

Harald Naunheimer · Bernd Bertsche · Gisbert Lechner

Fahrzeuggetriebe

Harald Naunheimer · Bernd Bertsche
Gisbert Lechner

Fahrzeuggetriebe

Grundlagen, Auswahl, Auslegung
und Konstruktion

In Zusammenarbeit mit
Joachim Ryborz und Wolfgang Novak

2., bearbeitete und erweiterte Auflage

Mit 488 Abbildungen und 85 Tabellen

 Springer

Dr.-Ing. Harald Naunheimer

Leiter Entwicklung
Pkw-Automatgetriebe
ZF Getriebe GmbH
Graf-von-Soden-Platz 1
88046 Friedrichshafen

Professor Dr.-Ing. Gisbert Lechner †

Professor Dr.-Ing. Bernd Bertsche

Geschäftsführender Direktor
Universität Stuttgart
Institut für Maschinenelemente
Pfaffenwaldring 9
70569 Stuttgart

Unter Mitarbeit von

Dr.-Ing. Joachim Ryborz

Technischer Projektleiter
Entwicklung Getriebe für
Transporter und leichte Nkw
ZF Friedrichshafen AG
Ehlersstraße 50
88038 Friedrichshafen

Dipl.-Ing. Wolfgang Novak

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Universität Stuttgart
Institut für Maschinenelemente
Pfaffenwaldring 9
70569 Stuttgart

Zuvor erschienen unter: Lechner/Naunheimer, *Fahrzeuggetriebe*.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 3-540-57423-9 1. Aufl. Springer Berlin Heidelberg New York

ISBN 978-3-540-30625-2 2. Aufl. Springer Berlin Heidelberg New York

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk-sendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Springer ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media
springer.de

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Satz: Digitale Vorlage der Autoren

Herstellung: LE-TeX Jelonek, Schmidt & Vöckler GbR, Leipzig
Einbandgestaltung: WMXDesign GmbH, Heidelberg

Gedruckt auf säurefreiem Papier 68/3100/YL – 5 4 3 2 1 0

Vorwort zur 2., überarbeiteten und erweiterten Auflage

Fahrleistungen steigern, Fahr- und Bedienkomfort erhöhen, Zuverlässigkeit und Lebensdauer erhöhen, Gewicht und Bauraum reduzieren, Wirkungsgrad verbessern, Markenimage unterstreichen, Kosten reduzieren und über allem steht: Kraftstoffverbrauch und Schadstoffemissionen senken. Das sind Anforderungen bei der Neu- und Weiterentwicklung von Fahrzeuggetrieben. Die Märkte und Marktmechanismen für Pkw und Nkw sind unterschiedlich und damit auch die Gewichtung der Anforderungen. Gemeinsam ist, dass die vorgenannten Anforderungen zwangsläufig zu Zielkonflikten führen. Ansätze zu deren Lösung sind einsatzoptimierte individuelle Getriebeleistungen, höhere Integration von Submodulen in das Getriebe, das Einbringen von mehr Funktionalität und die Vernetzung mit anderen Fahrzeugkomponenten. Seit dem Erscheinen der 1. Auflage im Jahr 1994 hat sich auf dem Fahrzeug- und Getriebebereich viel getan!

Bei Pkw bewirkt der Trend zur Individualisierung eine starke Segmentierung mit zahlreichen Fahrzeugklassen. Das hat auch bei den Getrieben zu einer starken Diversifizierung der Getriebebauarten mit individuellen Lösungen und konkurrierenden Konzepten geführt: Handschaltgetriebe (MT), Automatisierte Schaltgetriebe (AMT), Doppelkupplungsgetriebe (DCT), konventionelle Automatgetriebe (AT), Stufenlosgetriebe (CVT) und Hybridantriebe (Hybrid). Es gibt nicht mehr nur „schwarz oder weiß“, Handschalt- oder konventionelle Automatgetriebe, wie noch 1990.

Bei Nkw-Getrieben sind die mechanischen Stufengetriebe mit 6 bis 16 Gängen in Ein- oder Mehrgruppenbauweise Standard. Im Segment der schweren Nutzfahrzeuge haben sich vor allem in Europa die Automatisierten Schaltgetriebe (AMT) durchgesetzt. Ihr Weg ging über teilautomatisierte Bauarten bis hin zum vollautomatisierten Getriebe. Durch die zunehmende Integration von Peripherieteilen und Submodulen in das Getriebe entstehen kompaktere, leichtere und zuverlässigere Aggregate.

Viele Innovationen im Bereich Fahrzeuggetriebe werden maßgeblich von Elektrik, Elektronik, Aktuatorik und Sensorik bestimmt. Ein großer Anteil der Funktionalität und damit des Kundennutzens von Getriebesystemen wird über Software realisiert. Das Mehr an Funktionsinhalten und die Vernetzung mit anderen Komponenten des Fahrzeugs führt auch zu veränderten Verantwortungsschnittstellen zwischen Fahrzeug- und Getriebeherstellern.

Die richtige Einschätzung der Markt-, Technik-, und Technologietrends ist von hoher Bedeutung. Es gilt, die zukünftigen Anforderungen frühzeitig zu erkennen, zu bewerten und daraus Strategien und neue Produkte abzuleiten, diese kostengünstig und mit hoher Qualität zu entwickeln und in Serie zu bringen. Es ist das Ziel dieses Buchs, dazu einiges an Rüstzeug zu vermitteln. Es will den Produktentstehungsprozess für Fahrzeuggetriebe in seiner Gesamtheit darstellen.

Mit der 2. Auflage werden Neuerungen auf dem Gebiet der Fahrzeuggetriebe in die bewährte Systematik der 1. Auflage eingebettet. Etwa 40 % des Inhalts der 2. Auflage ist neu oder mit neuen Daten überarbeitet. Es geht aber nach wie vor nicht darum, die allerletzten Entwicklungen zu zeigen oder alle Feinheiten vorzustellen. Vielmehr soll das Grundlegende und Allgemeingültige vermittelt werden. Dazu werden theoretische Grundlagen dargelegt und neben aktuellen Konstruktionen auch Getriebesysteme erläutert, die nicht mehr in Produktion sind.

