

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
1.1	Aufgaben des Fahrzeuggetriebes	1
1.2	Ziel und Schwerpunkt	5
1.3	Beschreibung der mechanischen Schnittstellen	7
1.4	Gliederung	9
<b>2</b>	<b>Antriebsstrang- und Getriebekonzepte für PKW und Nutzfahrzeuge</b>	<b>13</b>
2.1	PKW mit Frontantrieb	14
2.2	Heckantriebene PKW	17
2.3	Sonderformen des PKW-Antriebsstranges	19
2.3.1	Allradfahrzeuge	19
2.3.2	Mittelmotorkonzepte für Sportwagen	21
2.4	Nutzfahrzeuge und Busse	23
2.4.1	Lastkraftwagen	23
2.4.2	Busse	27
2.5	Automatisierungsgrade von Fahrzeuggetrieben	28
2.5.1	Teilautomatisierte PKW- und NKW-Schaltgetriebe	29
2.5.2	Vollautomatische Schaltgetriebe	30
2.6	Manuelle Schaltgetriebe	31
2.6.1	Getriebe für den Frontquereinbau	32
2.6.2	Getriebe für frontgetriebene Fahrzeuge mit Längsmotor	37
2.6.3	Getriebe für Fahrzeuge mit Heckantrieb	39
2.6.4	Beispiele für Sportwagen-Schaltgetriebe	40
2.6.5	Manuell schaltbares Gruppengetriebe 16S109	42
2.7	Teil- und vollautomatische Getriebe	45
2.7.1	Sequentielle, teilautomatisierte Getriebe	45
2.7.2	Doppelkupplungsgetriebe	46
2.7.3	Stufenautomatikgetriebe	52
2.7.4	Stufenlose Automatikgetriebe	57

<b>3</b>	<b>Systemauslegung von Antriebsträngen</b>	65
3.1	Vorbemerkungen und Definitionen	66
3.1.1	Vorzeichenkonvention und Übersetzungen	66
3.1.2	Relativdrehzahlen	72
3.1.3	Verluste, Wirkungsgrad und Schleppmoment	74
3.2	Fahrleistung und Verbrauch	77
3.2.1	Ideale Zugkrafthyperbel und allgemeine Fahrwiderstände	78
3.2.2	Einfluss und Auslegung von Getriebeübersetzungen	86
3.2.3	Verbrauchsaspekte	95
3.2.4	Fahrleistung und Beschleunigungsvermögen	96
3.3	Lastannahmen für die System- und Komponentenauslegung	100
3.3.1	Auslegungslebensdauer	101
3.3.2	Missbrauchslasten	102
3.3.3	Lastkollektive für die Betriebsfestigkeitsanalyse	104
3.3.4	Komfortanforderungen	105
3.4	Lastenheft, Systemkonfiguration und Entwicklungsprozess	105
3.4.1	Lastenhefterstellung	106
3.4.2	Identifikation möglicher Systemkonfigurationen	107
3.4.3	Entwicklungsprozess	108
<b>4</b>	<b>Auslegung und Charakteristika spezieller Systeme und Baugruppen von manuellen Schaltgetrieben</b>	111
4.1	Kupplungen und Schwungräder	112
4.1.1	Aufbau des Kupplungsmoduls im Fahrzeuggetriebe	115
4.1.2	Belagmaterialien und ihre Belastungsgrenzen	121
4.1.3	Auslegung des Kupplungssystems	126
4.1.4	Mechanismen zur Selbstnachstellung	138
4.1.5	Kupplungsbetätigung	140
4.1.6	Prinzipieller Aufbau von Doppelkupplungen	146
4.2	Wellen und Räder	147
4.2.1	Gestaltung und Auslegung von Wellen	150
4.2.2	Festigkeitsnachweis von Getriebewellen	163
4.2.3	Gestaltung von Rädern	165
4.3	Auslegung von Verzahnungen	168
4.3.1	Leistungsgrenzen, Tragbilder und Tragfähigkeitsgrenzen	171
4.3.2	Achsabstand, Zahnbreite und Schrägungswinkel	179
4.3.3	Überprüfung der Vorauslegung	192
4.3.4	Nachweis von Zahnfuß- und Zahnflankentragfähigkeit	193
4.3.5	Verzahnungskräfte bei Stirnradstufen	204
4.3.6	Besonderheiten von Kegelrädern	206
4.3.7	Qualitätssicherung und Optimierungsansätze	209
4.4	Synchronisation	214
4.4.1	Aufbau der Synchronisation	214
4.4.2	Phasen des Synchronisationsvorgangs	220
4.4.3	Auslegung der Synchroneinheiten	227

