

A wireframe model of a car is shown in the upper left corner, set against a background of overlapping, semi-transparent rectangular shapes in shades of teal, orange, and brown. The car's structure is rendered in a light teal color, showing the chassis, wheels, and body panels.

Harald Naunheimer
Bernd Bertsche
Joachim Ryborz
Wolfgang Novak
Peter Fietkau

Fahrzeuggetriebe

Grundlagen, Auswahl,
Auslegung und Konstruktion

3. Auflage

 Springer Vieweg

Fahrzeuggetriebe

Harald Naunheimer · Bernd Bertsche ·
Joachim Ryborz · Wolfgang Novak ·
Peter Fietkau

Fahrzeuggetriebe

Grundlagen, Auswahl, Auslegung und
Konstruktion

3. Auflage

In Zusammenarbeit mit Yvonne Gretzinger

 Springer Vieweg

Harald Naunheimer
Friedrichshafen, Deutschland

Wolfgang Novak
Schwaikheim, Deutschland

Bernd Bertsche
Stuttgart, Deutschland

Peter Fietkau
Stuttgart, Deutschland

Joachim Ryborz
Markdorf, Deutschland

Unter Mitarbeit von
Yvonne Gretzinger
Stuttgart, Deutschland

ISBN 978-3-662-58882-6
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-58883-3>

ISBN 978-3-662-58883-3 (eBook)

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

Springer Vieweg

Ursprünglich erschienen unter Naunheimer H., Bertsche B., Lechner G.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1994, 2007, 2019

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Vorwort

Die Einflüsse durch gesellschaftliche, legislative und technische Veränderungen auf die Fahrzeugtechnik sind vielfältig. Digitalisierung, automatisiertes Fahren und Elektrifizierung verändern das System Verkehr/Fahrzeug und das Verhalten der Nutzung. Damit ändern sich die Anforderungen an die Fahrzeuge und letztlich auch an die Antriebstechnik grundlegend. Trotzdem gilt: Kein Fahrzeug ohne Getriebe! Getriebe, ob es nun Schalt-, E-Antriebs-, Verteiler- oder Differentialgetriebe sind, bestimmen entscheidend Zuverlässigkeit, Energieverbrauch, Emissionen, Bedienungsfreundlichkeit, Verkehrssicherheit sowie Fahr- und Transportleistung von Pkw und Nkw. Zur Entwicklung neuer Antriebs- und Getriebekonzepte ist eine übergreifende Sicht auf die angestrebten Fahrzeugfunktionen, die Fahrzeugarchitektur und das System Antriebsstrang erforderlich. Das eingesetzte Antriebsaggregat (Verbrennungsmotor, Elektromotor oder die Kombination als Hybridantrieb) bestimmt den nachfolgenden Antriebsstrang in seinen Baugruppen und deren Auslegung entscheidend. Es ist eine Herausforderung, ein klares Verständnis für die Anforderungen an den Antriebsstrang zu schaffen und die funktionalen Sachverhalte zu durchdringen. Dieses Buch will dazu einen Beitrag leisten und den Entwicklungsprozess der Getriebe für unterschiedliche Antriebsstrangkonfigurationen in seiner Gesamtheit darstellen. Es will Gedankengänge vermitteln, die über die reine Auslegung der Bauteile von Fahrzeuggetrieben hinausgehen. Die Produktentwicklung muss übergreifend über die Fachdisziplinen Mechanik, Elektronik und Softwaretechnik erfolgen und in Zeiten großer Veränderungsgeschwindigkeit die Modularität und Skalierbarkeit der Komponenten und Systeme sicherstellen.

Neben der Weiterentwicklung des Standes der Technik bei konventionellen Getrieben hat vor allem die Verschiebung der Entwicklungsschwerpunkte hin zu Hybrid- und Elektroantrieben diese neue Auflage erforderlich gemacht. Es sind zahlreiche neue Antriebsarchitekturen und Getriebekonzepte erwachsen. Ein Großteil der Funktionalität und des „Look and Feel“ moderner Antriebsstränge wird durch die Software bestimmt. Die Mechanik ist nicht minder bedeutend und schafft für die geforderten Funktionen eine zuverlässige und solide Basis. Durch die System- und Funktionssicht auf den Antriebsstrang verändern sich auch die Entwicklungsmethoden. Simulationstechniken bei der Auslegung und Validierung spielen eine wichtige Rolle. Neu in der 3. Auflage ist die konsistente Einbindung der Hybrid- und Elektroantriebe in die bestehende Logik des Buchs. Al-

le Aspekte von der Auswahl und Auslegung der Übersetzungen, der Bestimmung von Fahrleistung und Verbrauch, dem grundsätzlichen Aufbau der Triebstränge bis hin zur konstruktiven Umsetzung werden nun auch für elektrifizierte Antriebe behandelt. Ferner gewinnen Klauenkupplungen in den neuen Antriebskonzepten an Bedeutung, daher ist deren Auslegung und Gestaltung nun ein Abschnitt gewidmet. Ebenfalls eine komplette Überarbeitung hat das Kapitel Elektronik und Software erfahren. Auch die Ausführungen zum Entwicklungsprozess wurden grundlegend überarbeitet und auf die System- und Funktionssicht ausgerichtet. Obwohl etwa 50 % des Inhalts der 3. Auflage neu ist oder mit neuen Daten überarbeitet wurde, geht es 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 Designs auch Getriebesysteme erläutert, die nicht mehr in Produktion sind.

Was beinhaltet das Buch? Kap. 1 steht unter dem Motto „Aus der Vergangenheit für die Zukunft lernen!“. Zur systemischen Sicht auf die Getriebe trägt Kap. 2 bei, das sich mit dem Gesamtsystem Verkehr und Fahrzeug beschäftigt. In Kap. 3 werden der Leistungsbedarf und das Leistungsangebot behandelt. Dazu werden die charakteristischen Kennwerte und Kennlinien von Verbrennungsmotoren und von Elektromotoren vorgestellt und erörtert. Kap. 4 erarbeitet die Grundlagen für die Wahl der Übersetzungen, inklusive der Übersetzungen für Elektroantriebe. In Kap. 5 geht es um die Abstimmung des Getriebes auf den Antriebsmotor und das Fahrzeug. Bevor auf die Auslegung und Gestaltung wichtiger Komponenten von Fahrzeuggetrieben eingegangen wird, werden in Kap. 6 deren konstruktiven Grundkonzepte vorgestellt und systematisch behandelt. In den Kap. 7–10 werden dann die Auslegung und Gestaltung wichtiger Bauteile beschrieben. Dies sind Anfahrlemente, Schaltelemente und Zahnräder sowie Wellen, Lager, Schmierung, Ölversorgung, Gehäuse und Abdichtungen. Es werden dabei die spezifischen Anforderungen für Fahrzeuggetriebe herausgestellt, Berechnungsgänge und Kennwerte für die Auslegung gezeigt und Gestaltungshinweise gegeben. In Kap. 11 werden exemplarisch Getriebekonstruktionen vorgestellt, ihr konstruktiver Aufbau besprochen, Funktionen erläutert und interessante Lösungen beschrieben. Viele Innovationen im Bereich der Getriebe- und Antriebstechnik sind maßgeblich durch die Integration von Mechanik, Elektronik und Software sowie die Vernetzung von Steuergeräten bestimmt. Das Kap. 12 spannt den Bogen vom Aufbau von elektrohydraulischen Steuereinheiten, über das Zusammenspiel der Mechanik-, Hydraulik-/Pneumatik-, Elektronik- und Software-Komponente, bis hin zur Vernetzung des Getriebesteuergeräts im Gesamtfahrzeug. Ein Einblick in das Thema Leistungselektronik wird gegeben und Unterschiede der Bordnetzstrukturen von konventionellen gegenüber elektrifizierten Fahrzeugen werden aufgezeigt. Kap. 13 zeigt die elementaren Zusammenhänge und Methoden der Schadensberechnung und Lebensdauerabschätzung. So groß wie nötig, so leicht und günstig wie möglich! Kap. 14 stellt den Produktentstehungsprozess für Fahrzeuggetriebe in seiner Gesamtheit dar. Er reicht von der Strategischen Produktplanung, über den Entwicklungsprozess, das Zuverlässigkeitsmanagement und die Fertigungsplanung bis hin zum Start of Production (SOP). Das

