.3 Standard-Referenzgetriebe .....	16
4.4 Berechnungsansätze, Methoden A, B, C .....	17
4.4.1 Methode A .....	17
4.4.2 Methode B .....	17
4.4.3 Methode C .....	18
4.5 Sicherheitsfaktoren .....	18
4.6 Hinweis auf Zahlenwertgleichungen .....	18
4.7 Sonstige Hinweise .....	18
4.8 Hinweis auf Zahlenwertgleichungen .....	18
4.9 Hinweis auf Zahlenwertgleichungen .....	18
4.10 Sonstige Hinweise .....	18
5 Notwendige Eingangsgrößen.....	19
6 Kräfte, Geschwindigkeiten sowie Kennwerte für die Berechnung der Beanspruchung .....	20
6.1 Allgemeines .....	20
6.2 Zahnkräfte .....	20
6.2.1 Anwendungsfaktor $K_A$ .....	20
6.2.2 Zahnkraftkomponenten.....	20
6.3 Gleitgeschwindigkeit am Mittenkreis .....	21
6.4 Physikalische Kennwerte .....	21
6.4.1 Allgemeines .....	21
6.4.2 Mittlere Hertzsche Pressung .....	22
6.4.3 Mittlere Schmierpaltdicke .....	23
6.4.4 Mittlerer Gleitweg .....	24
6.5 Berechnung der mittleren Flankenpressung.....	25
6.6 Berechnung der minimalen mittleren Schmierpaltdicke .....	25
6.7 Berechnung des Verschleißweges .....	26

6.8	Berechnung der kinematischen Viskosität .....	26
7	Wirkungsgrad und Verlustleistung .....	27
7.1	Allgemeines .....	27
7.2	Gesamtwirkungsgrad .....	27
7.2.1	Methode A .....	27
7.2.2	Methoden B und C .....	27
7.3	Gesamtverlustleistung .....	27
7.3.1	Methode A .....	27
7.3.2	Methode B .....	27
7.3.3	Methode C .....	28
7.3.4	Leerlaufverlustleistung .....	28
7.3.5	Lagerverlustleistung infolge der Lagerbelastung .....	28
7.3.6	Dichtungsverlustleistung .....	29
7.3.7	Anpassung des Berechnungsverfahrens an eigene Versuche .....	29
7.4	Verzahnungswirkungsgrad .....	29
7.4.1	Methode A .....	29
7.4.2	Methode B .....	29
7.4.3	Methode C .....	29
7.4.4	Grundreibungszahl $\mu_{0T}$ des Standard-Referenzgetriebes .....	30
7.4.5	Baugrößenfaktor .....	31
7.4.6	Geometriefaktor .....	31
7.4.7	Werkstofffaktor .....	32
7.4.8	Rauheitsfaktor .....	32
7.4.9	Anpassung des Berechnungsverfahrens an eigene Versuchsergebnisse .....	32
7.5	Verzahnungsverlustleistung .....	32
7.5.1	Methode A .....	32
7.5.2	Methode B .....	32
7.5.3	Methode C .....	33
8	Verschleißtragfähigkeit .....	33
8.1	Allgemeines .....	33
8.2	Verschleißsicherheit .....	33
8.3	Zu erwartender Verschleißabtrag .....	33
8.3.1	Methode A .....	33
8.3.2	Methoden B und C .....	33
8.4	Zulässiger Verschleißabtrag .....	39
8.5	Anpassung des Rechenverfahrens an eigene Versuche .....	40
9	Grübchentragfähigkeit .....	40
9.1	Allgemeines .....	40
9.2	Grübchensicherheit .....	40
9.3	Auftretende Flankenpressung .....	41
9.3.1	Methode A .....	41
9.3.2	Methoden B und C .....	41
9.4	Grenzwert der Flankenpressung .....	41
9.5	Anpassung des Berechnungsverfahrens an eigene Versuche .....	42
10	Durchbiegung .....	43
10.1	Allgemeines .....	43
10.2	Durchbiegesicherheit .....	43
10.3	Auftretende Durchbiegung .....	43
10.3.1	Methode A .....	43
10.3.2	Methode B .....	43
10.3.3	Methode C .....	43
10.4	Grenzwert der Durchbiegung .....	44
11	Zahnfußtragfähigkeit .....	44
11.1	Allgemeines .....	44
11.2	Zahnbruchsicherheit .....	44
11.3	Auftretende Zahnfußspannung .....	44
11.3.1	Methode A .....	44
11.3.2	Methode B .....	45
11.3.3	Methode C .....	45