4.4.4	Fehlfunktionen .....	236
4.4.5	Reibbeläge für Synchronisationen .....	237
4.5	Komponenten der Schaltbetätigung .....	242
4.5.1	Schalten und Wählen – Externe Schaltung .....	245
4.5.2	Komponenten der Innenschaltung .....	254
4.5.3	Rastierelemente .....	257
<b>5</b>	<b>Architektur, Komponenten und Baugruppen automatisch schaltender PKW-Getriebe .....</b>	<b>265</b>
5.1	Kommunikation zwischen Fahrzeug, Motor und Getriebe .....	266
5.2	Teilautomatisierung manueller Schaltgetriebe .....	269
5.2.1	Automatisierungsstrategie – Änderungsumfang .....	269
5.2.2	Komponenten zur Teilautomatisierung .....	273
5.3	Doppelkupplungssystem .....	275
5.3.1	Der mechanische Aufbau von Doppelkupplungsgetrieben .....	276
5.3.2	Vergleich trocken und nass laufender Doppelkupplungen .....	283
5.3.3	Aktuatorik und Regelung .....	290
5.4	Aufbau und Betätigungselemente von Stufenautomatgetrieben .....	295
5.4.1	Architektur und Leistungsfluss .....	296
5.4.2	Leistungsführende Schaltelemente .....	301
5.4.3	Betätigungselemente von Stufenautomatikgetrieben .....	313
5.5	Drehmomentwandler für Stufenautomaten .....	321
5.5.1	Prinzip der hydrodynamischen Leistungsübertragung .....	322
5.5.2	Auslegung des Wandlers .....	333
5.5.3	Wandlerüberbrückungskupplung .....	347
5.5.4	Entwicklungstrends .....	351
5.6	Planetensätze .....	355
5.6.1	Aufbau und Besonderheiten .....	356
5.6.2	Der einfache Planetensatz .....	358
5.6.3	Graphische Verfahren – Momenten- und Drehzahlplan .....	376
5.6.4	Aufwändigere und verkettete Planetensätze .....	381
5.6.5	Planetensätze mehrstufiger Stufenautomatgetriebe .....	387
5.7	Spezielle mechanische Komponenten stufenloser Getriebe .....	396
5.7.1	Wirkprinzipien mechanischer Stufenlosgetriebe .....	397
5.7.2	Abschätzung der Verlustleistungen .....	402
5.7.3	Ausgewählte Komponenten des Kegelringgetriebes .....	406
5.7.4	Leistungsübertragung in Umschlingungsgetrieben .....	412
<b>6</b>	<b>Allgemeine Komponenten der Fahrzeuggetriebe .....</b>	<b>423</b>
6.1	Differentiale – Ausgleichsgetriebe .....	423
6.1.1	Achsparalleler An- und Abtrieb .....	426
6.1.2	Winkliger An- und Abtrieb .....	434
6.1.3	Differentiale mit Sperrwirkung .....	437
6.2	Achs- und Längswellen und Gelenke .....	439
6.2.1	Achswellen .....	440

6.2.2	Längswellen .....	441
6.2.3	Kreuzgelenke .....	442
6.3	Leistungsverteilende Komponenten für Allradfahrzeuge .....	448
6.3.1	Systematik von Allradantrieb und Leistungsverteilung ..	450
6.3.2	Leistungsverteilung in Fahrzeuglängsrichtung .....	458
6.3.3	Aktive Leistungsverteilung .....	465
6.4	Wälzlagerungen .....	467
6.4.1	Wälzlager in Fahrzeuggetrieben .....	471
6.4.2	Dimensionierung auf Betriebsfestigkeit .....	474
6.4.3	Nadel- und Rollenlager für die Lagerung von Losrädern ..	479
6.4.4	Kegel-, Rollen- und Kugellager für die Wellenlagerung ..	481
6.4.5	Wälzlagerungen für Komfortbauteile der Schaltung ...	483
6.4.6	Lagerschäden: Ursachen und Auswirkungen .....	484
6.5	Gehäuse, Dichtung und Beölung .....	487
6.5.1	Mechanische Funktionen des Gehäuses .....	487
6.5.2	Dichtkonzepte bei mehrteiligen Gehäusen .....	491
6.5.3	Beölung – Öl als Konstruktionselement .....	496
<b>7</b>	<b>Leistungsübertragung in Nutzfahrzeuggetrieben .....</b>	<b>505</b>
7.1	Nutzfahrzeuggetriebe mit mechanischer Leistungsübertragung ..	506
7.1.1	Integration des Getriebes in den Triebstrang .....	506
7.1.2	Gruppenbauweise .....	511
7.1.3	Automatisierungsstrategien .....	520
7.2	Nutzfahrzeugantriebe mit hydraulischer Leistungsübertragung ..	525
7.2.1	Nutzfahrzeuggetriebe mit hydraulischen Komponenten ..	525
7.2.2	Vario-Getriebe von Fendt .....	532
7.2.3	DIWA-Getriebe von Voith .....	537
7.2.4	Hydraulisch betätigter optionaler Allradantrieb .....	542
7.3	Spezielle Komponenten .....	544
7.3.1	Klauenschaltung .....	545
7.3.2	Hydrodynamische Strömungsbremse – Retarder .....	545
7.3.3	Hydropumpen und -motoren .....	550
<b>8</b>	<b>Leistungsübertragung in Hybridfahrzeugen .....</b>	<b>559</b>
8.1	Allgemeines .....	562
8.1.1	Geschichtlicher Hintergrund .....	563
8.1.2	Grundstrukturen der Hybridantriebe .....	565
8.1.3	Einteilung nach der installierten Leistung .....	571
8.1.4	Verbrauchsaspekte .....	572
8.2	Betriebsstrategien und Antriebstrangkonfiguration .....	574
8.2.1	Hybridkonzept des Toyota Prius .....	576
8.2.2	Elektrischer Allradantrieb .....	580
8.2.3	Two-Mode-Hybrid System .....	581
8.3	Leistungsübertragung bei Brennstoffzellenfahrzeugen .....	585