Produkt Getriebe muss neben der Erfüllung der Funktionen vor allem wirtschaftlich herstellbar sein und die geforderte Qualität erreichen. Kap. 15 gibt einen Einblick in die Fertigungstechnik.

Ohne die tatkräftige Arbeit der Mitautorin Yvonne Gretzinger wäre dieses Buch nicht entstanden. Sie hat durch große Zeitopfer mit ihren Textbeiträgen, Recherche- und Organisationsarbeiten wesentlich zum Gelingen beigetragen. Um den Praxisbezug zu gewährleisten, haben auch bei der 3. Auflage des Buchs Fachleute aus unterschiedlichen Teilgebieten und Firmen ihr Wissen eingebracht. Ihnen gilt unser Dank: Jon Alustiza Zavalá (Bilder und Literatur), Martin Bollmann (Zuverlässigkeitsmanagement/Prognosegüte), Mathias Botzler (Kraftstoffverbrauchsermittlung bei Nkw), Martin Dazer (Betriebsfestigkeit und Zuverlässigkeitsmanagement), Süreyya Nejat Dogan (Nkw-DCT und Nkw-E-Antriebe), Michael Heselhaus (Fertigungstechnik), Lothar Hörl (Dichtungen), Robert Huber (Nebenabtriebe), Dennis Hügler (Bilder und Literatur), Andreas Kroner (Getriebebesteuerung – Elektrik, Elektronik, Aktorik und Sensorik), Joachim Lindner (Trockenkupplungen), Wolfram Lutz (Nkw-Getriebe), Jürgen Meschenmoser (Synchronisierungen), Eduardo Miranda Saenz (Bilder und Literatur), Axel Mors (Entwicklung geräuscharmer Getriebe), Herbert Mozer (Nkw-AT), Marco Plieske (Berechnung und Simulation), Christoph Rüchardt (Nkw-AMT), Heribert Scherer (Erprobung), Jens Schönekeas (Hydrodynamischer Drehmomentwandler), Robert Seidler (Berechnung von Zahnradern), Nick Upjohn (Rennsportgetriebe), Michael Waibel (Nkw-MT), Gunther Wehr (Zuverlässigkeitsmanagement/Prognosegüte), Fabian Westhauser (Bilder und Literatur), Johannes Winkler (Klauenkupplungen) sowie vielen anderen Fachleuten und Unternehmen, die uns mit Rat, Expertise und Bildmaterial unterstützt haben.

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 der 3. Auflage. 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. Diese 3. Auflage sehen wir als Würdigung und Fortführung seiner Arbeit.

Friedrichshafen und Stuttgart
März 2019

Harald Naunheimer
Bernd Bertsche
Joachim Ryborz
Wolfgang Novak
Peter Fietkau

Die Autoren

Dr. Harald Naunheimer war nach Studium an der Universität Stuttgart ab 1989 Assistent von Professor Gisbert Lechner in Forschung und Lehre auf dem Gebiet der Fahrzeuggetriebe. Nach seiner Promotion arbeitete er zunächst bei der RENK AG (MAN) im Entwicklungsbereich Fahrzeuggetriebe. Von 2001 bis Ende 2017 war er bei der ZF Friedrichshafen AG tätig. Er leitete dort die Entwicklung der Pkw-Automatgetriebe und war ab 2009 Leiter Forschung und Entwicklung des ZF-Konzerns. Nach freiberuflicher Tätigkeit führt er seit 2019 den Bereich Future Products bei Magna Powertrain.

Professor Dr. Bernd Bertsche war nach Studium und Promotion an der Universität Stuttgart in der Getriebeentwicklung der Mercedes-Benz AG beschäftigt. Nach einer Tätigkeit als Professor an der Fachhochschule Albstadt-Sigmaringen wurde er an die Universität Stuttgart berufen. Seit 2001 ist er dort Ordinarius und Leiter des Instituts für Maschinenelemente. Er lehrt u.a. das Spezialisierungsfach „Konstruktion der Fahrzeuggetriebe“.

Dr. Joachim Ryborz war nach dem Maschinenbau-Studium an der Universität Stuttgart ab 1996 Assistent von Prof. Gisbert Lechner im Bereich Fahrzeuggetriebe am Institut für Maschinenelemente. Nach seiner Promotion arbeitet er seit 2002 bei der ZF Friedrichshafen AG in der Entwicklung von Nutzfahrzeuggetrieben, aktuell als System-Applikationsprojektleiter für Handschalt-, Automatisierte Schalt- und Hybridgetriebe.

Dr. Wolfgang Novak studierte Maschinenbau an der Universität Stuttgart. Von 2002 – 2003 arbeitete er bei McLaren Cars Limited als Entwicklungsingenieur in der Antriebsentwicklung. Anschließend promovierte er am Institut für Maschinenelemente im Bereich Antriebstechnik. Nach seiner Promotion arbeitete er bei der Daimler AG in der Pkw-Getriebeentwicklung. Seit 2014 ist er als Leiter Getriebe-/Triebstrangprojekte bei der Mercedes-AMG GmbH tätig.

Dr. Peter Fietkau studierte an der Universität Stuttgart Fahrzeug- und Motorentechnik. Von 2008 bis 2012 promovierte er am Institut für Maschinenelemente der Universität Stuttgart im Bereich Antriebstechnik. Nach einer anschließenden Tätigkeit in der Getriebeentwicklung bei der Mercedes-AMG GmbH wechselte er 2017 zur Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, wo er das Fachgebiet Strukturmechanik in der digitalen Antriebsentwicklung leitet.

