

G. Lechner, H. Naunheimer

Fahrzeug- getriebe

Grundlagen, Auswahl, Auslegung
und Konstruktion

Mit 364 Abbildungen

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo
Hong Kong Barcelona Budapest

Inhaltsverzeichnis

Bezeichnungen und Formelzeichen	XV
1 Einführung	1
1.1 Einleitung	1
1.2 Geschichte der Fahrzeuggetriebe	6
1.2.1 Basisinnovationen	6
1.2.2 Entwicklung von Fahrzeugen und Antriebsaggregaten	8
1.2.3 Entwicklungsschritte bei Fahrzeuggetrieben	9
1.2.4 Entwicklung von Verzahnungen und anderen Getriebeteilelementen	17
1.2.5 Entwicklung hydrodynamischer Wandler und Kupplungen	19
1.2.6 Erforschung von Phänomenen: Getriebeverluste und Wirkungsgrad ..	20
1.2.7 Zusammenfassender Überblick	21
2 Überblick über das System Verkehr – Fahrzeug – Getriebe	23
2.1 Grundlagen der Verkehrs- und Fahrzeugtechnik	23
2.1.1 Bedeutung des Kraftfahrzeugs in unserer mobilen Welt	24
2.1.2 Entwicklungslinien der Verkehrstechnik	28
2.1.3 Transportsysteme für den Personen- und Güterverkehr	30
2.1.4 Alternative Transportkonzepte	34
2.2 Markt- und Entwicklungssituation bei Fahrzeugen, Fahrzeuggetrieben und deren Komponenten	36
2.2.1 Marktsituation und Produktionszahlen	36
2.2.2 Entwicklungssituation	39
2.3 Grundlagen der Fahrzeug- und Getriebetechnik	40
2.3.1 Systematik der Fahrzeuge und des Fahrzeugeinsatzes	41
2.3.2 Warum brauchen Fahrzeuge Getriebe?	43
2.3.3 Haupt- und Nebenfunktionen von Fahrzeuggetrieben, Anforderungsprofil	45
2.3.4 Grundzusammenhänge: Drehrichtung, Übersetzung, Drehmoment ..	45
2.3.5 Straßenprofile, Lastkollektive, typische Fahrzeugeinsätze und Fahrertypen	49
2.4 Elementare Leistungsmerkmale von Fahrzeuggetrieben	50
2.4.1 Lebensdauer und Zuverlässigkeit von Getrieben	51

2.4.2	Kennwert Achsabstand	52
2.4.3	Kennwert Getriebemasse	53
2.4.4	Kennwert Getriebekosten.....	54
2.4.5	Getriebegeräusch.....	55
2.4.6	Getriebeverluste und Wirkungsgrad	55
2.5	Trends bei den Getriebebauarten.....	57
3	Leistungsbedarf und Leistungsangebot	59
3.1	Leistungsbedarf	59
3.1.1	Radwiderstand.....	59
3.1.2	Kraftschluß, dynamischer Radhalbmeser und Schlupf	61
3.1.3	Luftwiderstand	62
3.1.4	Steigungswiderstand	64
3.1.5	Beschleunigungswiderstand.....	64
3.1.6	Gesamt-Fahrwiderstand	65
3.1.7	Wirkungsgradkennfeld.....	66
3.2	Vielfalt der Antriebsaggregate	69
3.2.1	Übersicht	69
3.2.2	Elektroantrieb.....	70
3.2.3	Hybridantrieb	71
3.3	Leistungsangebot, Motorkennung von Verbrennungsmotoren.....	72
3.3.1	Drehmoment-/Drehzahlcharakteristik.....	73
3.3.2	Motorspreizung, Drosselklappenkennfeld	75
3.3.3	Verbrauchskennfeld	76
4	Kennungswandler – Wahl der Übersetzungen	78
4.1	Antriebsstrang	79
4.2	Drehzahlwandler für den Anfahrvorgang	80
4.3	Gesamtübersetzung und Getriebespreizung	82
4.3.1	Getriebespreizung i_G , ges	83
4.3.2	Wahl der größten Übersetzung i_A , max	84
4.3.3	Wahl der kleinsten Übersetzung i_A , min	85
4.3.4	Endübersetzung	88
4.4	Wahl der Zwischengänge	88
4.4.1	Geschwindigkeits-Drehzahl-Diagramm	89
4.4.2	Geometrische Gangabstufung	90
4.4.3	Progressive Gangabstufung	90
4.5	Übersetzungen und ihre Änderung bei Stufenlosgetrieben	92
5	Zusammenarbeit Verbrennungsmotor – Getriebe	93
5.1	Zugkraftdiagramm	95
5.1.1	Ermittlung eines Zugkraftdiagramms, Beispiel	96