<b>9</b>	<b>Komfortaspekte</b>	587
9.1	Subjektive Einflussfaktoren und Ansätze zur Objektivierung	588
9.2	Schwingungen des Antriebstrangs	591
9.2.1	Rupfen	592
9.2.2	Ruckeln	594
9.2.3	Lastwechselstöße und -geräusche	595
9.2.4	Schwingungen und Geräusche bei Allradsystemen	596
9.2.5	Mögliche Schwingungstilgung beim Hybridantrieb	597
9.3	Zugkraftunterbrechung und Lastwechsel	597
9.3.1	Wesen von Zugkraftunterbrechung und Lastwechsel	598
9.3.2	Schaltkomfort automatisierter Schaltgetriebe	599
9.3.3	Doppelrückschaltungen bei Doppelkupplungsgetrieben	601
9.3.4	Zugkraftunterbrechung bei Hybridkonzepten	602
9.4	Schaltkomfort	603
9.4.1	Begriffsklärung und relevante Kenngrößen	605
9.4.2	Phänomene des Schaltkratzens	608
9.4.3	Fahrversuch, Prüfstand und Rechnung	611
9.4.4	Maßnahmen zur Schaltkomfortoptimierung	614
9.5	Geräusche und Schwingungen von Schaltung und Kupplung	615
9.5.1	Vibrationen des Kupplungspedals	615
9.5.2	Wählrauhigkeit	617
9.5.3	Vibrationen im Schaltsystem	618
9.6	Getriebeegeräusche	623
9.6.1	Getriebeheulen oder -pfeifen	624
9.6.2	Getrieberasseln oder -klappern	625
9.6.3	Maßnahmen zur Geräuschreduzierung	630
9.6.4	Schaltgeräusche	633
9.6.5	Lagergeräusche	634
<b>10</b>	<b>Validierung: Möglichkeiten und Konzepte</b>	635
10.1	Validierung und Entwicklung im Fahrzeug	635
10.2	Dauerlauferprobung auf Komponentenprüfständen	638
10.3	Prüfstände für Fahrmanöver und Komfortentwicklung	643
10.3.1	Komponenten- und Funktionsprüfstände	644
10.3.2	Prüfstände für Sondermanöver	648
10.4	Möglichkeiten und Grenzen der virtuellen Validierung	649
10.4.1	Vertrauenskennziffer	649
10.4.2	Methoden der Strukturmechanik	651
10.4.3	Mehrkörpersimulationsverfahren	652
10.4.4	Strömungsmechanische Verfahren	653
10.4.5	Road-to-Rig-to-Math Strategie	654

<b>A</b>	<b>Erweiterungen der elementaren Festigkeitslehre</b>	655
A.1	Hertz'sche Flächenpressung	655
A.1.1	Vorbemerkungen	656
A.1.2	Punktberührung	658
A.1.3	Linienberührung	664
A.2	Grundzüge der Betriebsfestigkeit	666
A.2.1	Das Wöhlerschaubild	666
A.2.2	Original Palmgren-Miner-Regel	672
A.2.3	Relative Palmgren-Miner-Regel	674
A.2.4	Elementare Palmgren-Miner-Regel	675
A.2.5	Schädigungsäquivalenz	675
<b>B</b>	<b>Kurzlösungen zu den Auslegungsaufgaben</b>	679
	<b>Literaturverzeichnis</b>	683
	<b>Sachverzeichnis</b>	693

