

<b>1</b>	<b>Kernaufgabe der Fahrzeuggetriebe</b>	<b>1</b>
1.1	Zugkraftbedarf und Momentenbereitstellung bei Konstantfahrt	2
1.1.1	Zugkraftbedarf bei Konstantfahrt	2
1.1.2	Momentenbereitstellung bei Konstantfahrt	4
1.2	Zugkraftbedarf und Momentenbereitstellung bei instationären Fahrzuständen	6
1.2.1	Zugkraftbedarf bei Beschleunigung	6
1.2.2	Momentenbereitstellung bei Beschleunigung	8
1.2.3	Verbrauchskennfeld eines Verbrennungsmotors	9
1.2.4	Möglichkeiten der Leistungsbereitstellung	9
1.2.5	Zugkraftdiagramm	10
1.2.6	Ansprechverhalten	12
1.2.7	Elektrische Maschinen für den Hybrid- und E-Antrieb	14
1.3	Verbrauchsoptimierung	16
1.3.1	Verbrauchsermittlung	17
1.3.2	Lastpunktverschiebung	18
1.3.3	Optimierung der Verbrennungskraftmaschine	22
1.3.4	Potenzial kombinierter Lastpunktverschiebung und Optimierung der VKM	24
1.3.5	Wirkungsgrad	25
1.3.6	Zielkonflikt zwischen Verbrauch und Fahrspaß	28
1.4	Anfahren und Drehzahlangleichung	33
1.4.1	Kupplungen	34
1.4.2	Anfahrvorgang	38
1.5	Übersetzungen und ihre Auslegung	41
1.5.1	Übersetzungsverhältnis	41
1.5.2	Anforderungen zur Auslegung	42
1.5.3	Auslegung zur Erreichung der Höchstgeschwindigkeit	44
1.5.4	Auslegung der kleinsten Getriebeübersetzung als Overdrive	45
1.5.5	Auslegung der größten Getriebeübersetzung	46
1.5.6	Auslegung der Anzahl und Stufung der Gänge	47

1.5.7	Zielkonflikte bei der Übersetzungswahl . . . . .	50
1.5.8	Praktische Auslegungshinweise . . . . .	51
Literatur . . . . .		52
<b>2</b>	<b>Schaltodynamik und Komfort . . . . .</b>	<b>53</b>
2.1	Grundlagen des Gangwechsels und der Synchronisation . . . . .	53
2.1.1	Klassifizierung von Schaltungen . . . . .	53
2.1.2	Lastschaltende Zughochschaltung ohne Motormomenteneingriff .	56
2.1.3	Lastschaltende Zughochschaltung mit Motormomenteingriff . . .	59
2.1.4	Sensitivitäten am Beispiel der lastschaltenden Zughochschaltungen	60
2.1.5	Lastschaltende Zugrückschaltung . . . . .	63
2.1.6	Zughochschaltung mit Zugkraftunterbrechung . . . . .	65
2.1.7	Zugrückschaltung mit Zugkraftunterbrechung . . . . .	69
2.1.8	Betriebspunkte während des Schaltens im Motorkennfeld . . . .	71
2.2	Antriebsstrangdynamik . . . . .	72
2.2.1	Antriebsstrangmodell . . . . .	73
2.2.2	Reduktion von Trägheitsmomenten . . . . .	77
2.2.3	Reduktion von Federsteifigkeiten . . . . .	78
2.2.4	Ersatzsystem . . . . .	79
2.2.5	Eigenfrequenzen und Eigenformen . . . . .	81
2.2.6	Schwingungsanregungen . . . . .	86
2.2.7	Erzwungene Schwingung . . . . .	89
2.2.8	Drehschwingungsdämpfung am Getriebeeingang . . . . .	91
2.3	Fahrzeugakustik . . . . .	94
2.3.1	Getriebe als Geräuschquelle . . . . .	95
2.3.2	Getriebe im Zusammenhang mit akustischem Fahreindruck . .	98
2.4	Fahrzeugdynamik und Fahrerinteraktion . . . . .	100
2.4.1	Fahrzeugdynamik . . . . .	101
2.4.2	Dynamische Koppelung . . . . .	102
2.4.3	Einfluss des Schaltens . . . . .	102
2.4.4	Physiologische Empfindungen des Menschen . . . . .	103
Literatur . . . . .		105
<b>3</b>	<b>Elemente der Leistungsübertragung . . . . .</b>	<b>107</b>
3.1	Grundlagen und Wirkprinzipien . . . . .	107
3.1.1	Übertragungsformen und Anordnungen . . . . .	107
3.1.2	Schalten und Modulieren der Leistungsübertragung . . . .	110
3.1.3	Funktionsweise einer Kupplung – Grundsätze der Kraftübertragung durch Reibung . . . . .	111
3.2	Einfache Verzahnungsstufen . . . . .	112
3.2.1	Auslegungskriterien für Verzahnungsstufen . . . . .	114
3.2.2	Die Hauptparameter einer Zahnradstufe . . . . .	116