Bezeichnungen, Formelzeichen und Indizes

Bezeichnungen und Formelzeichen¹

A	Fläche, Querspanfläche = Projektion der Fahrzeugstirnfläche
A_R	Reibfläche der Synchronisierung
B_{10}	System-Lebensdauer für eine Ausfallwahrscheinlichkeit von 10 %
C	Wälzpunkt, dynamische Tragzahl, Konstante, Kraftstoffverbrauch, Crawler
D	Durchmesser, Schädigung, Reichweite
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_μ	Reibkraft

¹ Nur soweit sie häufiger verwendet werden, sonst siehe Text.

$F(t)$	Verteilungsfunktion, Ausfallwahrscheinlichkeit
G_R	Radlast
I	Flächenmoment
J	Massenträgheitsmoment
K_H	Vorschaltsplit-Konstante High
K_{Haupt}	Konstante Hauptgetriebe
K_L	Vorschaltsplit-Konstante Low
K_R	Konstante Range
L	Lebensdauer
M_b	Biegemoment
M_t	Torsionsmoment
M_v	Vergleichsmoment
N	Anzahl der Lastwechsel, Schwingspielzahl, Bauteillebensdauer
P	Leistung, äquivalente Lagerbelastung
P_A	Flächenbezogene Reibleistung
$P_{Z,B}$	Bedarfsleistung am Rad
P_m	Mittlere Reibleistung während der Rutschzeit einer Synchronisierung
Q	Querkraft, Volumenstrom
R	Reaktionskraft, Spannungsverhältnis, Rotor (Retarder), Range
R_e	Streckgrenze
R_m	Zugfestigkeit
R_z	Oberflächenrauheit
$R(t)$	Überlebenswahrscheinlichkeit, Zuverlässigkeit
S	Sicherheitsbeiwert, Sperricherheit bei Synchronisierungen, Schlupf, Sperrwert, Stator (Retarder)
S_B	Bremsschlupf
T	Drehmoment, Temperatur
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
\dot{V}	Volumenstrom
W	Widerstandsmoment, Arbeit, aufnehmbare Arbeit, Reibarbeit
W_A	Flächenbezogene (spezifische) Reibarbeit
W_b	Widerstandsmoment gegen Biegung
X	Radialfaktor

Y	Axialfaktor
a	Beschleunigung, Achsabstand, Periodendauer
b	Baulänge, Breite, Kraftstoffverbrauch, Einschaltdauer
b_0	Größenfaktor, Paketbaulänge
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, Zahnlückenbreite
f	Durchbiegung, Frequenz, Faktor
f_R	Rollwiderstandsbeiwert
$f(t)$	Dichtefunktion
g	Erdbeschleunigung
h	Höhe
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 Nabengeetriebes
$i_{E,V}$	Übersetzung des Verteilergetriebes
i_G	Getriebeübersetzung
$i_{G,ges}$	Spreizung, Übersetzungsbereich
i_K	Konstantenübersetzung
i_S	Übersetzung des Anfahrlements
j	Anzahl der Reibflächen
k	Exponent der Wöhlerliniengleichung
k_b	Breitenfaktor (Klaue)
k_T	Wöhlerexponent bezogen auf Drehmoment
k_φ	Umfangsfaktor (Klaue)
$k(v)$	Kennwert eines hydrodynamischen Wandlers
l_{Fe}	Statorlänge
m	Modul der Verzahnung, Masse, Längenmaßstab (Wandler), Richtungskonstante
m_F	Fahrzeugmasse
m_n	Normalmodul

n	Drehzahl, Anzahl, Lastspielzahl, Lageranzahl
n_M	Motordrehzahl
p	Flächenpressung, Druck, Radpaaranzahl, Lebensdauerexponent, Teilung
$p_{\text{geo,ZL}}$	Geometrische Einspurwahrscheinlichkeit
p_{me}	Effektiver Mitteldruck im Zylinder eines Verbrennungsmotors
q	Steigung, Belastung
q'	Steigung in %
r	Radius
r_{dyn}	Dynamischer Reifenhalbmesser
r_{hb}	Höhen-Breiten-Verhältnis
s	Weg, Schaltweg der Schaltmuffe, Rippenabstand, Strecke, Abstand, Zahnbreite
s_E	Einspurspiel
s_{Fn}	Zahnfußdickensehne
$s_{\text{Lüft}}$	Lüftspiel
s_p	Streckentypanteil
s_U	Umschlagspiel
t	Statistische Variable, Zeit, Lebensdauer
t_R	Rutschzeit, Reibzeit
t_S	Schaltzeit
t_W	Wandstärke
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, Zähnezahl, Anzahl der Lastzyklen
z_i	Zähnezahl Rad i
Δ	Intervall, Differenz
ΔS	Verschleißweg (Synchronisierung)
ΔT	Abtastrate
ΔU	Spannungssprung
ΔV	Verschleiß (Synchronisierung)
α	Eingriffswinkel, Konuswinkel einer Konus-Synchronisierung, Viskositäts-Druck-Koeffizient
α_0	Anstrengungsverhältnis
α_{St}	Steigungswinkel
α_k	Statische Formzahl
β	Öffnungswinkel der Klauen, Rückhaltegrad (Filter)
β_k	Dynamische Kerbwirkungszahl
δ	Ungleichförmigkeitsgrad Pumpe (Volumenstrompulsation)

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
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_j	Drehflankenspiel
φ_{th}	Stufensprung bei geometrischer Stufung
ω	Winkelgeschwindigkeit

Indizes

0	Nenn- oder Ausgangszustand
1	Ritzel (= Kleinrad), Eingang, Stator, Welle
2	Rad (= Großrad), Ausgang, Abtrieb, Nabe
3	Gestell
1,2,3,...	An der Stelle 1, 2, 3, ...
A	Angebot, flächenbezogen, Antriebsstrang, Anfahr, Achs, Amplitude
AW	Abtriebswelle
B	Bedarf, Brems
Bat	Batterie
Bez	Bezug
D	Dauer, Dauerfest, Defizit, Direkt
Diff	Differenz
E	Endübersetzung, Extrapolation
EM	Elektromotor
EW	Getriebeeingangswelle, Antriebswelle

F	Fahrzeug, Zahnfuß
G	Getriebe, Gelenkwelle
Grund	Grund-/Eckdrehzahl (E-Motor)
H	Haft, Hauptgetriebe, Hauptwellenrad, Hohlrad, High (= Schnell)
HW	Hauptwelle
K	Kupplung, Konstante
Kr	Kraftstoff
L	Luft, Leitrad, Low (= Langsam)
L, L1, L2	An Lagerstelle, an Lagerstelle 1, 2
M	Motor, Modell, Mess-
N	Nabe, Nachschaltgruppe
P	Pumpe, Pumpenrad, Planetenstufe
Peak	kurzzeitiger Spitzenwert von Leistung und Drehmoment (E-Motor)
Q	Quer
R	Rückwärtsgang, Roll, Rutsch, Rad, Rangegruppe, Rotor (Retarder)
Roll	Roll
s	Sonnenrad, System
Sch	Schwellend (Festigkeit)
Split	Splitgruppe
St	Steigung
T	Turbine
Ü	Überschuss
U	Umfang
V	Vorschaltgruppe, Verlust, Versuch
VW	Vorgelegewelle
W	Wandler, wechselnd (Festigkeit), Wälzkreis, Wirk-
WR	Wechselrichter
Z	Zug, Zugbeanspruchung, Öffnung
a	Beschleunigung, axial, Größen am Kopfkreis, Austritt, außen
ab	Abtrieb
abs	Absolut
an	Antrieb
av	Vorgeschrieben
ax	Axial
b	Biege, Grundkreis
bl	Blitz-
dyn	Dynamisch
e	Effektiv, Eintritt, elektrisch
exper.	Experiment
ges	Gesamt
h	Hydraulisch
i	Innen, Laufvariable $i = 1, 2, 3, \dots, n$ (z. B. Gangzahl)