---

# Symbolverzeichnis

## Lateinische Buchstaben

$A$	Allg. Fläche, Projizierte Stirnfläche des Fahrzeugs [m <sup>2</sup> ]
$A_F^*, A_H^*$	Ausnutzungsgrad Zahnfuß- und Zahnflankentragfähigkeit [-]
$A_\alpha, B_\alpha, C_\alpha$	Koeffizienten zur Berechnung der Formzahlen [-]
$A_k$	Kolbenfläche von Lamellenkupplung und -bremse [mm <sup>2</sup> ]
$a$	Fahrzeugbeschleunigung [m/sec <sup>2</sup> ], Achsabstand und -versatz [mm], Halbachse der HERTZ'schen Kontaktellipse [mm]
$a_1$	Umrechnungsfaktor der Wälzlager-Ausfallwahrscheinlichkeit [-]
$b$	Zahnbreite, Flanschbreite, Halbachse der Kontaktellipse [mm]
$b_e$	Spezifischer Kraftstoffverbrauch [g/kWh]
$C, C_0$	Dynamische und statische Tragfähigkeit eines Wälzlagers [N]
$c$	Allgemeine Steifigkeit [N/mm], Absolutgeschwindigkeit [m/sec]
$c_c, c_e$	Breitenballigkeit, Endrücknahme [mm]
$c_F$	Steifigkeit der Arretierungsfeder [N/mm]
$c_{\text{strang}}$	Triebstrangtorsionssteifigkeit [Nm/rad]
$c_t$	Torsionssteifigkeit eines Wellenabschnitts [Nm/rad]
$c_w$	Luftwiderstandsbeiwert [-]
$D$	Dämpfungsbeiwert [Nm/sec], Schädigung [-], Durchmesser [mm]
$D_{NZ}, D_{GZ}$	Durchmesser von Kupplungs-Nehmer- und Geberzylinder [mm]
$D_M$	Prüfkörperdurchmesser bei Zweikugelmaßmessung [mm]
$d$	(Maßgeblicher) Wellendurchmesser [mm], allg. Abstand [ $\mu$ m]
$d_1, d_2$	Teilkreisdurchmesser von Ritzel und Rad [mm]
$d_{a1}, d_{a2}$	Grundkreisdurchmesser von Ritzel und Rad [mm]
$d_{b1}, d_{b2}$	Kopfkreisdurchmesser von Ritzel und Rad [mm]
$d_s$	Wirkdurchmesser der Dachflächen [mm]
$d_{w1}, d_{w2}$	Wälzkreisdurchmesser von Ritzel und Rad [mm]
$E$	Elastizitätsmodul [GPa]
$E^*$	Modifizierter Elastizitätsmodul der Kontaktpaarung [GPa]
$Eu$	EULER-Zahl [-]
$e$	Exzentrizität [mm], axiale Grenzbeanspruchung [-]

$F$	Allgemeine Kraft [N]
$F_A$	Radiale Stützkraft an der Lagerung der Arretierung [N]
$F_{\text{Anpress}}$	Änderung der Anpresskraft an der Kupplungsscheibe [N]
$F_a$	Beschleunigungswiderstand [N]
$F_{\text{ax}}$	Axialkraft aus Verzahnung, Axiale Anpresskraft [N]
$F_{\text{bn}}$	Normalkraft am Zahnkopf [N]
$F_{\text{DA}}$	Umfangskraft zwischen Differentialachse und Ausgleichsrad [N]
$F_E$	Einspurkraft [N]
$F_F$	Federkraft in der Arretierung bzw. im Freilauf [N]
$F_f$	Fliehkraft [N]
$F_{\text{Hand}}$	Aufgebrachte Handkraft am Handschalthebel [N]
$F_h$	Strömungskraft [N]
$F_k$	Kolbenkraft an Lamellenbremse oder -kupplung [N]
$F_L$	Luftwiderstand [N]
$F_{\text{lv}}$	Vorspannkräfte der Kegelrollenlagerung [N]
$F_N$	Normalkraft im Reifenaufstandspunkt / am Synchronkonus [N]
$F_{\text{Pedal}}$	Kraft am Kupplungspedal [n]
$F_R$	Rollwiderstandskraft, Reibkraft [N]
$F_r, F_{\text{rad}}$	Radialkomponente der Verzahnungskräfte, radiale Lagerkraft [N]
$F_{\text{rutsch}}$	Rutschgrenze [N]
$F_S$	Synchronkraft, Kraft an einer rastierten Stange [N]
$F_{\text{St}}$	Steigungswiderstand [N]
$F_t$	Nennumfangskraft am Teilkreis [N]
$F_W$	Gesamtfahrwiderstand [N]
$F_u$	Umfangskraft am Zahneingriff bzw. am Reifen [N]
$f$	Füllgrad [-]
$f_R$	Rollwiderstandsbeiwert [-]
$f_{\text{pe}}$	Eingriffsteilungsabweichung [-]
$f_{\text{ax}}, f_{\text{rad}}$	Axiale und radiale Einfederung von Wälzlagern [mm]
$f_w$	Reibfaktor [-]
$g$	Erdbeschleunigung $g = 9.81 \text{ m/sec}^{-2}$
$h_S$	Schwerpunktshöhe [mm]
$h$	Maßstabshöhe im KUTZBACH-Plan [mm]
$I_S, I_E$	Synchronisierimpuls, Einspurimpuls [Nsec]
$I_t, I_b$	Flächenträgheitsmoment für Torsion bzw. Biegung [mm <sup>4</sup> ]
$i$	Übersetzung eines Getriebes oder einer Betätigung [-]
$i_0$	Standübersetzung von Planetengetrieben [-]
$i_{\text{Anfahr}}$	Anfahrübersetzung [-]
$i_G$	Spreizung [-]
$i_{\text{Gelände}}$	Geländeübersetzung [-]
$i_{\text{Hydr. Betätigung}}$	Übersetzung der hydraulischen Kupplungsbetätigung [-]
$i_{\text{Schongang}}$	Schongangübersetzung für minimalen Kraftstoffverbrauch [-]
$i_{v, \text{max}}$	Höchstgeschwindigkeitsübersetzung [-]
$i_{\text{Seilzug}}$	Übersetzung der Seilzugbetätigung der Kupplung [-]
$j_F, j_H$	Ist-Sicherheit gegen Zahnbruch und Grübchenbildung [-]



