
Inhaltsverzeichnis

1	Kernaufgabe der Fahrzeuggetriebe	1
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
2	Schaltdynamik und Komfort	53
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 Zugerückschaltung	63
2.1.6	Zughochschaltung mit Zugkraftunterbrechung	65
2.1.7	Zugerückschaltung 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
3	Elemente der Leistungsübertragung	107
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

4	Betätigungs-, Servo- und Hilfssysteme	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 Steuerungssysteme	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
5	Steuerung und Regelung	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
6	Getriebekonstruktionen für Pkw-Anwendungen	247
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
7	Elektrifizierung des Antriebsstrangs	301
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

8	Getriebeanwendungen außerhalb des Pkw-Bereichs	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
	Sachverzeichnis	379