11.4	Grenzwert der Schub-Nennspannung am Zahnfuß .....	46
11.5	Anpassung des Berechnungsverfahrens an eigene Versuche .....	48
12	Temperatursicherheit.....	48
12.1	Allgemeines .....	48
12.2	Temperatursicherheit bei Tauchschmierung .....	48
12.3	Auftretende Ölumpftemperatur.....	49
12.3.1	Methode A .....	49
12.3.2	Methode B .....	49
12.3.3	Methode C .....	49
12.4	Grenzwert der Ölumpftemperatur.....	50
12.5	Temperatursicherheit bei Einspritzschmierung.....	50
12.6	Kühlleistung.....	51
12.6.1	Methode A .....	51
12.6.2	Methode B .....	51
12.6.3	Methode C .....	51
13	Bestimmung der Radmassentemperatur.....	51
13.1	Allgemeines .....	51
13.2	Radmassentemperatur bei Tauchschmierung .....	51
13.2.1	Methode A .....	51
13.2.2	Methode B .....	51
13.2.3	Methode C .....	51
13.3	Radmassentemperatur bei Einspritzschmierung .....	52
Anhang A (informativ) Hinweise zu den inneren Kräften und zur Kraftverteilung.....		53
Anhang B (informativ) Hinweise zu den physikalischen Kennwerten.....		54
Anhang C (informativ) Methoden zur Ermittlung der Kennwerte.....		55
Anhang D (informativ) Schmierpaltdicke nach der EHD-Theorie .....		57
Anhang E (informativ) Berechnung des Verschleißweges .....		58
Anhang F (informativ) Hinweise zur Berechnung des Verschleißabtrags .....		59
Anhang G (informativ) Hinweise zur Zahnfußtragfähigkeit .....		60
Anhang H (informativ) Lebensdauerabschätzung grübchengefährdeter Radsätze.....		61
Anhang I (informativ) Beispiele .....		63
Literaturhinweise.....		68

## Bilder

Bild 1	— Betrachtung der Abweichungen am Beispiel der Einflussgröße „Achsabstand“ .....	16
Bild 2	— Radzahn- und Radkranzbreiten .....	19
Bild 3	— Zahnkraftkomponenten .....	20
Bild 4	— Grundreibungszahlen $\mu_{0T}$ des Standard-Referenzgetriebes .....	31
Bild 5	— Bezugsverschleißintensitäten nach [9], [10], [15] .....	37
Bild 6	— Lagerabstände.....	44
Bild 7	— Kranzdickenfaktor $Y_K$ .....	46
Bild 8	— Lebensdauerfaktor $Y_{NL}$ nach Versuchen [8] .....	48
Bild C.1	— Berechnete Berührlinien für ein Beispiel (Projektion in die Radebene).....	55

## Tabellen

Tabelle 1 — Übliche Schneckenradwerkstoffe .....	7
Tabelle 2 — Formelzeichen, Benennung und Einheit .....	9
Tabelle 3 — Hauptdaten des Standard-Referenzgetriebes.....	17
Tabelle 4 — E-Module und Querkontraktionszahlen.....	25
Tabelle 5 — Werkstofffaktor $Y_W$ nach [9], [11] und [15].....	32
Tabelle 7 — Dichte für Schneckenradwerkstoffe nach [11] .....	40
Tabelle 8 — Grübchenfestigkeiten nach [11].....	41
Tabelle 9 — Schub-Dauerfestigkeitswerte $\tau_{FlimT}$ für verschiedene Radwerkstoffe .....	46
Tabelle 10 — Lebendauerfaktor $Y_{NL}$ in Abhängigkeit von der Lastspielzahl $N_L$ , dem Werkstoff und der zulässigen Qualität des Schneckenrades .....	47