$K_A, K_A^*$	Dimensionsloser und dimensionsbehafteter Anwendungsfaktor
$K_F$	Zahnfußfestigkeit, statischer Festigkeitskennwert [MPa]
$K_{F\alpha}$	Stirnfaktor [-]
$K_{F\beta}$	Breitenfaktor [-]
$K_{FG}$	Zahnfußtragfähigkeit [MPa]
$K_{H\beta}$	Breitenfaktor [-]
$K_{H\alpha}$	Stirnfaktor [-]
$K_{HG}$	Zahnflankentragfähigkeit [MPa]
$K_V$	Dynamikfaktor [-]
$K_{zul}$	Festigkeitsgrenzwert für die Wellendimensionierung [MPa]
$k$	Allgemeiner Zählindex, Neigungsexponent [-]
$k(v_w)$	Hilfsfaktor der Wandlerabstimmung [Nm min <sup>2</sup> ]
$k_{ij}$	Drehzahlverhältnis am Planetensatz [-]
$k_F, k_H$	Neigung von Zahnfuß- und Zahnflanken-Wöhlerlinie [-]
$L, l$	Strecken an Fahrzeug und Kupplungsbetätigung [mm]
$L, L_q$	Allg. Lebensdauer, relative Lebensdauer eines Wälzlagers [%]
$l_{eff}$	Effektive tragende Länge der Kontaktzone [mm]
$M_b$	Biegemoment [Nm]
$M_d$	Diametrales Zweikugelmaß [mm]
$\mathcal{M}$	Mittlerer Stromfaden des Wandlers
$m$	Masse allgemein [kg], Lasthorizonte im Zeitfestigkeitsbereich [-]
$m_n$	Normalmodul [mm]
$N$	All. Schwingenspielzahl, Umfang des Auslegungskollektivs [-]
$N_D$	Eckschwingspielzahl, Übergang der Zeit- zur Dauerfestigkeit [-]
$N_{F,lim}, N_{H,lim}$	Eckschwingspielzahl von Zahnfuß- / Zahnflanken-Wöhlerlinie [-]
$N_P$	Anzahl der Planetenräder [-]
$N_c$	Anzahl der rotierenden Komponenten im Antriebstrang [-]
$N_s$	Anzahl der Gangstufen [-]
$n$	Allg. Drehzahl [u/min]
$n_{e,min}$	Motordrehzahl im optimalen Betriebspunkt [u/min]
$n_{nenn}$	Motordrehzahl im Nennleistungspunkt [n/min]
$P$	Allgemeine Leistung [kW], äquivalente Ersatzlast [N]
$P_{reib}$	Reibleistung [kW]
$P_{R/S}$	Leistung von Steigungs- und Rollwiderstand [kW]
$P_a$	Beschleunigungsleistung [kW]
$p$	Druck [MPa], Teilung [mm], Lebensdauerexponent [-]
$p_{me}$	Effektiver Mitteldruck [Pa]
$p_{Öl}$	Öldruck [Pa]
$p_{H,stat}, p_{H,dyn}$	Zulässige HERTZ'sche Pressung statisch/dynamisch [MPa]
$q, q_j$	Lastwechselzahl allg. bzw. des Lasthorizonts $j, j = 1, \dots, s$ [-]
$q_H$	Hilfsgröße der Verzahnungsberechnung [-]
$R$	Radien allgemein [mm]
$Re$	REYNOLDS-Zahl [-]
$R, R_z, R_{max}$	Oberflächenrauigkeiten [ $\mu$ m]
$R_{dyn}$	Dynamischer Reifenradius [m]