i, j	An der Stelle i, j
id	Ideal
int	Integral
j	Laufvariable
k	Laufvariable, Kerbwirkung, kritisch
m	Mittelwert, Anzahl der Beanspruchungsklassen, mechanisch
max	Maximal
mech	Mechanisch
min	Minimal
n	n -ter Gang, Nenn
nenn	Nenn
o	Oberer Grenzwert
r	Radial
red	Reduziert
rel	Relativ
res	Resultierend
s	Strecke
spez	Spezifisch
stat	Statisch
t	Torsion, zeitlich
tat	Tatsächlich
th	Theoretisch
u	Unterer Grenzwert
vol	Volumetrisch
w	Wechselnd, Betriebswälzkreis
x, y, z	In x -, y -, z -Richtung, um x -, y -, z -Achse
z	Höchster Gang, Anzahl der Gänge
zul	Zulässig

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Einleitung	1
1.2	Geschichte der Fahrzeuggetriebe	6
1.2.1	Basisinnovationen	7
1.2.2	Entwicklung von Fahrzeugen und Antriebsaggregaten	9
1.2.3	Entwicklungsschritte bei Fahrzeuggetrieben	9
1.2.4	Entwicklung von Verzahnungen und anderen Getriebebauelementen	22
1.2.5	Entwicklung hydrodynamischer Wandler und Kupplungen	25
1.2.6	Erforschung von Phänomenen: Getriebeverluste und Wirkungsgrad	26
1.2.7	Zusammenfassender Überblick	27
	Literatur	29
2	Überblick über das System Verkehr – Fahrzeug – Getriebe	31
2.1	Grundlagen der Verkehrs- und Fahrzeugtechnik	31
2.1.1	Bedeutung des Kraftfahrzeugs in unserer mobilen Welt	31
2.1.2	Transportsysteme für den Personen- und Güterverkehr	35
2.1.3	Fahrzeugklassen	37
2.2	Grundlagen der Fahrzeug- und Getriebetechnik	38
2.2.1	Systematik der Fahrzeuge und des Fahrzeugeinsatzes	39
2.2.2	Warum brauchen Fahrzeuge Getriebe?	40
2.2.3	Haupt- und Nebenfunktionen von Fahrzeuggetrieben	43
2.2.4	Grundzusammenhänge: Drehrichtung, Übersetzung, Drehmoment	44
2.2.5	Straßenprofile, Lastkollektive, typische Fahrzeugeinsätze und Fahrertypen	48
2.2.6	Lebensdauer und Zuverlässigkeit von Getrieben	50
2.3	Kennwerte von Fahrzeuggetrieben	52
2.3.1	Kennwert Achsabstand	53
2.3.2	Kennwert Getriebemasse	55
	Literatur	57

3	Leistungsbedarf und Leistungsangebot	59
3.1	Leistungsbedarf	59
3.1.1	Radwiderstand	59
3.1.2	Kraftschluss, dynamischer Radhalbmesser und Schlupf	62
3.1.3	Luftwiderstand	63
3.1.4	Steigungswiderstand	65
3.1.5	Beschleunigungswiderstand	65
3.1.6	Gesamt-Fahrwiderstand	67
3.1.7	Wirkungsgrad	68
3.2	Vielfalt der Antriebsaggregate	70
3.2.1	Elektroantrieb mit unterschiedlichen Energiespeichern	74
3.2.2	Hybridantrieb	75
3.3	Leistungsangebot, Motorkennung von Verbrennungsmotoren	78
3.3.1	Drehmoment-/Drehzahlcharakteristik	80
3.3.2	Motorspreizung	81
3.3.3	Verbrauchskennfeld	81
3.4	Leistungsangebot, Motorkennung von Elektromotoren	83
3.4.1	Drehmoment-/Drehzahlcharakteristik	83
3.4.2	Wirkungsgradkennfeld	85
	Literatur	87
4	Kennungswandler – Wahl der Übersetzungen	89
4.1	Antriebsstrang	90
4.2	Gesamtübersetzung und Getriebespreizung	91
4.2.1	Getriebespreizung $i_{G,ges}$	92
4.2.2	Wahl der größten Übersetzung $i_{A,max}$	93
4.2.3	Wahl der kleinsten Übersetzung $i_{A,min}$	95
4.2.4	Endübersetzung	98
4.3	Wahl der Zwischengänge	99
4.3.1	Geschwindigkeits-Drehzahl-Diagramm	100
4.3.2	Geometrische Gangabstufung	100
4.3.3	Progressive Gangabstufung (nach Jante)	102
4.4	Übersetzungen und ihre Änderung bei Stufenlosgetrieben	103
4.5	Übersetzungen bei E-Antrieben	103
	Literatur	105
5	Zusammenarbeit Motor – Getriebe	107
5.1	Zugkraftdiagramm	109
5.1.1	Ermittlung eines Zugkraftdiagramms, Beispiel	111
5.1.2	Motorbremskraft	112
5.1.3	Stufengetriebe mit Trockenkupplung	114
5.1.4	Stufengetriebe mit Drehmomentwandler	115

5.1.5	Stufengetriebe mit Elektromotor	118
5.2	Fahrleistungen	120
5.2.1	Höchstgeschwindigkeit	121
5.2.2	Steigvermögen	121
5.2.3	Beschleunigungsvermögen	122
5.3	Kraftstoffverbrauch	122
5.3.1	Rechnerische Kraftstoffverbrauchsermittlung, Beispiel	123
5.3.2	Kraftstoffverbrauchsermittlung durch Messung	124
5.3.3	Senkung des Kraftstoffverbrauchs	129
5.3.4	Stufenlosgetriebe	130
5.3.5	Energieverbrauch von E-Antrieben	131
5.3.6	Verbrauchsrelevante Diagnose	132
5.4	Dynamisches Verhalten des Antriebsstrangs, Komfort	132
	Literatur	136
6	Systematik der Fahrzeuggetriebe: Konstruktive Grundkonzepte	139
6.1	Anordnung des Getriebes im Fahrzeug	139
6.1.1	Personenkraftwagen mit Verbrennungsmotor	139
6.1.2	Personenkraftwagen mit Hybridantrieb	142
6.1.3	Personenkraftwagen mit Elektroantrieb	145
6.1.4	Personenkraftwagen mit Allradantrieb	146
6.1.5	Vereinfachte Darstellung der Quer- und Längsdynamik beim Allradantrieb	150
6.1.6	Nutzkraftwagen mit Verbrennungsmotor	151
6.1.7	Nutzkraftwagen mit Hybrid- und Elektroantrieb	154
6.2	Bauformen und Bauarten von Getrieben	158
6.2.1	Bauform	158
6.2.2	Bauart	159
6.3	Grundsätzlicher Aufbau von Getrieben	161
6.3.1	Schalten mit Zugkraftunterbrechung	162
6.3.2	Schalten ohne Zugkraftunterbrechung	163
6.3.3	Stufenlose Getriebe ohne Zugkraftunterbrechung	163
6.4	Stand-, Vorgelege- und Umlauf-Getriebe	164
6.5	Pkw-Getriebe	167
6.5.1	Pkw-Handschaltgetriebe (MT)	169
6.5.2	Automatisierte Pkw-Schaltgetriebe (AMT)	175
6.5.3	Pkw-Doppelkupplungsgetriebe (DCT)	177
6.5.4	Pkw-Automatgetriebe (AT)	180
6.5.5	Pkw-Stufenlosgetriebe (CVT)	188
6.5.6	Pkw-Hybridantriebe	191
6.5.7	Pkw-Elektroantriebe	199
6.5.8	Rennsportgetriebe	200