---

3.2.3 Zahnflankenmodifikation . . . . .	117
3.2.4 Praktische Auslegungshinweise für Stirnradstufen . . . . .	119
3.2.5 Geräusch- und Tragfähigkeitsoptimierung der Laufverzahnung .	120
3.2.6 Kegelradstufen . . . . .	121
3.3 Planetenstufen . . . . .	123
3.3.1 Aufbau und Kinematik der einfachen Planetenradstufe . . . . .	123
3.3.2 Grafische Ermittlung von Getriebeübersetzungen . . . . .	125
3.3.3 Kräfte, Momente, Verluste . . . . .	128
3.3.4 Konstruktionshinweise . . . . .	129
3.3.5 Fertigung . . . . .	129
3.3.6 Komplexe Planetenradsätze . . . . .	130
3.3.7 Leistungsverzweigung . . . . .	131
3.3.8 Differentiale . . . . .	133
3.4 Verschieberäder und Klaueinschaltungen . . . . .	136
3.4.1 Wirkprinzip und Einsatzgebiete . . . . .	136
3.4.2 Auslegungsgrundlagen . . . . .	137
3.4.3 Beispiele ausgeführter Bauformen . . . . .	139
3.5 Trockenkupplungen . . . . .	141
3.5.1 Konstruktionsmerkmale einer Trockenkupplung . . . . .	143
3.6 Nasskupplungen . . . . .	145
3.6.1 Grundlagen zur Drehmomentübertragung mit Mischreibung .	145
3.6.2 Wärmehaushalt von Nasskupplungen . . . . .	147
3.6.3 Verschleiß . . . . .	150
3.6.4 Öl- und Belagsbeanspruchung . . . . .	151
3.6.5 Schleppmoment . . . . .	152
3.7 Synchronisationseinheiten . . . . .	152
3.7.1 Abstraktion und Motivation . . . . .	152
3.7.2 Aufbau und Funktion einer Synchronisationseinheit . . . . .	153
3.7.3 Synchronisationssysteme . . . . .	158
3.7.4 Auslegungs- und Optimierungshinweise . . . . .	158
3.8 Fluideynamischer Wandler und Überbrückungskupplung . . . . .	159
3.8.1 Funktion und Kennlinien fluideynamischer Wandlers . . . . .	159
3.8.2 Hinweise zur konstruktiven Gestaltung des Wandlers . . . . .	163
3.8.3 Funktion und Prinzipien der Überbrückungskupplung . . . . .	164
3.9 Stufenlose Leistungsübertragung . . . . .	167
3.9.1 Wirkprinzip . . . . .	167
3.9.2 Umschlingungsvariator . . . . .	169
3.9.3 Reibradvariator . . . . .	172
3.9.4 Variator des Kegelringgetriebes . . . . .	173
3.9.5 Schmierung und Anpressung . . . . .	174
Literatur . . . . .	175