# XVIII Symbolverzeichnis

$R_m$	Zugfestigkeit [MPa]
$R_{p0,2}$	0,2%-Dehngrenze [MPa]
$r$	Ruck [m/s <sup>3</sup> ], Radialkoordinate [mm]
$r_a, r_i, r_m$	Äußerer, innerer und mittlerer Reibbelagdurchmesser [mm]
$r_w$	Wälzkreisradius [mm]
$S_{\text{quer}}$	Sperrwert in Fahrzeugquerrichtung [-]
$S_S$	Sperrwert der Synchronisation [-]
$S_w$	Wandlerschlupf [%]
$s$	Laufstrecke [km], Gesamtanzahl der Lasthorizonte [-]
$s_s$	Stoßfaktor der Wandlerverlustberechnung [-]
$T$	Allg. Torsionsmoment [Nm]
$T_D$	Schleppmoment (d = drag) [Nm]
$T_{\text{Drill}}$	Bohrmoment [Nm]
$T_L$	Konstantes Lastmoment [Nm]
$T_{\text{nenn}}$	Nennmoment des Verbrennungsmotors [Nm]
$T_S$	Stützmoment am Gehäuse [Nm]
$T_s$	Sperrmoment [Nm]
$t$	Zeit allgemein [sec]
$t_S$	Zeit bis zum Stillstand im Ausrollversuch, Synchronzeit [sec]
$U$	Umfang [mm]
$u$	Zähnezahlverhältnis [-], Absenkung der Welle unter Last [mm], Umfangsgeschwindigkeit [m/sec]
$V$	Volumen allgemein [mm <sup>3</sup> ]
$\mathcal{V}$	Vertrauenskennziffer [-]
$V_H$	Gesamthubvolumen des Hubkolbenmotors [cm <sup>3</sup> ]
$v$	Allgemeine Geschwindigkeit [m/sec]
$v_w$	Drehzahlverhältnis des Wandlers [-]
$W_{\text{reib}}$	Reibarbeit beim Anfahr- oder Synchronisationsvorgang [W]
$W_{\text{stoss}}$	Maximale Verformungsenergie beim Schubschocktest [W]
$w$	Wellendurchbiegung [mm], Relativgeschwindigkeit [m/sec]
$w_1$	Richtung des Wälzleistungsfluss [-]
$w_{\text{reib}}$	Spezifische Reibarbeit [W/mm <sup>2</sup> ]
$W_t, W_b$	Widerstandsmomente für Torsion bzw. Biegung [mm <sup>3</sup> ]
$X$	Radialfaktor der Lagerbeanspruchung [-]
$x$	Motorposition, Feder- und Verschiebeweg [mm], Achslast [-]
$x_1, x_2$	Profilverschiebung von Ritzel und Rad [-]
$Y$	Axialfaktoren der Lagerbeanspruchung [-]
$Y_{\text{Fa}}$	Formfaktor [-]
$Y_{\text{FS}}$	Kopffaktor [-]
$Y_{\text{NT}}$	Lebensdauerfaktor [-]
$Y_{\text{ST}}$	Spannungskorrekturfaktor [-]
$Y_{\text{Sa}}$	Spannungskorrekturfaktor [-]
$Y_X$	Größenfaktor Zahnfuß [-]
$Y_\beta$	Schrägungsfaktor [-]
$Y_{\delta \text{ rel T}}$	Relative Stützziffer [-]

$Y_{\epsilon}$	Überdeckungsfaktor [-]
$Z_E$	Elastizitätsfaktor [-]
$Z_H$	Zonenfaktor [-]
$Z_L$	Schmierstofffaktor [-]
$Z_{NT}$	Lebensdauerfaktor [-]
$Z_R$	Rauhheitsfaktor [-]
$Z_V$	Geschwindigkeitsfaktor [-]
$Z_W$	Werkstoffpaarungsfaktor [-]
$Z_X$	Größenfaktor für Flankenpressung [-]
$Z_{\beta}$	Schrägungsfaktor [-]
$Z_{\epsilon}$	Überdeckungsfaktor [-]
$z$	Allgemeine Zähnezahl eines Stirn- oder Kegelrades [-]
$z_c$	Anzahl identischer Reibflächen [-]
$z_k$	Zähnezahl der Sperrverzahnung [-]
$z_{nx}$	Zähnezahl der Ersatz-Geradstirnräder [-]

