

# DIN 3996:2019-09 (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 Begriffe, Symbole und Abkürzungen.....	9
3.1 Begriffe .....	9
3.2 Symbole und Abkürzungen .....	9
4 Allgemeines .....	15
4.1 Grundlagen, Wechselwirkungen .....	15
4.1.1 Verschleiß.....	15
4.1.2 Grübchenschäden.....	15
4.1.3 Fressen.....	16
4.1.4 Wechselwirkung zwischen Fressen und Verschleiß.....	16
4.1.5 Wechselwirkung zwischen Verschleiß und Grübchen.....	16
4.1.6 Wechselwirkung zwischen Verschleiß und Zahnbruch.....	16
4.1.7 Riefenbildung .....	16
4.2 Absolutrechnung bzw. Relativrechnung.....	16
4.2.1 Allgemeines .....	16
4.2.2 Absolutrechnung .....	16
4.2.3 Relativrechnung .....	17
4.3 Standard-Referenzgetriebe.....	17
4.4 Berechnungsansätze, Methoden A, B, C.....	18
4.4.1 Allgemeines .....	18
4.4.2 Methode A .....	18
4.4.3 Methode B .....	19
4.4.4 Methode C .....	19
4.5 Sicherheitsfaktoren .....	19
4.6 Hinweis auf Zahlenwertgleichungen .....	19
4.7 Sonstige Hinweise .....	19
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 .....	20
6.2.2 Zahnkraftkomponenten .....	21
6.3 Gleitgeschwindigkeit am Mittenkreis.....	22
6.4 Methoden zur Bestimmung der physikalischen Kennwerte .....	22
6.4.1 Allgemeines .....	22
6.4.2 Methode A .....	22
6.4.3 Methode B .....	22
6.4.4 Methode C .....	22

6.5	Physikalischer Kennwert für die mittlere Hertzsche Pressung.....	23
6.5.1	Allgemeines.....	23
6.5.2	Methode A.....	23
6.5.3	Methode B.....	23
6.5.4	Methode C.....	23
6.6	Physikalischer Kennwert für die mittlere Schmierpaltdicke .....	24
6.6.1	Allgemeines.....	24
6.6.2	Methode A.....	24
6.6.3	Methode B.....	24
6.6.4	Methode C.....	24
6.7	Physikalischer Kennwert für den mittleren Gleitweg.....	25
6.7.1	Allgemeines.....	25
6.7.2	Methode A.....	25
6.7.3	Methode B.....	25
6.7.4	Methode C.....	25
6.8	Berechnung der mittleren Flankenpressung.....	25
6.9	Berechnung der mittleren minimalen Schmierpaltdicke .....	26
6.9.1	Allgemeines.....	26
6.9.2	Berechnung der mittleren minimalen Schmierpaltdicke zur Bestimmung des Verschleißabtrages.....	26
6.9.3	Berechnung der mittleren minimalen Schmierpaltdicke zur Berechnung des Verzahnungswirkungsgrades .....	27
6.10	Berechnung der kinematischen Viskosität.....	28
6.11	Berechnung der dynamischen Viskosität beim Umgebungsdruck .....	28
6.12	Berechnung des Verschleißweges .....	29
7	Wirkungsgrad und Verlustleistung.....	29
7.1	Allgemeines.....	29
7.2	Gesamtwirkungsgrad.....	29
7.2.1	Methode A.....	29
7.2.2	Methoden B und C .....	29
7.3	Gesamtverlustleistung.....	30
7.3.1	Methode A.....	30
7.3.2	Methode B.....	30
7.4	Lastabhängiger Verzahnungswirkungsgrad .....	30
7.4.1	Methode A.....	30
7.4.2	Methode B.....	30
7.4.3	Methode C.....	30
7.4.4	Grenzreibungszahl.....	31
7.4.5	Festkörpertraganteil.....	31
7.4.6	Flüssigkeitsreibungszahl.....	32
7.4.7	Anpassung des Berechnungsverfahrens an eigene Versuchsergebnisse.....	34
7.5	Lastabhängige Verzahnungsverlustleistung .....	34
7.5.1	Methode A.....	34
7.5.2	Methode B.....	34
7.5.3	Methode C.....	34
8	Verschleißtragfähigkeit .....	34
8.1	Allgemeines.....	34
8.2	Verschleißsicherheit.....	35
8.3	Zu erwartender Verschleißabtrag.....	35
8.3.1	Methode A.....	35
8.3.2	Methoden B und C .....	35
8.4	Zulässiger Verschleißabtrag.....	40
8.5	Anpassung des Rechenverfahrens an eigene Versuche.....	41
9	Grübchentragfähigkeit .....	41
9.1	Allgemeines.....	41
9.2	Grübchensicherheit.....	42