6.6	Nkw-Getriebe	204
6.6.1	Nkw-Handschaltgetriebe (MT)	207
6.6.2	Automatisierte Nkw-Schaltgetriebe (AMT)	219
6.6.3	Automatisierte Nkw-Getriebe mit Sonderanfahr- element (WSK und VIAB)	226
6.6.4	Nkw-Doppelkupplungsgetriebe (DCT)	228
6.6.5	Nkw-Automatgetriebe (AT)	230
6.6.6	Nkw-Stufenlosgetriebe (CVT)	232
6.6.7	Nkw-Hybridantriebe	234
6.6.8	Nkw-Elektroantriebe	237
6.7	Endantriebe	239
6.7.1	Pkw-Achsgetriebe	240
6.7.2	Nkw-Achsgetriebe	243
6.7.3	Differentialgetriebe und Sperrdifferen- tiale	245
6.7.4	Nkw-Nabengetriebe	252
6.7.5	Verteilergetriebe	253
6.8	Nebenabtriebe	254
6.9	Fahrzeugdauerbremsen	259
6.9.1	Definitionen	261
6.9.2	Motorbremssysteme	261
6.9.3	Retardersysteme	263
6.9.4	Betätigung und Einsatz	269
	Literatur	270
7	Auslegung von Zahnrädern für Fahrzeuggetriebe	275
7.1	Leistungsgrenzen und Berechnung von Zahnrädern	276
7.1.1	Schadensarten und ihre Ursachen	277
7.1.2	Berechnung der Zahnfußtragfähigkeit	282
7.1.3	Berechnung der Grübchentragfähigkeit	284
7.1.4	Berechnung der Fresstragfähigkeit	285
7.2	Überschlägige Berechnung des Achsabstands	286
7.3	Überschlägige Berechnung der Zahnbreiten	289
7.4	Entwicklung geräuscharmer Getriebe	290
7.4.1	Getriebegeräusche und ihre Ursachen	291
7.4.2	Weg der Geräusche vom Entstehungsort zum Ohr	297
7.4.3	Beurteilungsmaßstäbe	298
7.4.4	Gegenmaßnahmen	302
	Literatur	305
8	Schalteinrichtungen	307
8.1	Systematik der Schaltelemente	308
8.1.1	Innere Schaltelemente für Schalten in lastfreiem Zustand	308

8.1.2	Innere Schaltelemente für Schalten unter Last	312
8.1.3	Äußere Schaltung von Handschaltgetrieben (MT)	313
8.1.4	Äußere Schaltung von Automatgetrieben mit Seilzug	315
8.1.5	Shift-by-wire Schaltsysteme von AMT, DCT, AT, Hybrid- und Elektroantrieb	317
8.2	Auslegung und Gestaltung von Klauenkupplungen	320
8.2.1	Aufbau von Klauenkupplungen	322
8.2.2	Ablauf des Schaltvorgangs	323
8.2.3	Anforderungen an Klauenkupplungen	326
8.2.4	Auslegung von Klauenkupplungen	327
8.2.5	Konstruktive Ausführung von Klauenkupplungen	333
8.2.6	Anwendungsbeispiele	338
8.3	Auslegung und Gestaltung von Synchronisierungen	340
8.3.1	Anforderungen an Synchronisierungen	340
8.3.2	Ablauf des Synchronisiervorgangs	346
8.3.3	Auslegung von Synchronisierungen	351
8.3.4	Tribologisches System von Synchronisierungen	365
8.3.5	Konstruktive Ausführungen	366
8.3.6	Elektronische Getriebesynchronisierung	374
8.3.7	Detailfragen	375
8.4	Auslegung und Gestaltung von Lamellenkupplungen	376
8.4.1	Anforderungen an Lamellenkupplungen	378
8.4.2	Ablauf der Schaltung	379
8.4.3	Auslegung von Lamellenkupplungen	383
8.4.4	Tribologisches System von Lamellenkupplungen	388
8.4.5	Konstruktive Ausführungen	391
8.4.6	Detailfragen	397
8.5	Parksperrn	399
8.5.1	Mechanisch aktivierte Parksperrn	400
8.5.2	Elektrisch aktivierte Parksperrn	402
8.5.3	Detailfragen	404
	Literatur	405
9	Anfahrelemente	409
9.1	Trockenkupplungen	412
9.1.1	Aufbau von Trockenkupplungen	413
9.1.2	Auslegung von Trockenkupplungen	426
9.1.3	Trockene Mehrscheibenkupplungen	428
9.2	Nasslaufende Kupplungen	429
9.3	Doppelkupplungen	432
9.4	Hydrodynamische Kupplungen und Drehmomentwandler	435
9.4.1	Grundlagen	436