Ohne die tatkräftige Arbeit der Mitautoren Joachim Ryborz und Wolfgang Novak wäre dieses Buch nicht entstanden. Sie haben durch große Zeitopfer mit ihren Textbeiträgen, Recherche- und Organisationsarbeiten wesentlich zum Gelingen beigetragen. Um den Praxisbezug stärker herauszustellen, haben bei der 2. Auflage des Buchs auch Fachleute aus unterschiedlichen Teilgebieten und Firmen ihr Wissen eingebracht. Ihnen gilt unser Dank: *Historie*: Hans-Jörg Dach (ZF); *Pkw-MT/AMT*: Christian Hoffmann (Getrag); *Pkw-DCT*: Michael Schäfer (VW), Michael Kislak (VW), Michael Ebenhoch (ZF); *Pkw-AT*: Christoph Dörr (Mercedes-Benz); *Pkw/Nkw-Hybrid*: Stefan Kilian (ZF); *Pkw-CVT*: Peter Schiberna (Audi); *Nkw-AMT*: Carsten Gitt (Mercedes-Benz); *Nkw-CVT*: Karl Grad (ZF); *Verzahnung*: Franz Joachim (ZF); *Betriebsfestigkeit*: Karl-Heinz Hirschmann (Uni Rostock); *Akustik*: Martin Hildebrand (Ford); *Äußere Schaltung*: Andreas Giefer (ZF); *Lamellenkupplungen*: Dietmar Frey (ZF); *Trockenlaufende Kupplungen*: Benedikt Schauder (ZF Sachs); *Nasslaufende Doppelkupplungen*: Johannes Heinrich (BorgWarner); *Lager*: Oskar Zwirlein (FAG); *Dichtungen*: Werner Haas (Uni Stuttgart); *Retarder*: Reinhold Pittius (Voith); *Allrad*: Dieter Schmidl (Magna Powertrain), Andreas Allgöwer (Getrag), Hubert Gröhlich (VW); *Elektronische Getriebesteuerung*: Josef Schwarz (ZF); *Berechnungswerkzeuge*: Marco Plieske (ZF); *Fahrsimulation*: Friedemann Jauch (ZF); *Fertigung*: Christian Wagner (ZF); *Erprobung*: Peter Brodbeck (Porsche) sowie vielen anderen, die uns mit Rat und Expertise unterstützt haben.

Für aktuelles und praxisnahes Bildmaterial danken wir den Firmen: Allison, Audi, BMW, BorgWarner, Eaton, Ford, Getrag, Honda, LuK, Magna Powertrain, Mercedes-Benz, Opel, Porsche, Toyota, Voith und VW. Besonderer Dank für all die gegebene Unterstützung bei der Entstehung dieses Buchs gilt der ZF.

Unterstützt wurden wir bei Recherche- und Satzarbeiten durch Silvia Haudek und Johannes Pfahler. Für das professionelle Lektorat danken wir Christine Hebig. Die vielen Bilder hat Alexander Sperling mit großer Sorgfalt aufbereitet bzw. neu erstellt. Ihm gilt unser Dank.

Dem Springer-Verlag ist für die gute Zusammenarbeit zu danken. Unser besonderer Dank gebührt unseren Familien für große Geduld, Verständnis und Unterstützung während den drei Jahren der Ausarbeitung.

Im Jahr 2002 verstarb Prof. Dr.-Ing. Gisbert Lechner, Begründer des Lehrgebiets Fahrzeuggetriebe am Institut für Maschinenelemente der Universität Stuttgart. Er war Initiator und Autor der 1. Auflage des Buchs Fahrzeuggetriebe. Die 2. Auflage sehen wir als Würdigung und Fortführung seiner Arbeit.

Vorwort

H. Reichenbächer hat 1953 das erste Konstruktionsbuch über Fahrzeuggetriebe verfasst. Damals fertigte die deutsche Automobilindustrie 490 581 Fahrzeuge: Personen-, Kombinations-, Lastkraftwagen, Kraftomnibusse und Straßenzugmaschinen. 1992 lag die Produktion bei 5,2 Millionen. Entsprechend dem damaligen Stand der Technik konnte sich das Buch von Reichenbächer mit wenigen wesentlichen Punkten befassen: Grundformen der Getriebe, Wahl der Getriebestufen, Stand-Getriebe, Umlauf-Getriebe, Berechnung der Zahnräder, Föttingerkupplung und Strömungswandler.

Fahrzeug- und Getriebetechnik waren und sind einer steten Evolution unterworfen. Der heutige Stand der Technik ist gekennzeichnet vom Systemdenken:

Umwelt – Verkehr – Fahrzeug – Getriebe.

Fragen wie Wirtschaftlichkeit, Umwelt- und Benutzerfreundlichkeit stehen im Vordergrund. Der Gebrauchsnutzen eines Getriebes ist gekennzeichnet durch seinen Einfluss auf das Zugkraftangebot, auf den Kraftstoffverbrauch sowie auf Zuverlässigkeit, Lebensdauer, Geräuscharmheit und Bedienerfreundlichkeit des Fahrzeugs. Sowohl in der Entwicklungsmethodik als auch in der Werkstofftechnologie und nicht zuletzt in der Festigkeitsberechnung ergeben sich neue Möglichkeiten, die bei einer modernen Entwicklung genutzt werden müssen. Wir erinnern an Betriebsfestigkeitsberechnungen, an die Einführung gezielter Zahnflankenkorrekturen, an die Berücksichtigung der Gehäuseverformung und an die Notwendigkeit zum Leichtbau.

Die konstruktive Ausführung der Getriebe wurde durch viele Varianten bereichert. Die handgeschalteten zweistufigen Vorgelegegetriebe, bevorzugt für Motor-Längsanordnung, und die einstufigen Vorgelegegetriebe, bevorzugt für Motor-Queranordnung, werden heute durch viele Sonderbauformen ergänzt: z.B. Automatgetriebe, Stufenlosgetriebe, Wandlerkupplungsgetriebe, Doppelkupplungsgetriebe oder Getriebe für Allradantrieb.