## Griechische Buchstaben

$\alpha$	Knick- oder Beugewinkel, Neigungswinkel, Klemmwinkel [°]
$\alpha_n$	Normaleingriffswinkel, Kegelradeingriffswinkel [°]
$\alpha_{kb}, \alpha_{kt}$	Formzahlen für Biege- und Torsionsbeanspruchung [-]
$\alpha_t$	Eingriffswinkel im Stirnschnitt am Teilkreis [°]
$\alpha_{wt}$	Betriebseingriffswinkel im Stirnschnitt [°]
$\beta$	Schrägungs-, Schwenk-, Dach- oder Rampenwinkel [°]
$\beta_b$	Grundschrägungswinkel [°]
$\beta_m$	Mittlerer Schrägungswinkel schrägverzahnter Kegelräder [°]
$\gamma$	Verdehkwinkelspiel, Biegewinkel [°]
$\Delta(\bullet)$	Abschnitt, Ausschnitt, Anteil, Inkrement einer Größe •
$\delta$	Öffnungswinkel von Kegelrädern [°]
$\delta_F$	Reibwinkel der Arretierung [°]
$\delta_H$	Abplattung der HERTZ'schen Kontaktpartner [mm]
$\delta_S$	Nachgiebigkeit der Flanschschauben [mm/N]
$\epsilon_{\alpha}, \epsilon_{\beta}, \epsilon_{\gamma}$	Profil-, Sprung- und Gesamtüberdeckung [-]
$\zeta$	Parametrierung der Rastierkontur
$\eta$	Wirkungsgrad allgemein [-]
$\eta_0$	Standwirkungsgrad einer Planetenstufe [-]
$\Theta$	Allgemeines Trägheitsmoment einer Komponente [kgm <sup>2</sup> ]
$\theta_{\dot{O}l}$	Öltemperatur [°C]
$\theta_c$	Temperatur des Kupplungsbelags [°C]
$\kappa, \kappa_I, \kappa_A$	Koeffizienten der Wirkungsgradgleichung von Stirnradstufen [-]
$\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3$	Hilfsgrößen der Verzahnungsberechnung [-]
$\lambda$	Drehzahlmassenfaktor, Leistungszahl [-]
$\mu$	Allgemeiner Haft- oder Gleitreibungsbeiwert [-]

$\mu_W$	Wandlungsfaktor des Trilokwandlers [-]
$\mu_k$	Wandlung der hydrodynamischen Kupplung ( $\mu_k = 1$ ) [-]
$\nu_R, \nu_F, \nu_H, \nu_{th}$	Soll-Sicherheiten: Rutschen, Zahnfußbeanspruchung,
$\nu_L$	Zahnflankenbeanspruchung, Thermische Überlastung, Lebensdauer [-]
$\nu_{Fluid}$	kinematische Viskosität des Wandlerfluids [ $m^2/sec$ ]
$\Xi_S$	Verhältnis Einspurkraft zu Synchronisierkraft [-]
$\xi_H$	Koeffizient der HERTZ'schen Theorie [-]
$\rho$	Kerbradius [mm]
$\rho^*$	Kumuliertes Krümmungsmaß der Kontaktgeometrie [1/mm]
$\rho_L$	Dichte der Luft [ $Kg/m^3$ ]
$\rho_{Öl}$	Dichte des Hydrauliköls bzw. des Wandlerfluids [ $Kg/m^3$ ]
$\rho, \rho_e, \rho_1, \rho_2$	Krümmungsradien in der HERTZ'schen Theorie [mm]
$\sigma_a$	Wirkende Spannungsamplitude [MPa]
$\sigma_D$	Dauerhaft ertragbare Spannungsamplitude (Dauerfestigkeit) [MPa]
$\sigma_F, \sigma_{F0}$	Biegespannung am Zahnfuß [MPa]
$\sigma_{F,lim}$	Dauerhaft ertragbare Zahnfußspannung [MPa]
$\sigma_H, \sigma_{H0}$	Flächenpressung an der Zahnflanke [MPa]
$\sigma_{H,lim}$	Dauerhaft ertragbare Zahnflankenpressung [MPa]
$\sigma_m$	Mittelspannung [MPa]
$\sigma_W, \sigma_{bW}, \tau_{tW}$	Wechselfestigkeiten des Wellenwerkstoffs [MPa]
$\zeta_H$	Koeffizient der HERTZ'schen Theorie [-]
$\tau_{ABE}$	Rutschzeit der Kupplung bei Anfahrt [sec]
$\tau_{sync}$	Rutschzeit der Synchronisation beim Gangwechsel [sec]
$\tau_W$	Wandschubspannung [MPa]
$\cos \tau$	Hilfsgröße der HERTZ'schen Theorie [-]
$\phi$	Winkeldifferenz am Kreuzgelenk [°]
$\varphi_N$	Nickbewegung des Fahrzeugs [-]
$\varphi_i$	Winkel im KUTZBACH-Plan
$\varphi_k$	Allg. Stufensprung, $k = 1, \dots, N - 1$ [-]
$\varphi_{theo}$	Theoretischer Soll-Stufensprung bei geometrischer Stufung [-]
$\chi_H$	Koeffizient der HERTZ'schen Theorie [-]
$\psi$	Progressionsfaktor [-], Verdrehung der Welle, Lagerdruckzone [°], Widerstandsbeiwert [-]
$\omega$	Allgemeine Winkelgeschwindigkeit [1/sec]
$\omega_{vh}$	Geschwindigkeit des Stoßmodells beim Schubschocktest [1/sec]