9.4.2	Hydrodynamische Kupplungen und ihre Kennlinien	440
9.4.3	Hydrodynamische Wandler und ihre Kennlinien	441
9.4.4	Zusammenarbeit Motor und hydrodynamischer Wandler	443
9.4.5	Praktische Auslegung von hydrodynamischen Wandlern	448
9.4.6	Konstruktive Ausführungen	449
9.4.7	Konstruktionsprinzipien zur Wirkungsgradverbesserung	453
	Literatur	458
10	Auslegung und Gestaltung von Konstruktionselementen	461
10.1	Wellen	461
10.1.1	Typische Anforderungen für Fahrzeuggetriebe	461
10.1.2	Allgemeine Gestaltungshinweise	465
10.1.3	Festigkeitsauslegung einer Getriebeantriebswelle	466
10.1.4	Berechnung der Verformung	479
10.1.5	Ablaufdiagramm für die Auslegung von Getriebewellen	482
10.2	Lager	482
10.2.1	Auswahl von Wälzlagern	484
10.2.2	Auslegung von Wälzlagern	484
10.2.3	Gestaltung von Wälzlagerungen	488
10.2.4	Gleitlager – Lagerbuchsen und Anlaufscheiben	490
10.3	Schmierung von Getrieben, Getriebschmierstoffe	492
10.3.1	Schmierung von Lagern	493
10.3.2	Grundlagen der Schmierung von Zahnradgetrieben	494
10.3.3	Wahl des Schmierstoffs	497
10.3.4	Wahl der Schmierstoffeigenschaften	498
10.3.5	Lebensdauerschmierung bei Fahrzeuggetrieben	502
10.3.6	Prüfung der Fresstragfähigkeit von Getriebschmierstoffen	502
10.4	Ölversorgung und Ölpumpen	504
10.4.1	Ölversorgung	504
10.4.2	Ölpumpen	507
10.4.3	Detailfragen	515
10.5	Getriebegehäuse	516
10.5.1	Gestaltung von Getriebegehäusen	516
10.5.2	Entlüftung von Getrieben	518
10.6	Abdichtung von Getrieben	520
10.6.1	Dichtungen für ruhende Bauteile	520
10.6.2	Dichtungen für rotierende Bauteile	525
10.6.3	Dichtungen für hin- und hergehende runde Bauteile	527
10.6.4	Einbaubeispiele	528
10.6.5	Abnahmeprüfung zum Erkennen von Undichtigkeit	529
	Literatur	530

11	Beispiele ausgeführter Konstruktionen von Fahrzeuggetrieben	535
11.1	Pkw-Getriebe	535
11.1.1	Pkw-Handschaltgetriebe (MT)	535
11.1.2	Automatisierte Pkw-Schaltgetriebe (AMT)	548
11.1.3	Pkw-Doppelkupplungsgetriebe (DCT)	552
11.1.4	Pkw-Automatgetriebe (AT)	560
11.1.5	Pkw-Stufenlosgetriebe (CVT)	574
11.1.6	Pkw-Hybridantriebe	576
11.1.7	Pkw-E-Antriebe	583
11.1.8	Rennsportgetriebe	586
11.2	Nkw-Getriebe	589
11.2.1	Nkw-Handschaltgetriebe (MT)	590
11.2.2	Automatisierte Nkw-Schaltgetriebe (AMT)	598
11.2.3	Automatisierte Nkw-Getriebe mit Sonderanfahrlement	609
11.2.4	Nkw-Doppelkupplungsgetriebe (DCT)	613
11.2.5	Nkw-Automatgetriebe (AT)	616
11.2.6	Nkw-Stufenlosgetriebe (CVT)	620
11.2.7	Nkw-Hybridantriebe	622
11.2.8	Nkw-Elektroantriebe	626
11.3	Endantriebe	631
11.3.1	Pkw-Achsgetriebe	631
11.3.2	Nkw-Achs- und Nabenge triebe	633
11.3.3	Differentialgetriebe und Sperrdifferenziale	637
11.4	Allradantriebe, Verteilergetriebe	643
	Literatur	658
12	Getriebesteuerung – Elektrik, Elektronik, Aktuatorik und Sensorik	663
12.1	Vernetzte Systeme	664
12.2	Elektronisches Getriebesteuergerät (TCU)	666
12.2.1	Einsatzbedingungen und Aufbautechnologie	666
12.2.2	Integrierte TCU	667
12.2.3	Aufbau der TCU	669
12.3	Getriebeaktuatorik	674
12.4	Getriebesensorik	675
12.4.1	Sensorschnittstellen	676
12.4.2	Sensortypen	677
12.5	Funktions- und Softwareentwicklung	680
12.5.1	Funktionen der Getriebesteuerung	682
12.5.2	Softwareentwicklung	686
12.5.3	Getriebeabstimmung durch fahrzeugspezifische Bedatung der Getriebesoftware	687
12.6	Prozesse zur Entwicklung von Getriebesteuergeräten und Software	688

12.6.1	Functional Safety und Security	689
12.6.2	Eigenschaftsabsicherung, Testfälle und Testergebnisse	690
12.6.3	Musterstände	691
12.7	Bordnetz und Leistungselektronik für Hybrid- und Elektroantriebe	693
12.7.1	Bordnetzstrukturen	693
12.7.2	Leistungselektronik	695
	Literatur	697
13	Betriebsfestigkeit und Lebensdauer	699
13.1	Wöhlerlinie	702
13.2	Lastkollektiv und Zählverfahren	704
13.2.1	Versuchsfahrten	706
13.2.2	Realfahrtsimulationen auf dem Prüfstand	706
13.2.3	Ermittlung von Lastkollektiven durch rechnerische Fahrsimulation	707
13.3	Schadensakkumulationshypothese	707
13.3.1	Elementare Form der Miner-Hypothese	707
13.3.2	Modifikationen der Miner-Hypothese	709
13.3.3	Effektive Schadenssummen	711
13.3.4	Berechnung der Lebensdauer eines Radpaars in einem Fahrzeuggetriebe, Beispiel	712
	Literatur	715
14	Produktentstehungsprozess bei Fahrzeuggetrieben	717
14.1	Produktstrategie, Strategische Produktplanung	719
14.2	Produktentwicklung	721
14.3	Freigabestufen im Produktentstehungsprozess	724
14.4	Zuverlässigkeitsmanagement bei Fahrzeuggetrieben	726
14.4.1	Statistische Beschreibung und Darstellung des Ausfallverhaltens von Bauteilen	730
14.4.2	Steigerung der Prognosegüte durch Nutzung von Vorkenntnissen	733
14.5	Berechnung und Simulation	734
14.5.1	Grundsätzlicher Ablauf von Berechnungen	735
14.5.2	CAE-Methoden, Werkzeuge	736
14.6	Erprobung zur Sicherstellung der Zuverlässigkeit und Funktion	742
14.6.1	Klassifizierung der Erprobungsprogramme von Fahrzeuggetrieben	743
14.6.2	Prüfstände für die Erprobungsprogramme	746
14.6.3	Simulation bei der Prüfstandserprobung	749
	Literatur	750
15	Fertigungstechnik von Fahrzeuggetrieben	753
15.1	Prozessketten mechanischer Bauteile	754
15.1.1	Prozessketten zur Stahlteil-Bearbeitung	754

15.1.2 Prozessketten zur Gussteilbearbeitung	756
15.1.3 Prozessketten zur Verzahnungsbearbeitung	757
15.1.4 Prozessketten zur Blechteilbearbeitung	759
15.2 Produktionsentwicklung	761
15.2.1 Fertigungsplanung	761
15.2.2 Produktionssystem	761
15.3 Qualitätssicherung durch statistische Prozesslenkung	762
15.3.1 Maschinenfähigkeit	763
15.3.2 Prozessfähigkeit	764
15.3.3 Praktische Anwendung am Arbeitsplatz	765
Literatur	766
Stichwortverzeichnis	767

Kein Fahrzeug ohne Getriebe!