5.1.2	Motorbremskraft	98
5.1.3	Stufengetriebe mit Trockenkupplung	99
5.1.4	Stufengetriebe mit Trilok-Wandler	99
5.2	Fahrleistungen	102
5.2.1	Höchstgeschwindigkeit	103
5.2.2	Steigvermögen	104
5.2.3	Beschleunigungsvermögen	104
5.3	Kraftstoffverbrauch	105
5.3.1	Rechnerische Kraftstoffverbrauchsermittlung, Beispiel	105
5.3.2	Kraftstoffverbrauchsermittlung durch Messung	106
5.3.3	Senkung des Kraftstoffverbrauchs	108
5.3.4	Stufenlosgetriebe	109
5.4	Emissionen	110
5.5	Dynamisches Verhalten des Antriebsstrangs, Komfort	110
6	Systematik der Fahrzeuggetriebe: Konstruktive Grundkonzepte	112
6.1	Anordnung des Getriebes im Fahrzeug	112
6.1.1	Personenkraftwagen	112
6.1.2	Lkw und Busse	116
6.1.3	Pkw mit Allradantrieb	116
6.1.4	Vereinfachte Darstellung der Quer- und Längsdynamik beim Allradantrieb	120
6.2	Bauformen und Bauarten von Getrieben	121
6.2.1	Bauform	122
6.2.2	Bauart	123
6.3	Grundsätzlicher Aufbau von Getrieben	124
6.3.1	Schalten mit Zugkraftunterbrechung	125
6.3.2	Schalten ohne Zugkraftunterbrechung	126
6.3.3	Stufenlose Getriebe ohne Zugkraftunterbrechung	126
6.4	Stand-, Vorgelege- und Umlauf-Getriebe	127
6.5	Lösungsprinzipien für Teilstufenfunktionen, Bewertung	129
6.5.1	Rückwärtsgang	130
6.6	Pkw-Getriebe	131
6.6.1	Pkw-Handschatzgetriebe	132
6.6.2	Teilautomatisierte Pkw-Schaltgetriebe	134
6.6.3	Vollautomatisierte Pkw-Schaltgetriebe	135
6.6.4	Stufenlose Pkw-Getriebe	142
6.7	Nkw-Getriebe	146
6.7.1	Ein-Gruppengetriebe	147
6.7.2	Mehr-Gruppengetriebe	149
6.7.3	Praktische Ausführung von Zwei- und Drei-Gruppengetrieben	154
6.7.4	Teilautomatisierte Nkw-Schaltgetriebe	158
6.7.5	Vollautomatisierte Nkw-Schaltgetriebe	159
6.7.6	Nkw-Stufenlosgetriebe	160

6.8	Verteilergetriebe und Nebenabtriebe	161
6.9	Endantriebe: Bauformen, Leistungsgrenzen, Übersetzungsverhältnisse	164
6.9.1	Endantriebskonzepte bei Pkw	164
6.9.2	Endantriebskonzepte bei Nkw	166
6.10	Differentialgetriebe, Differentialsperren und Sperrdifferentiale	169
6.10.1	Grundlagen der Differentialgetriebe	169
6.10.2	Zur Notwendigkeit des Sperrens	171
6.10.3	Der Sperrwert	172
6.10.4	Alternativen zu Selbstsperrdifferentialen	173
7	Auslegung von Zahnradgetrieben für Fahrzeuge	174
7.1	Leistungsgrenzen von Zahnrädern	174
7.1.1	Schadensarten und ihre Ursachen	175
7.1.2	Berechnung der Leistungsgrenze "Zahnbruch"	179
7.1.3	Berechnung der Leistungsgrenze "Grübchenbildung"	180
7.1.4	Berechnung der Leistungsgrenze "Freßverschleiß"	181
7.2	Überschlägige Berechnung des Achsabstands	181
7.3	Überschlägige Berechnung der Zahnbreiten (Breitentragen)	184
7.4	Betriebsfestigkeit und Lebensdauer	185
7.4.1	Die Wöhlerlinie	186
7.4.2	Lastkollektiv und Zählverfahren	188
7.4.3	Schadensakkumulationshypothese	190
7.5	Entwicklung geräuscharmer Getriebe	196
7.5.1	Getriebegeräusche und ihre Ursachen	196
7.5.2	Weg der Geräusche vom Entstehungsort zum Ohr	200
7.5.3	Beurteilungsmaßstäbe	200
7.5.4	Gegenmaßnahmen	203
8	Auslegung und Gestaltung von Wellen	206
8.1	Fahrzeuggetriebetypische Probleme	206
8.1.1	Anordnung von Wellen in Fahrzeuggetrieben	206
8.1.2	Beanspruchung und Festigkeitsauslegung	206
8.1.3	Durchbiegung	208
8.1.4	Schwingungsprobleme	208
8.2	Allgemeine Gestaltungshinweise	209
8.3	Festigkeitsauslegung einer Getriebeantriebswelle	210
8.3.1	Belastung	210
8.3.2	Lagerreaktionen	213
8.3.3	Die räumliche Balkenbiegung	213
8.3.4	Kraft- und Momentenverläufe	214
8.3.5	Kritischer Querschnitt	216
8.3.6	Spannungen	217
8.3.7	Vorauslegung des Wellendurchmessers	220