Motor und Getriebe müssen zunehmend als eine Funktionseinheit betrachtet werden. Man spricht von Powertrain-Matching und von Motor-/Getriebemanagement. Dies kann nur erreicht werden, wenn sowohl im Motorbereich als auch im Getriebebereich elektronische Bauteile mit mechanischen Bauteilen integriert und verknüpft werden. Das in den 60er Jahren entstandene „Methodische Konstruieren“ und der zunehmende Rechnereinsatz für Auslegung, Simulation und Konstruktion (CAD) führen zu immer kürzeren Entwicklungszeiten. Diese werden auch von der Notwendigkeit zur Wettbewerbsfähigkeit erzwungen. Hierzu leistet auch eine systematische Produktplanung ihren Beitrag.

Es war daher notwendig, das Konstruktionsbuch „Fahrzeuggetriebe“ von Grund auf neu zu gestalten. Den modernen Entwicklungen war Rechnung zu tragen. Dabei macht die Auffächerung der Problemvielfalt bei der Getriebeentwicklung die Auswahl des Stoffs für diese völlige Neufassung des Buchs Fahrzeuggetriebe schwer, zumal ein vorgeschriebener Rahmen nicht überschritten werden kann.

Nicht jedes Element des Fahrzeuggetriebes kann im Detail behandelt werden. Dort, wo auf fundierte Literatur zurückgegriffen werden kann, wurde versucht, den Text knapp zu halten und auf die Literatur zu verweisen.

Ziel des jetzt vorgelegten Buchs ist es, die Entwicklung von Fahrzeuggetrieben im steten Systemverbund mit der Entwicklung der Fahrzeuge darzustellen. Nur wer diese Wechselwirkung aktiv berücksichtigt, kann zu einer wettbewerbsfähigen Getriebekonstruktion kommen. Es gilt, die Grundzusammenhänge zwischen Antriebsaggregat, Fahrzeug und Getriebe einerseits, sowie dessen Funktionsausprägungen wie optimale Gangwahl, richtiger Stufensprung, Zugkraftdiagramm, Kraftstoffverbrauch, Lebensdauer und Zuverlässigkeit andererseits aufzuzeigen. Natürlich war es auch ein Hauptanliegen, die unterschiedlichen konstruktiven Ausprägungen moderner Fahrzeuggetriebe in geeigneten Konstruktionszeichnungen darzustellen.

Das Buch wendet sich an alle Ingenieure und Studenten der Fahrzeugtechnik, besonders aber an ausführende und leitende Ingenieure einer Getriebeentwicklung. Es soll als Nachschlagewerk für alle zur Getriebeentwicklung wichtigen Informationen dienen, und es soll darüber hinaus durch ein umfangreiches Literaturverzeichnis den Zugang zu weiterführendem und vertiefendem Schrifttum ermöglichen.

Ohne die Mithilfe zahlreicher Personen wäre dieses Buch nicht entstanden! Für Recherchenarbeit und für die Bearbeitung von Kapiteln danken wir Frau Dr.-Ing. Heidrun Schröpel, den Herren Dipl.-Ing. Wolfgang Elser, Dr.-Ing. Ekkehard Krieg, Dr.-Ing. Winfried Richter, Dipl.-Ing. Thomas Spörl, Dipl.-Ing. Thilo Wagner, Dr.-Ing. Georg Weidner und Prof. Dr.-Ing. habil. Lothar Winkler. Darüber hinaus haben zahlreiche Hilfsassistenten und Bearbeiter von Diplomarbeiten wichtige Detailarbeit geleistet. Frau Christine Häbich danken wir für das professionelle Korrekturlesen. Vielen Mitarbeitern und wissenschaftlichen Hilfskräften des Instituts für Maschinenelemente (IMA) danken wir für die Durchsicht von Fachkapiteln und das Aufspüren von Druckfehlern.

Ohne praxisnahes aktuelles Bildmaterial kann ein solches Buch nicht entstehen. Die Verfasser haben einer ganzen Reihe von Firmen für die Zurverfügungstellung von Bildern zu danken: Audi AG, BMW AG, Eaton GmbH, Fichtel & Sachs AG, Ford Werke AG, GETRAG, Mercedes-Benz AG, Adam Opel AG, Dr.-Ing. h.c. Porsche AG, und Volkswagen AG. Besonderer Dank gilt der ZF Friedrichshafen AG, die unseren vielen Bilderwünschen gegenüber immer aufgeschlossen war.

Unser Dank gebührt auch dem Springer-Verlag für die Bereitschaft, dieses Buch herauszugeben. Dabei möchten wir besonders Herrn M. Hofmann danken, er hat den Glauben an das Erscheinen dieses Buchs nie aufgegeben, und er hat mit sanftem, aber bestimmtem Druck dieses Erscheinen letztendlich erreicht. Herr Dr. Merkle hat dann dieses Werk zur Druckreife gebracht. Ebenfalls zu danken haben wir dem Herausgeber der Reihe „Konstruktionsbücher“, Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e.h. Gerhard Pahl für seine Geduld und seinen Rat. Dank gebührt nicht zuletzt auch unseren Familien für ihr Verständnis und ihre Unterstützung.

Stuttgart, im Mai 1994

Gisbert Lechner
Harald Naunheimer

Inhaltsverzeichnis

Bezeichnungen und Formelzeichen..... XVII

1	Einführung	1
1.1	Einleitung	1
1.2	Geschichte der Fahrzeuggetriebe	7
1.2.1	Basisinnovationen	7
1.2.2	Entwicklung von Fahrzeugen und Antriebsaggregaten	9
1.2.3	Entwicklungsschritte bei Fahrzeuggetrieben	10
1.2.4	Entwicklung von Verzahnungen und anderen Getriebebauelementen	20
1.2.5	Entwicklung hydrodynamischer Wandler und Kupplungen	23
1.2.6	Erforschung von Phänomenen: Getriebeverluste und Wirkungsgrad	25
1.2.7	Zusammenfassender Überblick	26
2	Überblick über das System Verkehr – Fahrzeug – Getriebe	28
2.1	Grundlagen der Verkehrs- und Fahrzeugtechnik	28
2.1.1	Bedeutung des Kraftfahrzeugs in unserer mobilen Welt	30
2.1.2	Entwicklungslinien der Verkehrstechnik	34
2.1.3	Transportsysteme für den Personen- und Güterverkehr	36
2.1.4	Alternative Transportkonzepte	40
2.2	Markt- und Entwicklungssituation bei Fahrzeugen und Fahrzeuggetrieben	41
2.2.1	Marktsituation und Produktionszahlen	42
2.2.2	Entwicklungssituation	46
2.3	Grundlagen der Fahrzeug- und Getriebetechnik	47
2.3.1	Systematik der Fahrzeuge und des Fahrzeugeinsatzes	48
2.3.2	Warum brauchen Fahrzeuge Getriebe?	49
2.3.3	Haupt- und Nebenfunktionen von Fahrzeuggetrieben, Anforderungsprofil	51
2.3.4	Grundzusammenhänge: Drehrichtung, Übersetzung, Drehmoment	52
2.3.5	Straßenprofile, Lastkollektive, typische Fahrzeugeinsätze und Fahrertypen	56
2.4	Elementare Leistungsmerkmale von Fahrzeuggetrieben	58
2.4.1	Lebensdauer und Zuverlässigkeit von Getrieben	59
2.4.2	Kennwert Achsabstand	60

