

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, Motorkennung von Verbrennungsmotoren.....	95
3.3.1	Drehmoment-/Drehzahlcharakteristik	95
3.3.2	Motorspreizung, Drosselklappenkennfeld.....	97
3.3.3	Verbrauchskennfeld	98
4	Kennungswandler – 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 Nabenge triebe	227
6.8.3	Differentialgetriebe, Differentialsperren und Sperrdifferenziale.....	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	Getriebeegeräusche 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	Gebäuchliche 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, Getriebschmierstoffe	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	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 Sperrdifferentialle	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