

Dipl.-Ing. Klemens Wesolowski, Neuburg

**Dreidimensionale
Beanspruchungszustände
und Festigkeitsnachweis
drehmomentbelasteter
Zahnwellen-Verbindungen
unter elastischer und
teilplastischer Verformung**

Reihe **1**: Konstruktionstechnik/
Maschinenelemente

Nr. **286**

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Stand der Technik	3
2.1	Allgemeine Betriebszustände flankenzentrierter Verbindungen	3
2.2	Allgemeine Betriebszustände durchmesserzentrierter Verbindungen	8
2.3	Berechnung der Betriebszustände	9
2.4	Maximale Flankennormalkraft	11
2.5	Schadensfälle an Zahnwellen-Verbindungen	12
2.6	Beanspruchungen von Zahnwellen-Verbindungen bei überwiegender Drehmomentbelastung	17
3	Problemstellung und Vorgehensweise der folgenden Untersuchung ...	34
4	Berechnung von Zahnwellen und -naben unter reiner Torsion	36
4.1	Theorie der reinen Torsion prismatischer Stäbe	36
4.2	Mechanische Ersatzmodelle für Bauteile unter Torsionsbeanspruchung	38
4.3	Allgemeine Berechnung von tordierten Zahnwellen	43
4.4	Allgemeine Berechnung von tordierten Zahnnaben	46
4.5	Verifizierung der Untersuchungsergebnisse	48
5	Berechnung ebener Zahnscheiben bei Belastung durch Flankennormalkraft	51
5.1	Allgemeiner Spannungszustand bei ebenen Scheibenproblemen	51
5.2	Mechanisches Ersatzmodell für ebene Zahnscheiben	52
5.3	Allgemeine Berechnung ebener Zahnwellenscheiben	55
5.3.1	Maximale Zahnfußspannung einer vollen Zahnwelle ohne Verzahnungsabweichungen	55
5.3.2	Beanspruchungen im Wellenkörper	56
5.3.3	Zahnfußspannung einer abweichungsfreien Zahnscheibe mit zentrischer Bohrung	58
5.3.4	Zahnfußspannungen einer Zahnscheibe mit Abweichungen und zentrischer Bohrung	61
5.3.5	Tragverhalten über der Zahnhöhe	65
5.3.6	Allgemeiner Ansatz zur Berechnung der maximalen Kerbspannung einer ebenen Zahnwellenscheibe	66
5.4	Allgemeine Berechnung ebener Zahnnabenscheiben	68
5.4.1	Grundsätzliches Spannungs- und Verformungsverhalten einer Zahnnabenscheibe	68

5.4.2	Beanspruchungen im Nabenkörper	68
5.4.3	Maximale Zahnfußspannung einer abweichungsfreien Zahnnahe	70
5.4.4	Zahnfußspannungen einer Zahnabenscheibe mit Verzahnungsabweichungen.....	72
5.4.5	Tragverhalten über der Zahnhöhe	75
5.4.6	Allgemeiner Ansatz zur Berechnung der maximalen Kerbspannung einer ebenen Zahnabenscheibe	75
5.5	Beispiele und Verifizierung der Ergebnisse	76
6	Beanspruchungen drehmomentbelasteter Zahnwellen-Verbindungen	80
6.1	FEM-Modell zur Simulation der Beanspruchungen einer drehmomentbelasteten Verbindung.....	80
6.2	Spannungszustand im Kerbbereich drehmomentbelasteter Zahnwellen-Verbindungen	83
6.3	Parameter, die die Kerbspannung beeinflussen.....	86
6.4	Kerbspannung im Zahnfuß der Welle.....	87
6.4.1	Einfluss der Zahnform.....	87
6.4.2	Einfluss der Verbindungsbreite	95
6.4.3	Einfluss des Zahnüberstands	99
6.4.4	Einfluss des Nabenaußendurchmessers	100
6.4.5	Einfluss des Welleninnendurchmessers	104
6.4.6	Maximale Zahnfuß-Vergleichsspannung der Welle	106
6.4.7	Konstruktionshinweise	107
6.5	Kerbspannung im Zahnfuß der Nabe	108
6.6	Verifizierung der Ergebnisse durch Versuche mit statischem Drehmoment	110
7	Festigkeitsnachweis einer Zahnwelle	118
7.1	Ermittlung der Vergleichsspannung.....	118
7.1.1	Vorgaben	118
7.1.2	Ermittlung der maximalen Belastung	118
7.1.3	Torsionsbeanspruchung	120
7.1.4	Beanspruchung der ebenen Zahnscheibe.....	121
7.1.5	Maximale Zahnfuß-Vergleichsspannung	121
7.2	Abschätzung der Dauerfestigkeit.....	122
7.2.1	Vorgaben	122
7.2.2	Berechnung der Mittel- und Ausschlagsspannung	122
7.2.3	Berücksichtigung der Stützwirkung.....	124
7.2.4	Ermittlung der zulässigen Ausschlagsspannung	124
7.2.5	Ausnutzung des Werkstoffs	126

7.3	Vergleich mit Schwingversuchen.....	127
8	Beanspruchung im teilplastischen Bereich.....	128
8.1	Allgemeine Gesetzmäßigkeiten.....	129
8.2	Spannungsberechnung im teilplastischen Bereich.....	130
8.3	Torsion im teilplastischen Bereich.....	130
8.4	Teilplastische Beanspruchung ebener Zahnwellenscheiben.....	133
8.5	Teilplastische Beanspruchung von drehmomentbelasteten Zahnwellen.....	138
8.6	Verifizierung der Ergebnisse durch Versuche.....	141
8.7	Ausblick, teilplastische Beanspruchung.....	147
9	Zusammenfassung.....	148

Anhang

A4	Torsion, Kenngrößen für DIN 5480.....	151
A4.1	Zahnwellen nach DIN 5480.....	151
A4.1.1	Einflussparameter Zähnezahl.....	152
A4.1.2	Einflussparameter Fußausrundungsverhältnis.....	155
A4.1.3	Einflussparameter Profilverschiebungsfaktor.....	158
A4.1.4	Berechnung tordierter Zahnwellen DIN 5480.....	159
A4.2	Zahnablen nach DIN 5480.....	162
A4.2.1	Einflussparameter Zähnezahl.....	162
A4.2.2	Einflussparameter Fußausrundungsverhältnis.....	164
A4.2.3	Einflussparameter Profilverschiebungsfaktor.....	166
A4.2.4	Berechnung tordierter Zahnablen DIN 5480.....	167
A5	Zahnscheibe, Kennwerte für DIN 5480.....	169
A5.1	Zahnwellenscheiben nach DIN 5480.....	169
A5.1.1	Geometrie.....	169
A5.1.2	Lastverteilung.....	173
A5.2	Zahnabenscheiben nach DIN 5480.....	174
A5.2.1	Geometrie.....	174
A5.2.2	Lastverteilung.....	176
A6	Zahnwellen-Verbindung, Kennwerte DIN 5480.....	177
A6.1	Einflussfaktoren für Zahnwellen nach DIN 5480.....	177
A6.2	Einflussfaktoren für Zahnablen nach DIN 5480 und Breitenfaktor k_b	181
A8	Plastizität, Kennwerte für Zahnwellen nach DIN 5480.....	184
A8.1	Tordierte Zahnwellen.....	184
A8.2	Zahnwellenscheiben nach DIN 5480.....	186
	Literatur.....	188