2.4.3	Kennwert Getriebemasse	62
2.4.4	Kennwert Getriebekosten.....	64
2.4.5	Getriebegeräusch.....	66
2.4.6	Getriebeverluste und Wirkungsgrad.....	66
2.5	Trends bei den Getriebebauarten.....	67
3	Leistungsbedarf und Leistungsangebot.....	73
3.1	Leistungsbedarf.....	73
3.1.1	Radwiderstand.....	73
3.1.2	Kraftschluss, dynamischer Radhalbmesser und Schlupf.....	75
3.1.3	Luftwiderstand	77
3.1.4	Steigungswiderstand	79
3.1.5	Beschleunigungswiderstand	80
3.1.6	Gesamt-Fahrwiderstand	81
3.1.7	Wirkungsgradkennfeld.....	82
3.2	Vielfalt der Antriebsaggregate.....	85
3.2.1	Übersicht.....	86
3.2.2	Elektroantrieb mit elektrischem Energiespeicher.....	87
3.2.3	Elektroantrieb mit Brennstoffzelle.....	87
3.2.4	Hybridantrieb	89
3.3	Leistungsangebot, Motorkennnung von Verbrennungsmotoren.....	95
3.3.1	Drehmoment-/Drehzahlcharakteristik	95
3.3.2	Motorspreizung, Drosselklappenkennfeld.....	97
3.3.3	Verbrauchskennfeld	98
4	Kennnungswandler – Wahl der Übersetzungen.....	100
4.1	Antriebsstrang.....	101
4.2	Gesamtübersetzung und Getriebespreizung.....	102
4.2.1	Getriebespreizung $i_{G,ges}$	103
4.2.2	Wahl der größten Übersetzung $i_{A,max}$	104
4.2.3	Wahl der kleinsten Übersetzung $i_{A,min}$	105
4.2.4	Endübersetzung.....	109
4.3	Wahl der Zwischengänge	109
4.3.1	Geschwindigkeits-Drehzahl-Diagramm	111
4.3.2	Geometrische Gangabstufung	111
4.3.3	Progressive Gangabstufung.....	111
4.4	Übersetzungen und ihre Änderung bei Stufenlosgetrieben.....	113
5	Zusammenarbeit Verbrennungsmotor – Getriebe	115
5.1	Zugkraftdiagramm	117
5.1.1	Ermittlung eines Zugkraftdiagramms, Beispiel.....	119
5.1.2	Motorbremskraft	120
5.1.3	Stufengetriebe mit Trockenkupplung.....	123
5.1.4	Stufengetriebe mit Drehmomentwandler	123
5.2	Fahrleistungen	126
5.2.1	Höchstgeschwindigkeit	127

5.2.2	Steigvermögen.....	127
5.2.3	Beschleunigungsvermögen.....	128
5.3	Kraftstoffverbrauch	128
5.3.1	Rechnerische Kraftstoffverbrauchsermittlung, Beispiel.....	129
5.3.2	Kraftstoffverbrauchsermittlung durch Messung.....	131
5.3.3	Senkung des Kraftstoffverbrauchs	133
5.3.4	Stufenlosgetriebe.....	134
5.4	Emissionen	135
5.5	Dynamisches Verhalten des Antriebsstrangs, Komfort.....	138
6	Systematik der Fahrzeuggetriebe: Konstruktive Grundkonzepte	141
6.1	Anordnung des Getriebes im Fahrzeug.....	141
6.1.1	Personenkraftwagen	141
6.1.2	Nutzkraftwagen	144
6.1.3	Pkw mit Allradantrieb	147
6.1.4	Vereinfachte Darstellung der Quer- und Längsdynamik beim Allradantrieb.....	151
6.2	Bauformen und Bauarten von Getrieben	152
6.2.1	Bauform.....	153
6.2.2	Bauart	154
6.3	Grundsätzlicher Aufbau von Getrieben	155
6.3.1	Schalten mit Zugkraftunterbrechung.....	156
6.3.2	Schalten ohne Zugkraftunterbrechung	157
6.3.3	Stufenlose Getriebe ohne Zugkraftunterbrechung	158
6.4	Stand-, Vorgelege- und Umlauf-Getriebe.....	159
6.5	Lösungsprinzipien für Teilfunktionen, Bewertung.....	161
6.5.1	Lösungsfindung am Beispiel Rückwärtsgang	163
6.6	Pkw-Getriebe.....	164
6.6.1	Pkw-Handschaltgetriebe (MT).....	165
6.6.2	Automatisierte Pkw-Schaltgetriebe (AMT).....	170
6.6.3	Pkw-Doppelkupplungsgetriebe (DCT).....	173
6.6.4	Pkw-Automatgetriebe (AT).....	175
6.6.5	Pkw-Hybridantriebe	183
6.6.6	Pkw-Stufenlosgetriebe (CVT).....	187
6.7	Nkw-Getriebe	191
6.7.1	Nkw-Handschaltgetriebe (MT)	193
6.7.2	Automatisierte Nkw-Schaltgetriebe (AMT).....	208
6.7.3	Nkw-Wandlerschaltkupplungsgetriebe (WSK).....	214
6.7.4	Nkw-Automatgetriebe (AT).....	216
6.7.5	Nkw-Hybridantriebe.....	217
6.7.6	Nkw-Stufenlosgetriebe (CVT)	220
6.8	Endantriebe.....	223
6.8.1	Pkw-Achsgetriebe	224
6.8.2	Nkw-Achs- und Nabengetriebe	227
6.8.3	Differentialgetriebe, Differentialsperren und Sperrdifferentialle.....	229

