

<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 Fahr- zuständen	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>Schaltdynamik 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 Motormomenteneingriff . . . . .	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 Klauenschaltungen . . . . .	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	Fluiddynamischer Wandler und Überbrückungskupplung . . . . .	159
3.8.1	Funktion und Kennlinien fluiddynamischer Wandler . . . . .	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 Getriebebelastung . . . . .	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 seriellem und parallelem Hybrid . . . . .	333
7.4.7	Elektroantrieb mit zusätzlichem seriellem und leistungsverzweig- tem Hybridmodus . . . . .	334
7.4.8	Getriebe für Elektrofahrzeuge . . . . .	336
7.4.9	Range Extender . . . . .	336
	Literatur . . . . .	338

<b>8</b>	<b>Getriebeanwendungen außerhalb des Pkw-Bereichs</b>	<b>341</b>
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>	<b>379</b>