9.3	Auftretende Flankenpressung .....	42
9.3.1	Methode A .....	42
9.3.2	Methoden B und C.....	42
9.4	Grenzwert der Flankenpressung.....	42
9.5	Anpassung des Berechnungsverfahrens an eigene Versuche.....	44
10	Durchbiegung .....	44
10.1	Allgemeines.....	44
10.2	Durchbiegesicherheit.....	44
10.3	Auftretende Durchbiegung.....	44
10.3.1	Methode A .....	44
10.3.2	Methode B .....	44
10.3.3	Methode C .....	44
10.4	Grenzwert der Durchbiegung.....	45
11	Zahnfußtragfähigkeit.....	45
11.1	Allgemeines.....	45
11.2	Zahnbruchsicherheit.....	45
11.3	Methode A .....	46
11.4	Methode B.....	46
11.5	Methode C .....	46
11.5.1	Allgemeines.....	46
11.5.2	Auftretende Zahnfußspannung .....	46
11.5.3	Grenzwert der Schub-Nennspannung am Zahnfuß .....	47
11.5.4	Anpassung des Berechnungsverfahrens an eigene Versuche.....	50
12	Temperatursicherheit .....	50
12.1	Allgemeines.....	50
12.2	Temperatursicherheit bei Tauchschmierung.....	50
12.3	Auftretende Ölsumpftemperatur .....	51
12.3.1	Methode A .....	51
12.3.2	Methode B .....	51
12.3.3	Methode C .....	51
12.4	Grenzwert der Ölsumpftemperatur .....	52
12.5	Temperatursicherheit bei Einspritzschmierung .....	52
12.6	Kühlleistung.....	53
12.6.1	Methode A .....	53
12.6.2	Methode B.....	53
12.6.3	Methode C .....	53
13	Bestimmung der Radmassentemperatur .....	53
13.1	Allgemeines.....	53
13.2	Radmassentemperatur bei Tauchschmierung .....	53
13.2.1	Methode A .....	53
13.2.2	Methode B.....	53
13.2.3	Methode C .....	53
13.3	Radmassentemperatur bei Einspritzschmierung.....	54
13.3.1	Methode A .....	54
13.3.2	Methode B.....	54
13.3.3	Methode C .....	54
	Anhang A (informativ) Hinweise zu den inneren Kräften und zur Kraftverteilung.....	56
	Anhang B (informativ) Hinweise zu den physikalischen Kennwerten .....	57
	Anhang C (informativ) Methoden zur Ermittlung der Kennwerte .....	58
	Anhang D (informativ) Schmierpaltdicke nach der EHD-Theorie .....	60
	Anhang E (informativ) Berechnung des Verschleißweges .....	61
	Anhang F (informativ) Hinweise zur Berechnung des Verschleißabtrags .....	62

Anhang G (informativ) Hinweise zur Zahnfußtragfähigkeit.....	63
Anhang H (informativ) Lebensdauerabschätzung grübchengefährdeter Radsätze.....	64
Anhang I (informativ) Beispiele.....	66
Literaturhinweise.....	71

## Bilder

Bild 1 — Betrachtung der Abweichungen am Beispiel der Einflussgröße „Achsabstand“ (lineares Fehlergesetz zugrunde gelegt).....	17
Bild 2 — Zahnkraftkomponenten bei rechtssteigender Schnecke .....	21
Bild 3 — Veränderung des Druckviskositätskoeffizienten über der Temperatur .....	28
Bild 4 — Reibleistungskennzahl $R$ .....	33
Bild 5 — Bezugsverschleißintensitäten nach [13], [2], [5].....	38
Bild 6 — Lagerabstände.....	45
Bild 7 — Kranzdickenfaktor $Y_K$ .....	47
Bild 8 — Lebensdauerfaktor $Y_{NL}$ nach Versuchen [20] .....	50
Bild C.1 — Berechnete Berührlinien für ein Beispiel (Projektion in die Radebene).....	58

## Tabellen

Tabelle 1 — Übliche Schneckenradwerkstoffe .....	7
Tabelle 2 — Formelzeichen, Benennung und Einheit .....	9
Tabelle 3 — Hauptdaten des Standard-Referenzgetriebes.....	18
Tabelle 4 — E-Module und Querkontraktionszahlen.....	26
Tabelle 5 — Werkstoff-Schmierstofffaktor $W_{ML}$ .....	39
Tabelle 6 — Dichte für Schneckenradwerkstoffe nach [2].....	41
Tabelle 7 — Grübchenfestigkeiten nach [2].....	42
Tabelle 8 — Schub-Dauerfestigkeitswerte $\tau_{FlimT}$ für verschiedene Radwerkstoffe .....	48
Tabelle 9 — Lebensdauerfaktor $Y_{NL}$ in Abhängigkeit von der Lastspielzahl $N_L$ , dem Werkstoff und der zulässigen Qualität des Schneckenrades.....	49