6.8.4	Verteilergetriebe.....	235
6.9	Nebenabtriebe.....	236
7	Auslegung von Zahnradgetrieben für Fahrzeuge.....	238
7.1	Leistungsgrenzen und Berechnung von Zahnrädern.....	238
7.1.1	Schadensarten und ihre Ursachen	240
7.1.2	Berechnung der Zahnfußtragfähigkeit.....	245
7.1.3	Berechnung der Grübchentragfähigkeit	246
7.1.4	Berechnung der Fresstragfähigkeit.....	247
7.2	Überschlägige Berechnung des Achsabstands.....	248
7.3	Überschlägige Berechnung der Zahnbreiten.....	250
7.4	Betriebsfestigkeit und Lebensdauer.....	251
7.4.1	Wöhlerlinie.....	254
7.4.2	Lastkollektiv und Zählverfahren	256
7.4.3	Schadensakkumulationshypothese	259
7.5	Entwicklung geräuscharmer Getriebe.....	265
7.5.1	Getriebegeräusche und ihre Ursachen.....	266
7.5.2	Weg der Geräusche vom Entstehungsort zum Ohr	271
7.5.3	Beurteilungsmaßstäbe	272
7.5.4	Gegenmaßnahmen.....	275
8	Auslegung und Gestaltung von Wellen.....	280
8.1	Fahrzeuggetriebetypische Anforderungen.....	280
8.1.1	Anordnung von Wellen in Fahrzeuggetrieben	280
8.1.2	Beanspruchung und Festigkeitsauslegung.....	281
8.1.3	Durchbiegung.....	282
8.1.4	Schwingungsprobleme	282
8.2	Allgemeine Gestaltungshinweise.....	283
8.3	Festigkeitsauslegung einer Getriebeantriebswelle.....	285
8.3.1	Belastung.....	285
8.3.2	Lagerreaktionen	288
8.3.3	Die räumliche Balkenbiegung.....	288
8.3.4	Kraft- und Momentenverläufe.....	289
8.3.5	Kritischer Querschnitt	291
8.3.6	Spannungen.....	292
8.3.7	Vorauslegung des Wellendurchmessers.....	295
8.3.8	Auslegung auf Dauerfestigkeit.....	296
8.3.9	Auslegung auf Betriebsfestigkeit	296
8.3.10	Gebräuchliche Wellenwerkstoffe.....	298
8.4	Berechnung der Verformung.....	298
8.5	Ablaufdiagramm für die Auslegung von Getriebewellen.....	299
9	Schalteinrichtungen.....	302
9.1	Systematik der Schaltelemente.....	304
9.1.1	Schaltelemente für Getriebe mit Zugkraftunterbrechung.....	305
9.1.2	Schaltelemente für Getriebe ohne Zugkraftunterbrechung	308

9.1.3	Shift-by-wire	311
9.2	Auslegung und Gestaltung von Synchronisierungen	312
9.2.1	Anforderungen an Synchronisierungen	312
9.2.2	Ablauf des Synchronisiervorgangs	318
9.2.3	Auslegung von Synchronisierungen	323
9.2.4	Tribologisches System von Synchronisierungen	336
9.2.5	Konstruktive Ausführungen	338
9.2.6	Alternative Getriebesynchronisierungen	344
9.2.7	Detailfragen	345
9.3	Auslegung und Gestaltung von Lamellenkupplungen	346
9.3.1	Anforderungen an Lamellenkupplungen	348
9.3.2	Ablauf der Schaltung	348
9.3.3	Auslegung von Lamellenkupplungen	352
9.3.4	Tribologisches System von Lamellenkupplungen	358
9.3.5	Konstruktive Ausführungen	361
9.3.6	Detailfragen	366
9.4	Parksperren	368
9.4.1	Mechanisch aktivierte Parksperre	369
9.4.2	Elektrisch aktivierte Parksperre	371
9.4.3	Detailfragen	372
10	Anfahrelemente	374
10.1	Trockenkupplungen	377
10.1.1	Aufbau von Trockenkupplungen	377
10.1.2	Auslegung von Trockenkupplungen	388
10.1.3	Trockene Mehrscheibenkupplungen	390
10.2	Nasslaufende Kupplungen	391
10.3	Doppelkupplungen	393
10.4	Hydrodynamische Kupplungen und Drehmomentwandler	397
10.4.1	Grundlagen	398
10.4.2	Hydrodynamische Kupplungen und ihre Kennlinien	401
10.4.3	Hydrodynamische Wandler und ihre Kennlinien	403
10.4.4	Zusammenarbeit Motor und hydrodynamischer Wandler	404
10.4.5	Praktische Auslegung von hydrodynamischen Wandlern	410
10.4.6	Konstruktive Ausführungen	410
10.4.7	Konstruktionsprinzipien zur Wirkungsgradverbesserung	414
11	Auslegung und Gestaltung weiterer Konstruktionselemente	423
11.1	Lager	423
11.1.1	Auswahl von Wälzlagern	424
11.1.2	Auslegung von Wälzlagern	426
11.1.3	Gestaltung von Wälzlagerungen	430
11.1.4	Gleitlager – Lagerbuchsen und Anlaufscheiben	432
11.2	Schmierung von Getrieben, Getriebeschmierstoffe	434
11.2.1	Schmierung von Lagern	435
11.2.2	Grundlagen der Schmierung von Zahnradgetrieben	436