8.3.8 Auslegung auf Dauerfestigkeit	220
8.3.9 Auslegung auf Betriebsfestigkeit	221
8.3.10 Gebräuchliche Wellenwerkstoffe.....	222
8.4 Berechnung der Verformung.....	222
8.5 Ablaufdiagramm für die Auslegung von Getriebewellen	223
9 Schalteinrichtungen, Auslegung und Gestaltung von Synchronisierungen	226
9.1 Systematik der Schaltelemente.....	228
9.1.1 Schaltelemente für Stufengetriebe mit Zugkraftunterbrechung.....	228
9.1.2 Schaltelemente für Stufengetriebe ohne Zugkraftunterbrechung	231
9.1.3 Parksperrre	232
9.2 Anforderungen an Synchronisierungen.....	233
9.2.1 Schaltvorgang	234
9.2.2 Haupt- und Nebenfunktionen.....	237
9.2.3 Drehzahlanpassung mit rutschender Reibkupplung.....	237
9.2.4 Abmessungen von Synchronisierungen	238
9.3 Ablauf des Synchroniservorgangs	238
9.3.1 Schaltkomfort.....	241
9.4 Auslegung von Synchronisierungen.....	243
9.4.1 Leistungsgrenzen von Synchronisierungen	243
9.4.2 Grundlagen der Auslegungsrechnung	246
9.4.3 Praktische Auslegung auf zulässige thermische Beanspruchung	247
9.4.4 Auslegung der Sperrverzahnung auf Sperrwirkung	251
9.5 Tribologisches System	255
9.5.1 Werkstoffe.....	256
9.6 Konstruktive Ausführungen	256
9.6.1 Detailfragen	260
9.7 Alternative Getriebesynchronisierungen	261
10 Hydrodynamische Kupplungen und Drehmomentwandler	263
10.1 Grundlagen	264
10.2 Hydrodynamische Kupplungen und ihre Kennlinien	267
10.3 Hydrodynamische Wandler und ihre Kennlinien	268
10.3.1 Der Trilok-Wandler	269
10.4 Zusammenarbeit Motor und hydrodynamischer Wandler	270
10.4.1 Wandlerversuchsdigramm, Zusammenarbeit Motor und Trilok-Wandler	273
10.5 Praktische Auslegung von hydrodynamischen Wandlern	274
10.6 Konstruktive Ausführungen	275
10.7 Konstruktionsprinzipien zur Wirkungsgradverbesserung	277
10.7.1 Wandlerüberbrückungskupplung	277
10.7.2 Leistungsverzweigung	277