1.1 Einleitung

Land-, Wasser- und Luftfahrzeuge brauchen Getriebe, um Drehmomente und Drehzahlen zu wandeln. Entsprechend sind die Getriebe nach ihrem Einsatzgebiet und nach ihrem Verwendungszweck – z. B. Schaltgetriebe, Lenkgetriebe, Nebenabtriebe – zu unterscheiden. Dieses Buch behandelt ausschließlich Getriebe für Straßenfahrzeuge bzw. für Fahrzeuge im kombinierten On- und Off-Road-Einsatz, Abb. 1.1, fett umrandet.

Abb. 1.2 gibt einen Überblick über gebräuchliche Getriebekonzepte sowie deren systematische Einteilung. Doppelkupplungsgetriebe werden hier aufgrund ihrer Nähe bezüglich Steuerung und Funktionalität den Stufen-Automatgetrieben zugeordnet. Bei den Hybridantrieben wird zwischen den „Add-On“-Lösungen und den DHT (Dedicated Hybrid Transmissions) unterschieden, wobei die DHT Getriebesysteme sind, welche ohne Elektromotor nicht funktionieren, vgl. Abschn. 3.2.2. Die Getriebe für elektrische Antriebe werden gesondert in Abb. 1.3 betrachtet. Weitere Einzelheiten zu den Getriebekonzepten werden in Kap. 6 „Systematik der Fahrzeuggetriebe“ aufgeführt.

Aufgabe eines Fahrzeugschaltgetriebes ist es, das Zugkraftangebot des Antriebsaggregats fahrzeug-, strecken-, fahrer- und umweltgerecht umzusetzen. Wesentliche Randbedingungen sind dabei die technische und wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit. Das Getriebe bestimmt entscheidend Zuverlässigkeit, Kraftstoffverbrauch, Bedienungsfreundlichkeit, Verkehrssicherheit sowie Fahr- und Transportleistung von Pkw und Nkw.

Fahrzeuggetriebe sind Serienprodukte hoher technischer und technologischer Reife. Sie sind den hoch entwickelten Technologien, Abb. 1.4, zuzurechnen.

Basisinnovationen sind bei Fahrzeuggetrieben nicht mehr zu erwarten. Vielmehr ist eine allmähliche Evolution gegeben. Sie ist geprägt vom Systemdenken Umwelt ⇔ Verkehr ⇔ Fahrzeug ⇔ Motor/Getriebe und vom Einsatz der Elektronik für Steuer-,

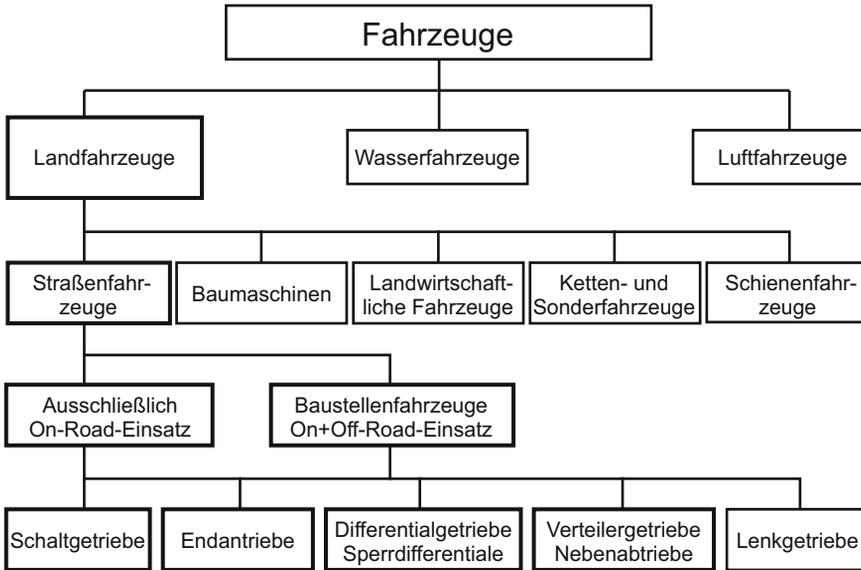


Abb. 1.1 Definition des Begriffs „Fahrzeuggetriebe (FZG)“ im Sinne dieses Buchs

Schaltgetriebe											
z-Gang-Getriebe (Stufengetriebe mit z Gängen)							Stufenlosgetriebe (CVT)				
Handschaltgetriebe (MT)		Automatisierte Schaltgetriebe (AMT)			Stufen-Automatgetriebe		Hybridantrieb mit E-Maschinen		Mechanisch		Hydraulisch
Klauenge triebe	Synchrongetriebe	Teilautomatisierte Klauen- oder Synchrongetriebe	Vollautomatisierte Klauen- oder Synchrongetriebe	Doppelkupplungsgetriebe (DCT)	Automatgetriebe in Vorgelegebauweise	Konventionelle Automatgetriebe (AT)	Add-On-Hybrid	Dedicated Hybrid Transmission (DHT)	Umschlingungsgetriebe	Toroid	Hydrostatisches Getriebe
Mit Zugkraftunterbrechung beim Gangwechsel				Ohne Zugkraftunterbrechung beim Gangwechsel							
Anfahren mit fußbetätigter Kupplung		Anfahren automatisiert									
Gangwechsel manuell		Gangwechsel automatisch						Drehmoment-/Drehzahlwandlung automatisch			

Abb. 1.2 Systematische Einteilung der Schaltgetriebe in Fahrzeugen

Getriebe für elektrische Antriebe			
1-Gang-Getriebe		Mehrgang-Getriebe	
Stirnradgetriebe		Planetengetriebe	
—	Synchronisierung	Klauenschalt-element	Lamellenschalt-element

Abb. 1.3 Systematische Einteilung der Getriebe für elektrische Antriebe

Regel- und Überwachungsvorgänge. Daraus ergeben sich die übergeordneten Entwicklungsziele für Fahrzeuggetriebe, Abb. 1.5.

Fahrzeuggetriebe müssen mit hoher Zuverlässigkeit und ausreichender Lebensdauer ausgelegt werden. Dabei sind umweltverträgliche und humane Lösungen unverzichtbar. Die Erfüllung von Auflagen des Gesetzgebers sowie die Berücksichtigung von technischen und technologischen Weiterentwicklungen ist ebenfalls selbstverständlich. Zudem müssen Fahrzeuggetriebe schnell und marktorientiert entwickelt werden. Auf Kundenwünsche ist insbesondere bei Nkw flexibel zu reagieren.

Das Hauptziel bei der Entwicklung eines Fahrzeuggetriebes ist aber ein möglichst ideales Umsetzen des Zugkraftangebots des Antriebsaggregats in die Zugkraft des Fahrzeugs und dies in einem weiten Geschwindigkeitsbereich. Dies muss so erfolgen, dass ein guter Kompromiss zwischen Anzahl der Gänge, Steig- und Beschleunigungsfähigkeit sowie dem Kraftstoffverbrauch des Fahrzeugs entsteht. Aber auch emotionale Aspekte, wie Fahrspaß, sind zu berücksichtigen.