<b>4</b>	<b>Betätigungs-, Servo- und Hilfssysteme . . . . .</b>	177
4.1	Grundlagen und Wirkmechanismen . . . . .	177
4.1.1	Reduzierung des Kraftbedarfs . . . . .	179
4.2	Übertragungselemente . . . . .	181
4.2.1	Kraftübertragung von stehenden auf drehende Elemente . . . . .	181
4.2.2	Ein- und Ausrücksysteme . . . . .	182
4.2.3	Innere Schaltungen . . . . .	183
4.3	Kühlung und Schmierung . . . . .	184
4.4	Anforderungen an Servo- und Automatisierungssysteme . . . . .	186
4.5	Hydraulische Betätigung . . . . .	186
4.5.1	Pumpen . . . . .	187
4.5.2	Ventile zur Steuerung und Regelung . . . . .	191
4.5.3	Weitere Komponenten . . . . .	193
4.5.4	Regelungs- und Steuerungssubsysteme . . . . .	195
4.5.5	Elektrohydraulische Betätigungssysteme . . . . .	198
4.6	Pneumatische Betätigung . . . . .	199
4.6.1	Eigenschaften des Mediums Luft . . . . .	199
4.6.2	Komponenten der Pneumatik . . . . .	200
4.6.3	Beispiel pneumatischer Kupplungssteuerung . . . . .	201
4.7	Elektromechanische Betätigung . . . . .	202
4.7.1	Energiewandler . . . . .	202
4.7.2	Leistungsübertragung . . . . .	205
4.7.3	Bauformen von Aktuatoren . . . . .	207
4.8	Energie- und Leistungsbilanz . . . . .	210
	Literatur . . . . .	212
<b>5</b>	<b>Steuerung und Regelung . . . . .</b>	213
5.1	Elektronische Steuergeräte . . . . .	214
5.1.1	Übersicht . . . . .	214
5.1.2	Schnittstellen . . . . .	215
5.1.3	Mikrocontroller . . . . .	217
5.1.4	Überwachungseinrichtung . . . . .	217
5.1.5	Spannungsregler . . . . .	218
5.1.6	Elektromagnetische Verträglichkeit . . . . .	218
5.1.7	Ausführungen von Steuergeräten . . . . .	218
5.2	Softwarearchitektur . . . . .	219
5.2.1	Architektur . . . . .	220
5.3	Signalverarbeitung . . . . .	222
5.3.1	Drehzahlsensoren . . . . .	222
5.3.2	Schaltgabelpositionssensoren . . . . .	223
5.3.3	Drucksensoren . . . . .	224
5.3.4	Temperatursensoren . . . . .	224

5.3.5	Wählhebelpositionssensoren . . . . .	225
5.3.6	Signalaufbereitung und -filterung . . . . .	225
5.3.7	Fehlererkennung . . . . .	227
5.3.8	On-Board-Diagnose . . . . .	229
5.3.9	Aktuatoren . . . . .	229
5.4	Schaltpunktwahl . . . . .	230
5.4.1	Schaltstrategie . . . . .	231
5.5	Schaltdurchführung . . . . .	235
5.5.1	Regelung . . . . .	236
5.5.2	Adaption . . . . .	238
5.6	Sicherheit in Getriebesystemen . . . . .	240
5.7	Berechnung des Drehmoments über Druck . . . . .	242
	Literatur . . . . .	246
<b>6</b>	<b>Getriebekonstruktionen für Pkw-Anwendungen . . . . .</b>	<b>247</b>
6.1	Bauartübergreifende Merkmale, Elemente und Aufgaben . . . . .	248
6.1.1	Getriebeanordnungen . . . . .	248
6.1.2	Getriebeentwicklung . . . . .	250
6.1.3	Konstruktionselemente des Getriebes . . . . .	252
6.1.4	Entwicklungsprozess für Getriebegehäuse . . . . .	257
6.1.5	Ermittlung der Getriebelastung . . . . .	260
6.1.6	Toleranzanalyse . . . . .	262
6.1.7	Getriebeapplikation und -kalibration . . . . .	263
6.2	Handschaltgetriebe . . . . .	264
6.2.1	Aufbau und Baugruppen . . . . .	264
6.2.2	Anforderungen an Handschaltgetriebe . . . . .	266
6.2.3	Auslegung von Handschaltgetrieben . . . . .	267
6.2.4	Ausführungsbeispiele . . . . .	267
6.3	Automatisierte Handschaltgetriebe . . . . .	270
6.3.1	Aufbau und Baugruppen . . . . .	270
6.3.2	Anforderungen an automatisierte Handschaltgetriebe . . . . .	271
6.3.3	Auslegung von automatisierten Handschaltgetrieben . . . . .	273
6.3.4	Ausführungsbeispiel . . . . .	273
6.4	Doppelkupplungsgetriebe . . . . .	275
6.4.1	Aufbau und Baugruppen . . . . .	276
6.4.2	Anforderungen an Doppelkupplungsgetriebe . . . . .	278
6.4.3	Auslegung von Doppelkupplungsgetrieben . . . . .	279
6.4.4	Ausführungsbeispiele . . . . .	280
6.5	Automatikgetriebe . . . . .	284
6.5.1	Aufbau und Baugruppen . . . . .	284
6.5.2	Anforderungen an Automatikgetriebe . . . . .	286

