

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 τ_{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