11.2.3	Wahl des Schmierstoffs.....	439
11.2.4	Wahl der Schmierstoffeigenschaften.....	440
11.2.5	Lebensdauerschmierung bei Fahrzeuggetrieben	443
11.2.6	Prüfung der Fresstragfähigkeit von Getriebeschmierstoffen.....	444
11.3	Ölversorgung und Ölpumpen	445
11.3.1	Ölversorgung.....	446
11.3.2	Ölpumpen.....	448
11.3.3	Detailfragen.....	455
11.4	Getriebegehäuse	457
11.4.1	Gestaltung von Getriebegehäusen.....	457
11.4.2	Entlüftung von Getrieben.....	459
11.5	Abdichtung von Getrieben.....	464
11.5.1	Dichtungen für ruhende Bauteile	464
11.5.2	Dichtungen für rotierende Bauteile.....	468
11.5.3	Dichtungen für hin- und hergehende runde Bauteile	470
11.5.4	Einbaubeispiele	471
11.5.5	Abnahmeprüfung zum Erkennen von Undichtigkeit.....	472
11.6	Fahrzeugdauerbremsen.....	473
11.6.1	Definitionen	475
11.6.2	Motorbremssysteme	475
11.6.3	Retarder.....	476
11.6.4	Betätigung und Einsatz	482
12	Beispiele ausgeführter Konstruktionen von Fahrzeuggetrieben	484
12.1	Pkw-Getriebe.....	484
12.1.1	Pkw-Handschaltgetriebe (MT).....	486
12.1.2	Automatisierte Pkw-Schaltgetriebe (AMT)	499
12.1.3	Pkw-Doppelkupplungsgetriebe (DCT).....	503
12.1.4	Pkw-Automatgetriebe (AT).....	508
12.1.5	Pkw-Hybridantriebe	516
12.1.6	Pkw-Stufenlosgetriebe (CVT).....	519
12.2	Nkw-Getriebe	525
12.2.1	Nkw-Handschaltgetriebe (MT)	527
12.2.2	Automatisierte Nkw-Schaltgetriebe (AMT).....	535
12.2.3	Nkw-Wandlerschaltkupplungs-Getriebe (WSK).....	544
12.2.4	Nkw-Automatgetriebe (AT).....	548
12.2.5	Nkw-Hybridantriebe	552
12.2.6	Nkw-Stufenlosgetriebe (CVT).....	553
12.3	Endantriebe.....	554
12.3.1	Pkw-Achsgetriebe	554
12.3.2	Nkw-Achs- und Nabengetriebe.....	557
12.3.3	Differentialgetriebe und Sperrdifferenziale	561
12.4	Allradantriebe, Verteilergetriebe	566
13	Elektronische Getriebesteuerung.....	579
13.1	Vernetzte Systeme	579

13.2	Elektronisches Getriebesteuergerät (TCU).....	580
13.2.1	Aufbau der TCU.....	581
13.2.2	Einsatzbedingungen und Aufbautechnologie.....	582
13.3	Steuerungssysteme.....	583
13.3.1	Getriebesteller.....	585
13.3.2	Kupplungssteller.....	586
13.3.3	Funktionen der Getriebesteuerung.....	586
13.3.4	Software.....	590
13.3.5	Weitere Beispiele für Getriebesteuerungssysteme.....	592
13.4	Getriebeabstimmung durch fahrzeugspezifische Bedatung der Getriebesoftware.....	594
14	Rechnerunterstützte Getriebeentwicklung.....	596
14.1	Grundlagen und Werkzeuge.....	597
14.2	Fahrsimulation.....	602
14.2.1	Simulation der Fahrzeuglängsdynamik.....	603
14.2.2	Streckendatensatz, Streckendatenerfassung.....	606
15	Entwicklungsprozess von Fahrzeuggetrieben.....	608
15.1	Produktlebensphasen.....	609
15.2	Produktstrategie, Produktplanung.....	611
15.3	Freigabestufen im Produktentstehungsprozess.....	612
15.4	Konstruktionsprozess und Methodisches Konstruieren.....	614
16	Fertigungstechnik von Fahrzeuggetrieben.....	623
16.1	Prozessketten zur Stahlteil-Bearbeitung.....	624
16.1.1	Weichbearbeitungsverfahren.....	625
16.1.2	Wärmebehandlungsverfahren.....	625
16.1.3	Hartbearbeitungsverfahren.....	625
16.2	Prozessketten zur Gussteilbearbeitung.....	626
16.2.1	Gießverfahren.....	627
16.2.2	Spanende Bearbeitung von Gussteilen.....	628
16.3	Prozessketten zur Verzahnungsbearbeitung.....	629
16.3.1	Weichbearbeitungsverfahren.....	629
16.3.2	Hartbearbeitungsverfahren.....	631
16.4	Prozessketten zur Blechteilbearbeitung.....	632
16.4.1	Blechtrennung.....	632
16.4.2	Blechumformung.....	633
16.5	Fertigungs- und Fabrikbetrieb.....	634
16.5.1	Arbeitsvorbereitung und Planung.....	634
16.5.2	Produktionssysteme.....	634
16.5.3	Statistische Prozesslenkung in der Fertigung.....	635
17	Zuverlässigkeit und Erprobung von Fahrzeuggetrieben.....	639
17.1	Grundlagen der Zuverlässigkeitstheorie.....	640
17.1.1	Definition der Zuverlässigkeit.....	640

17.1.2	Statistische Beschreibung und Darstellung des Ausfallverhaltens von Bauteilen	641
17.1.3	Mathematische Beschreibung des Ausfallverhaltens durch die Weibull-Verteilung.....	644
17.1.4	Zuverlässigkeit bei Systemen.....	649
17.1.5	Verfügbarkeit von Systemen.....	650
17.2	Zuverlässigkeitsanalyse von Fahrzeuggetrieben	651
17.2.1	Systemanalyse.....	652
17.2.2	Qualitative Zuverlässigkeitsanalyse.....	654
17.2.3	Quantitative Zuverlässigkeitsanalyse	656
17.3	Erprobung zur Sicherstellung der Zuverlässigkeit.....	661
17.3.1	Klassifizierung der Erprobungsprogramme von Fahrzeuggetrieben	662
17.3.2	Prüfstände für die Erprobungsprogramme	665
17.3.3	Simulation bei der Prüfstandserprobung	667
	Literaturverzeichnis.....	670
	Firmen-/Getriebeverzeichnis.....	695
	Namenverzeichnis.....	698
	Sachverzeichnis.....	699

Bezeichnungen und Formelzeichen

Eine Formel, die man nicht ableiten kann, ist eine Leiche im Gehirn /C. Weber/

Die Verknüpfung physikalischer Größen erfolgt mit mathematischen Gleichungen. Dabei wird zwischen zwei Schreibweisen unterschieden:

- Größengleichungen,
- Zahlenwertgleichungen.