6.5.3	Auslegung von Automatikgetrieben . . . . .	288
6.5.4	Ausführungsbeispiele . . . . .	291
6.6	Stufenlosgetriebe . . . . .	293
6.6.1	Aufbau und Baugruppen . . . . .	293
6.6.2	Anforderungen an Stufenlosgetriebe . . . . .	295
6.6.3	Auslegung von Stufenlosgetrieben . . . . .	295
6.6.4	Ausführungsbeispiel . . . . .	296
Literatur	. . . . .	297
<b>7</b>	<b>Elektrifizierung des Antriebsstrangs . . . . .</b>	<b>301</b>
7.1	Motivation und Abstraktion . . . . .	302
7.1.1	Anforderungen an elektrische und hybride Antriebsstränge . . . . .	304
7.2	Komponenten und Konfigurationen . . . . .	306
7.2.1	Hauptkomponenten der Elektrifizierung . . . . .	306
7.2.2	Speichersysteme für elektrische Energie . . . . .	309
7.2.3	Weitere Subsysteme und Interaktionen zum Gesamtfahrzeug . . . . .	312
7.2.4	Serieller Hybrid . . . . .	313
7.2.5	Paralleler Hybrid . . . . .	315
7.2.6	Leistungsverzweigung . . . . .	316
7.2.7	Mischformen hybrider Konfigurationen . . . . .	316
7.3	Funktionen und Strategien hybrider Antriebsstränge . . . . .	317
7.3.1	Start-Stopp-Funktion . . . . .	318
7.3.2	Rekuperation . . . . .	318
7.3.3	Boosten . . . . .	319
7.3.4	Elektrisches Fahren . . . . .	319
7.3.5	Lastpunktverschiebung . . . . .	320
7.3.6	Betriebsstrategien . . . . .	321
7.3.7	Elektrifizierungsgrade und Verbrauch . . . . .	324
7.4	Ausführungsbeispiele hybrider und elektrischer Antriebsstränge . . . . .	326
7.4.1	Microhybride (Start-Stopp-Systeme) . . . . .	326
7.4.2	Leistungsverzweigte Hybride . . . . .	327
7.4.3	Beispielhafte Serienanwendungen von Parallelhybriden . . . . .	329
7.4.4	Mischform aus leistungsverzweigtem und parallelem Hybrid – Two-Mode-Hybrid . . . . .	330
7.4.5	Parallelhybrid auf Basis des Doppelkupplungsgetriebes . . . . .	331
7.4.6	Mischform aus serielllem und parallelem Hybrid . . . . .	333
7.4.7	Elektroantrieb mit zusätzlichem serielllem und leistungsverzweigtem Hybridmodus . . . . .	334
7.4.8	Getriebe für Elektrofahrzeuge . . . . .	336
7.4.9	Range Extender . . . . .	336
Literatur	. . . . .	338

<b>8 Getriebeanwendungen außerhalb des Pkw-Bereichs . . . . .</b>	341
8.1 Allgemeine Anforderungen an Getriebe außerhalb des Pkw-Bereichs . . . . .	341
8.2 Lastkraftwagengetriebe . . . . .	345
8.2.1 Anforderungen an Lkw-Getriebe . . . . .	346
8.2.2 Dauerbremseinrichtungen . . . . .	348
8.2.3 Auslegungshinweise für Lkw-Getriebe . . . . .	352
8.2.4 Ausführungsbeispiele von Lkw-Getrieben . . . . .	353
8.3 Busgetriebe . . . . .	356
8.3.1 Anforderungen an Busgetriebe . . . . .	357
8.3.2 Ausführungsbeispiele von Busgetrieben . . . . .	358
8.4 Traktorgetriebe . . . . .	361
8.4.1 Anforderungen an Traktorgetriebe . . . . .	362
8.4.2 Getriebe als Teil der Tragstruktur . . . . .	363
8.4.3 Ausführungsbeispiele von Traktorgetrieben . . . . .	364
8.5 Motorradgetriebe . . . . .	368
8.5.1 Anforderungen an Motorradgetriebe . . . . .	368
8.5.2 Ausführungsbeispiele mit Fußbetätigung . . . . .	369
8.5.3 Beispiele automatisierter Motorradgetriebe . . . . .	371
8.6 Rennsportgetriebe . . . . .	373
8.6.1 Anforderungen im Rennsport . . . . .	373
8.6.2 Materialien in der Formel 1 . . . . .	374
8.6.3 Ausführungsbeispiel eines Formel-1-Getriebes . . . . .	375
Literatur . . . . .	377
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	379