## Indizes und Superskripte

$\bar{\bullet}$	Größe $\bullet$ wird gemittelt
$\dot{\bullet}$	Zeitableitung der Größe $\bullet$
$\bullet(\ )$	Größe $\bullet$ hängt von Variablen in der Klammer ab
0	Anfangswert
1, 2	Kenngrößen von Ritzel und Rad ( $z_1 < z_2$ )
A	Kennzeichnet Größen des Sonnenrades beim Planetensatz
AA	Größen des Achsantriebskegelrades (AA) am Differential
AR	Größen des Ausgleichskegelrades (AR) am Differential
Achs	Kenngröße des Achsantriebs
an, ab	Bezogen auf An- bzw. Abtrieb des Getriebes
B	Kennzeichnet Größen des Hohlrades beim Planetensatz
BG	Größe des Bereichsgetriebes von Nutzfahrzeugen
C	Kriechgang, Größen des Stegs beim Planetensatz
CH	Größe wirkt am Kupplungsgehäuse
c	Größen der Sekundärseite der Kupplung
D	Kennzeichnet Größen des Differentials
E	Kenngrößen des schädigungsäquivalenten Rechteckkollektivs
ein	Eingangsgröße
erf	Erforderlicher Mindestwert
Flansch	Größe bezieht sich auf den Gehäuseflansch
f	Größe beschreibt die Druckverluste im Wandler
GH	Größe wirkt am Getriebegehäuse
Get	Kenngröße des Getriebes
HG	Größe des Hauptgetriebes von Nutzfahrzeugen
h	Größe bezieht sich auf die Hinterachse
hydro	Kennzeichnet hydraulischen Teilleistungszweig
$j, k$	Zähl- und Summationsindizes
K	Kenngrößen der Kupplungsleistung bei Planetensätzen
k	Kenngrößen des Synchronkonus
L	Größe bezieht sich auf ein Losrad
max, min	Kennzeichnet maximale bzw. minimale Größen
mech	Kennzeichnet mechanischen Teilleistungszweig
mot	Kennzeichnet Kenngrößen des Verbrennungsmotors
N	Kennzeichnet Größen der Fahrzeugnickbewegung
nenn	Kennzeichnet Nenngrößen
opt	Kennzeichnet optimale Zustände
P	Größen des Pumpenrades beim Wandler oder der Planetenräder
R	Größen des Rückwärtsgangs oder des Leitrades beim Wandler
Rad	Bezogen auf ein angetriebenes Rad
reac	Reaktionsgröße
reib	Kennzeichnet Größen einer Reibpaarung
rel, red, res	Kennzeichnet relative, reduzierte oder resultierende Größen
SG	Größe des Splitgetriebes von Nutzfahrzeugen

## XXII Symbolverzeichnis

s	Größe beschreibt die Stoßverluste im Wandler
s-p, s-p	Primär- und Sekundärseite der Synchronisation
sm, sr	Größen an Schaltmuffe und Synchronring
soll	Vorgabegröße der Auslegung
T	Kennzeichnet Größen des Turbinenrades beim Wandler
tr	Größe bezieht sich auf einen Anhänger
u	Umfangskomponente
v	Verlustgröße, Kenngröße der Vorderachsen
veh	Kennzeichnet Fahrzeuggrößen
W	Größe einer Welle, Kenngrößen der Kupplungsleistung
zul	Kennzeichnet zulässige Grenzen

Leistungsübertragung in Fahrzeuggetrieben  
Grundlagen der Auslegung, Entwicklung und  
Validierung von Fahrzeuggetrieben und deren  
Komponenten

Kirchner, E.

2007, XXII, 699 S., Hardcover

ISBN: 978-3-540-35288-4