Größengleichungen

Größengleichungen sind unabhängig von der gewählten Einheit und gelten grundsätzlich. Jedes Formelzeichen stellt die Kurzbezeichnung einer physikalischen Größe dar, die verschiedene Werte annehmen kann:

Wert der Größe = Zahlenwert · Einheit .

Beispiel: Für die Leistung P gilt allgemein

$$P = T \omega . \quad (1)$$

Dabei steht T für Drehmoment und ω für Winkelgeschwindigkeit.

Zahlenwertgleichungen

Kehrt eine Gleichung häufig wieder oder enthält sie Konstanten und Materialwerte, so werden die Einheiten zweckmäßigerweise zusammengefasst, die Einheiten sind dann nicht mehr frei wählbar.

In Zahlenwertgleichungen verkörpern die Formelzeichen nur den Zahlenwert einer Größe. Bei Zahlenwertgleichungen sind deshalb die Einheiten genau vorzuschreiben.

Beispiel: Zur praktischen Berechnung der Leistung P in kW, bei gegebener Drehzahl n in 1/min, wird die Gl. (1) in die Zahlenwertgleichung

$$P = \frac{T n}{9550} \quad (2)$$

umgeformt. Für die Zahlenwertgleichung (2) gilt die Vorschrift P in kW, T in Nm und n in 1/min.

Bezeichnungen und Formelzeichen

(nur soweit sie häufiger verwendet werden, sonst siehe Text)

A	Fläche, Querspanfläche = Projektion der Fahrzeugstirnfläche
A_R	Reibfläche der Synchronisierung
$A(t)$	Verfügbarkeit
B_{10}	System-Lebensdauer für eine Ausfallwahrscheinlichkeit von 10 %
B_x	System-Lebensdauer für eine Ausfallwahrscheinlichkeit von x %
C	Wälzpunkt, dynamische Tragzahl, Konstante
D	Durchmesser, Schädigung
D_{Koll}	Schadenssumme
D_{tat}	Tatsächliche Schadenssumme
D_{th}	Theoretische Schadenssumme
E	Elastizitätsmodul
F	Kraft
F_B	Bremskraft
F_H	Handkraft, Hangabtriebskraft
F_L	Luftwiderstand, Lagerkraft
F_Q	Querkraft
F_R	Radwiderstand
F_S	Seitenkraft
F_{St}	Steigungswiderstand
F_U	Umfangskraft
F_Z	Zugkraft
$F_{Z,A}$	Zugkraftangebot
$F_{Z,B}$	Zugkraftbedarf
F_a	Beschleunigungswiderstand, Axialkraft
F_{ax}	Anpresskraft der Kupplungsdruckplatte
F_n	Normalkraft
F_r	Radialkraft
F_t	Tangentialkraft
$F(t)$	Verteilungsfunktion, Ausfallwahrscheinlichkeit
G_R	Radlast
J	Massenträgheitsmoment
K_G	Getriebekennwert
K_H	Vorschaltsplit-Konstante High
K_{Haupt}	Konstante Hauptgetriebe
K_L	Vorschaltsplit-Konstante Low
K_R	Konstante Range
L	Lebensdauer, Schallpegel
M_b	Biegemoment
M_t	Torsionsmoment
M_v	Vergleichsmoment
N	Anzahl der Lastwechsel, Bruchspielzahl, Bauteillebensdauer

P	Leistung, äquivalente Lagerbelastung
P_{Λ}	Flächenbezogene Reibleistung
$P_{Z,B}$	Bedarfsleistung am Rad
P_m	Mittlere Reibleistung während der Rutschzeit einer Synchronisierung
Q	Querkraft, Volumenstrom
R	Reaktionskraft, Spannungsverhältnis
R_e	Streckgrenze
R_m	Zugfestigkeit
$R(t)$	Überlebenswahrscheinlichkeit, Zuverlässigkeit
S	Sicherheitsbeiwert, Sperricherheit bei Synchronisierungen, Schlupf, Sperrwert, Kegelscheibenradius
S_B	Bremsschlupf
S_H	Nachschaltsplitter High
S_L	Nachschaltsplitter Low
S_T	Treibschlupf
T	Drehmoment, Charakteristische Lebensdauer
T_B	Beschleunigungsmoment (Synchronisierung), Sperrmoment (Differential)
T_K	Kupplungsmoment
T_L	Lastmoment
T_M	Motormoment
T_R	Reibmoment, Rutschmoment
T_S	Schleppmoment
T_Z	Öffnungsmoment (Synchronisierung)
U	Umdrehungen
V	Verdrängungsvolumen (Ölpumpen)
V_H	Gesamthubvolumen
W	Widerstandsmoment, Arbeit, aufnehmbare Arbeit, Reiarbeit
W_A	Flächenbezogene (spezifische) Reiarbeit
W_b	Widerstandsmoment gegen Biegung
W_t	Widerstandsmoment gegen Torsion
a	Beschleunigung, Achsabstand
b	Formparameter, Ausfallsteilheit, Baulänge, Breite, Kraftstoffverbrauch
b_0	Größenfaktor
b_s	Oberflächenfaktor
b_e	Spezifischer Kraftstoffverbrauch
b_s	Streckenverbrauch
c	Steifigkeit, Absolutgeschwindigkeit
c_w	Luftwiderstandsbeiwert
c_m	Maschinenfähigkeitsindex
c_p	Prozessfähigkeitsindex
c_s	Zahnfedersteifigkeit
c_u	Umfangskomponente der Absolutgeschwindigkeit