11 Hinweise zur Auslegung und Gestaltung weiterer Konstruktionselemente von Fahrzeuggetrieben	280
11.1 Lager.....	280
11.1.1 Lagerauswahl	281
11.1.2 Lagerauslegung	281
11.1.3 Gestaltung von Wälzlagерungen	285
11.2 Schmierung von Getrieben, Getriebeschmierstoffe	287
11.2.1 Schmierung von Lagern	288
11.2.2 Grundlagen der Schmierung von Zahnradgetrieben	288
11.2.3 Wahl des Schmierstoffs	291
11.2.4 Wahl der Schmierstoffeigenschaften	291
11.2.5 Lebensdauerschmierung bei Fahrzeuggetrieben	294
11.2.6 Prüfung der Freßtragfähigkeit von Getriebeschmierstoffen	295
11.3 Getriebegehäuse	296
11.3.1 Gestaltung von Getriebegehäusen	296
11.3.2 Entlüftung von Getrieben	298
11.4 Abdichtung von Getrieben	303
11.4.1 Dichtungen für ruhende Bauteile	303
11.4.2 Dichtungen für rotierende Bauteile	306
11.4.3 Dichtungen für hin- und hergehende runde Bauteile	307
11.4.4 Einbaubeispiele	308
11.5 Fahrzeugsauerbremsen	309
11.5.1 Definitionen	310
11.5.2 Motorbremssysteme	311
11.5.3 Retarder	311
11.5.4 Betätigung und Einsatz	315
12 Beispiele ausgeführter Konstruktionen von Fahrzeuggetrieben	316
12.1 Handschaltgetriebe	317
12.1.1 Pkw-Handschatggetriebe	317
12.1.2 Nkw-Handschatggetriebe	323
12.2 Teilautomatisierte Schaltgetriebe	327
12.2.1 Teilautomatisierte Pkw-Schaltgetriebe	327
12.2.2 Teilautomatisierte Nkw-Schaltgetriebe	328
12.3 Vollautomatisierte Schaltgetriebe	330
12.3.1 Pkw-Automatgetriebe	330
12.3.2 Nkw-Automatgetriebe	333
12.4 Weitere Beispiele	335
12.5 Endantriebe	340
12.5.1 Konstruktionsbeispiele, Pkw	340
12.5.2 Konstruktionsbeispiele, Nkw	343
12.6 Differentialgetriebe, Sperrdifferentiale	346
12.7 Allradantrieb, Verteilergetriebe	352

13 Motor-/Getriebemanagement, Elektronik und Informationsvernetzung	360
13.1 Übersicht über verwirklichte elektronische Systeme	360
13.2 Motorsteuerung	362
13.3 Getriebesteuerung	362
13.3.1 Automatisierte Anfahr-/Schaltkupplung	362
13.3.2 Teilautomatisierte Schaltgetriebe, automatisierte Gangwahl	363
13.3.3 Vollautomatisierte Schaltgetriebe, adaptive Schaltstrategie	363
13.3.4 Stufenlosgetriebe	365
13.4 Elektronisch gesteuerte Brems- und Traktionssysteme	365
13.5 Sicherheitskonzepte	366
14 Übersicht über Entwicklungsablauf, Produktplanung und Methodisches Konstruieren.....	367
14.1 Produktlebensphasen	368
14.2 Produktplanung	370
14.3 Entwicklungsablauf	373
14.4 Methodisches Konstruieren	376
14.5 Verknüpfen von Entwicklungsablauf und Fertigung	382
15 Rechnerunterstützte Getriebeentwicklung, Fahrsimulation	384
15.1 Fahrsimulation	386
15.1.1 Umwelt-Störgrößen	387
15.1.2 Streckendatensatz, Streckendatenerfassung	388
15.2 Fahrsimulationsprogramme	389
15.2.1 Einteilung	389
15.2.2 Modularer Aufbau	390
15.3 Anwendungen der Fahrsimulation	391
16 Zuverlässigkeit und Erprobung von Fahrzeuggetrieben	394
16.1 Grundlagen der Zuverlässigkeitstheorie	395
16.1.1 Definition der Zuverlässigkeit	395
16.1.2 Statistische Beschreibung und Darstellung des Ausfallverhaltens von Bauteilen	395
16.1.3 Mathematische Beschreibung des Ausfallverhaltens durch die Weibull-Verteilung	399
16.1.4 Zuverlässigkeit bei Systemen	404
16.1.5 Verfügbarkeit von Systemen	405
16.2 Zuverlässigkeitsanalyse von Fahrzeuggetrieben	406
16.2.1 Systemanalyse	406
16.2.2 Qualitative Zuverlässigkeitsanalyse	409
16.2.3 Quantitative Zuverlässigkeitsanalyse	412

16.3 Erprobung zur Sicherstellung der Zuverlässigkeit	415
16.3.1 Klassifizierung der Erprobungsprogramme von Fahrzeuggetrieben	417
16.3.2 Prüfstände für die Erprobungsprogramme	419
Literaturverzeichnis	423
Firmen-/Getriebeverzeichnis	436
Namenverzeichnis.....	438
Sachverzeichnis.....	439