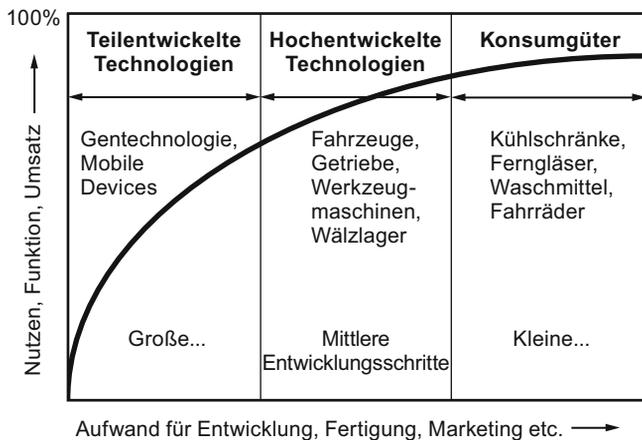


Abb. 1.4 Erreichbare Steigerung des Gebrauchsnutzens eines Produkts durch zusätzlichen Entwicklungsaufwand



Abb. 1.5 Übergeordnete Entwicklungsziele bei Fahrzeuggetrieben

Trends gehen hierbei in Richtung Elektrifizierung des Antriebsstrangs. Der Anteil von Elektro- und Hybridfahrzeugen wird in den nächsten Jahren stark ansteigen, wie auch das automatisierte Fahren.

Die Entwicklung der Fahrzeuggetriebe muss sich immer in den Planungshorizont für neue Fahrzeuge einordnen, Abb. 1.6. Parallel zur Entwicklungsphase eines Fahrzeugs müssen auch die zugehörigen Getriebe neu- oder weiterentwickelt werden. Dabei gilt es, auch neue Fertigungstechnologien für die Serienfertigung vorzubereiten und einzuführen. Nach Ende der Produktionsphase ist die Ersatzteilverfügbarkeit sicherzustellen. Dabei sind die Lebenszyklen der Zukauf-Bauteile, und hier nicht zuletzt der Halbleiterkomponenten, zu beachten.

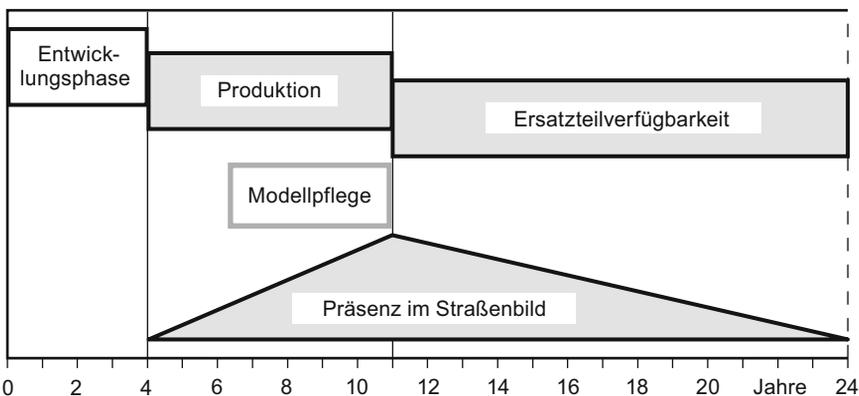


Abb. 1.6 Zeitdimensionen und Planungshorizonte im Automobilbau, angelehnt an [1]

Dieses Buch will den Entwicklungsprozess für Fahrzeuggetriebe in seiner Gesamtheit darstellen, Abb. 1.7. Es will Gedankengänge vermitteln, die über die reine Auslegung der Bauteile von Fahrzeuggetrieben hinausgehen. Unabhängig vom Produkt ist es immer erforderlich, das Gesamtsystem festzustellen, in dem es später eingesetzt wird. Ein Systemüberblick ist unerlässlich, er wird im Kap. 2 behandelt.

Fahrzeuggetriebe werden entscheidend vom Fahrzeug, vom Motor und vom Streckenprofil geprägt. Ohne Grundkenntnisse darüber ist eine sinnvolle Entwicklung unmöglich.

In Kap. 3 werden der Leistungsbedarf und das Leistungsangebot behandelt. Dazu werden die charakteristischen Kennwerte und Kennlinien von Verbrennungsmotoren und von Elektromotoren vorgestellt und erörtert. Kap. 4 erarbeitet die Grundlagen für die Wahl der Übersetzungen, inklusive der Übersetzungen für Elektroantriebe. In Kap. 5 geht es um die Abstimmung des Getriebes auf den Antriebsmotor und das Fahrzeug. Bevor auf die Auslegung und Gestaltung wichtiger Komponenten von Fahrzeuggetrieben eingegangen wird, werden in Kap. 6 deren konstruktiven Grundkonzepte vorgestellt und systematisch behandelt. In den Kap. 7, 8, 9 und 10 werden dann die Auslegung und Gestaltung wichtiger Bauteile beschrieben. Dies sind Anfahr-elemente, Schaltelemente und Zahnräder sowie Wellen, Lager, Schmierung, Ölversorgung, Gehäuse und Abdichtungen. Es werden dabei die spezifischen Anforderungen für Fahrzeuggetriebe herausgestellt, Berechnungsgänge und Kennwerte für die Auslegung gezeigt und Gestaltungshinweise gegeben. In Kap. 11 werden exemplarisch Getriebekonstruktionen vorgestellt, ihr konstruktiver Aufbau besprochen, Funktionen erläutert und interessante Lösungen beschrieben. Viele Innovatio-

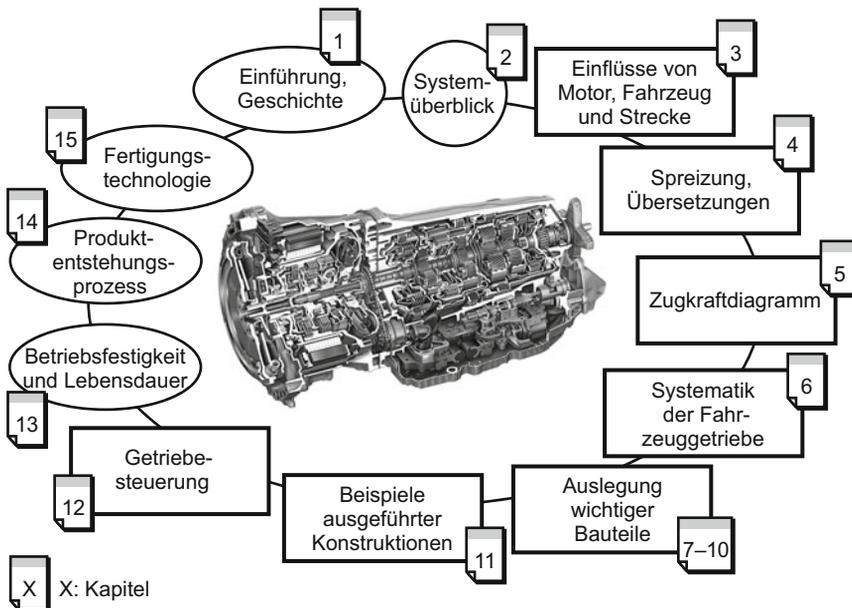


Abb. 1.7 Struktur der Aufgaben bei der Entwicklung von Fahrzeuggetrieben, Kapitelübersicht