c_γ	Zeitlich durchschnittlicher Wert der Zahnfedersteifigkeit
d	Durchmesser
e	Exzentrizität
f	Durchbiegung, Frequenz
f_R	Rollwiderstandsbeiwert
$f(t)$	Dichtefunktion
g	Erdbeschleunigung
h_i	Lastschwingspielzahl
i	Übersetzung, Zylinderzahlhalbierende
i_A	Antriebsstrangübersetzung (vom Motor bis zu den Rädern)
i_E	Endübersetzung
$i_{E,A}$	Übersetzung des Achsgetriebes
$i_{E,N}$	Übersetzung des Nabengetriebes
$i_{E,V}$	Übersetzung des Verteilergetriebes
i_G	Getriebeübersetzung
$i_{G,ges}$	Spreizung, Übersetzungsbereich
i_K	Konstantenübersetzung, Kegelscheibenradienverhältnis
i_S	Übersetzung des Anfahrlements
j	Anzahl der Reibflächen
k	Exponent der Wöhlerliniengleichung
$k(v)$	Kennwert eines hydrodynamischen Wandlers
m	Modul der Verzahnung, Masse, Längenmaßstab (Wandler)
m_F	Fahrzeugmasse
m_n	Normalmodul
n	Drehzahl, Anzahl, Lastspielzahl, Lageranzahl
n_M	Motordrehzahl
p	Flächenpressung, Druck, Radpaaranzahl, Lebensdauerexponent
p_{me}	Effektiver Mitteldruck im Zylinder eines Verbrennungsmotors
q	Steigung
q'	Steigung in %
r	Radius, Redundanzgrad eines Systems
r_{dyn}	Dynamischer Reifenhalbmesser
s	Weg, Schaltweg der Schaltmuffe, Rippenabstand
s_{Fn}	Zahnfußdickensehne
t	Statistische Variable, Zeit
t_0	Ausfallfreie Zeit
t_R	Rutschzeit, Reibzeit
t_S	Schaltzeit
u	Zähnezahlverhältnis, Umfangsgeschwindigkeit
v	Geschwindigkeit, Strömungsgeschwindigkeit
v_F	Fahrzeuggeschwindigkeit
v_W	Windgeschwindigkeit
v_{th}	Theoretische Geschwindigkeit bei Schlupf $S = 0$
w	Aufgenommene Arbeit
x, y, z	Koordinaten

z	Anzahl der Gänge, Anzahl der Reibflächen, Zähnezah, Anzahl der Lastzyklen
z_i	Zähnezah Rad i
Δ	Intervall, Differenz
ΔS	Verschleißweg (Synchronisierung)
ΔV	Verschleiß (Synchronisierung)
α	Eingriffswinkel, Konuswinkel einer Konus-Synchronisierung, Viskositäts-Druck-Koeffizient
α_0	Anstrengungsverhältnis
α_{St}	Steigungswinkel
α_k	Statische Formzahl
α_n	Eingriffswinkel im Normalschnitt
β	Schrägungswinkel am Teilkreis, Öffnungswinkel der Klauen
β_k	Dynamische Kerbwirkungszahl
δ	Teilkegelwinkel, Ungleichförmigkeitsgrad Pumpe (Volumenstrompulsation)
ε	Gesamtüberdeckung
ε_α	Profilüberdeckung
ε_β	Sprungüberdeckung
η	Wirkungsgrad, dynamische Viskosität
ϑ	Temperatur
λ	Leistungsziffer (Wandler, Retarder), Drehmassenzuschlagfaktor
$\lambda(t)$	Ausfallrate
μ	Momentenverhältnis, Momentenwandlung, Reibwert
μ_A	Anfahrwandlung
μ_H	Haftbeiwert
ν	Drehzahlverhältnis, Drehzahlwandlung, kinematische Viskosität
ρ	Dichte, Ersatzkrümmungsradius
σ	Normalspannung
σ_D	Dauerfestigkeit
σ_H	Hertzsche Pressung
σ_b	Biegespannung
σ_v	Vergleichsspannung
τ	Torsionsspannung, Drehmomentüberhöhung beim Verbrennungsmotor
φ	Stufensprung, Biegewinkel
φ_1	Grundsprung bei progressiver Stufung
φ_2	Progressionsfaktor bei progressiver Stufung
φ_{th}	Stufensprung bei geometrischer Stufung
ω	Winkelgeschwindigkeit

Indizes

0	Nenn- oder Ausgangszustand
1	Ritzel (= Kleinrad), Eingang
2	Rad (= Großrad), Ausgang, Abtrieb
3	Gestell
1, 2, 3, ...	An der Stelle 1, 2, 3, ...
A	Angebot, flächenbezogen, Antriebsstrang, Anfahr, Achs
AW	Abtriebswelle
B	Bedarf, Brems
D	Dauer, Dauerfest, Defizit, Direkt
E	Endübersetzung
EW	Getriebeeingangswelle, Antriebswelle
F	Fahrzeug, Zahnfuß
G	Getriebe, Gelenkwelle
H	Haft, Haupt, Hauptgetriebe, Hauptwellenrad, Hohlrاد, High (= Schnell)
HW	Hauptwelle
K	Kupplung, Konstante
Kr	Kraftstoff
L	Luft, Last, Leitrad, Low (= Langsam)
L, L1, L2	An Lagerstelle, an Lagerstelle 1, 2
M	Motor, Modell
N	Nabe, Nachschaltgruppe
P	Pumpe, Pumpenrad, Planetenstufe
Q	Quer
R	Rückwärtsgang, Roll, Rutsch, Reib, Rad, Rangegruppe, Rotor (Retarder)
Roll	Roll
Rot	Rotation
S	Sonnenrad, Splitgruppe, Stator (Retarder), System
Sch	Schwellend (Festigkeit)
St	Steigung
T	Turbine, Treib
Ü	Überschuss
U	Umfang
V	Vorschaltgruppe, Verlust, Versuch
VW	Vorgelegewelle
W	Wandler, wechselnd (Festigkeit)
Z	Zug, Zugbeanspruchung, Öffnung
a	Beschleunigung, axial, Größen am Kopfkreis, Austritt, außen
ab	Abtrieb
abs	Absolut

an	Antrieb
ax	Axial
b	Biege
dyn	Dynamisch
e	Effektiv, Eintritt
ges	Gesamt
i	Innen, Laufvariable $i = 1, 2, 3, \dots, n$
i, j	An der Stelle i, j
id	Ideal
j	Laufvariable
k	Laufvariable, Kerbwirkung
m	Mittelwert, Anzahl der Beanspruchungsklassen
max	Maximal
min	Minimal
n	n-ter Gang, Nenn
nenn	Nenn
r	Radial
red	Reduziert
rel	Relativ
res	Resultierend
spez	Spezifisch
stat	Statisch
t	Torsion, zeitlich
tat	Tatsächlich
th	Theoretisch
w	Wechselnd, Betriebswälzkreis
x, y, z	In x-, y-, z-Richtung, um x-, y-, z-Achse
z	Höchster Gang, Anzahl der Gänge
zul	Zulässig