

Eckhard Kirchner

Leistungsübertragung in Fahrzeuggetrieben

Grundlagen der Auslegung, Entwicklung
und Validierung von Fahrzeuggetrieben
und deren Komponenten

Mit 532 Abbildungen und 58 Tabellen



Springer

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Aufgaben des Fahrzeuggetriebes	1
1.2	Ziel und Schwerpunkt	5
1.3	Beschreibung der mechanischen Schnittstellen	7
1.4	Gliederung	9
2	Antriebsstrang- und Getriebekonzepte für PKW und Nutzfahrzeuge	13
2.1	PKW mit Frontantrieb	14
2.2	Heckangetriebene PKW	17
2.3	Sonderformen des PKW-Antriebsstranges	19
2.3.1	Allradfahrzeuge	19
2.3.2	Mittelmotorkonzepte für Sportwagen	21
2.4	Nutzfahrzeuge und Busse	23
2.4.1	Lastkraftwagen	23
2.4.2	Busse	27
2.5	Automatisierungsgrade von Fahrzeuggetrieben	28
2.5.1	Teilautomatisierte PKW- und NKW-Schaltgetriebe	29
2.5.2	Vollautomatische Schaltgetriebe	30
2.6	Manuelle Schaltgetriebe	31
2.6.1	Getriebe für den Frontquereinbau	32
2.6.2	Getriebe für frontgetriebene Fahrzeuge mit Längsmotor	37
2.6.3	Getriebe für Fahrzeuge mit Heckantrieb	39
2.6.4	Beispiele für Sportwagen-Schaltgetriebe	40
2.6.5	Manuell schaltbares Gruppengetriebe 16S109	42
2.7	Teil- und vollautomatische Getriebe	45
2.7.1	Sequentielle, teilautomatisierte Getriebe	45
2.7.2	Doppelkupplungsgetriebe	46
2.7.3	Stufenautomatikgetriebe	52
2.7.4	Stufenlose Automatikgetriebe	57

3	Systemauslegung von Antriebsträngen	65
3.1	Vorbemerkungen und Definitionen	66
3.1.1	Vorzeichenkonvention und Übersetzungen	66
3.1.2	Relativdrehzahlen	72
3.1.3	Verluste, Wirkungsgrad und Schleppmoment	74
3.2	Fahrleistung und Verbrauch	77
3.2.1	Ideale Zugkrafthyperbel und allgemeine Fahrwiderstände	78
3.2.2	Einfluss und Auslegung von Getriebeübersetzungen	86
3.2.3	Verbrauchsaspekte	95
3.2.4	Fahrleistung und Beschleunigungsvermögen	96
3.3	Lastannahmen für die System- und Komponentenauslegung	100
3.3.1	Auslegungslebensdauer	101
3.3.2	Missbrauchslasten	102
3.3.3	Lastkollektive für die Betriebsfestigkeitsanalyse	104
3.3.4	Komfortanforderungen	105
3.4	Lastenheft, Systemkonfiguration und Entwicklungsprozess	105
3.4.1	Lastenhefterstellung	106
3.4.2	Identifikation möglicher Systemkonfigurationen	107
3.4.3	Entwicklungsprozess	108
4	Auslegung und Charakteristika spezieller Systeme und Baugruppen von manuellen Schaltgetrieben	111
4.1	Kupplungen und Schwungräder	112
4.1.1	Aufbau des Kupplungsmoduls im Fahrzeuggetriebe	115
4.1.2	Belagmaterialien und ihre Belastungsgrenzen	121
4.1.3	Auslegung des Kupplungssystems	126
4.1.4	Mechanismen zur Selbstnachstellung	138
4.1.5	Kupplungsbetätigung	140
4.1.6	Prinzipieller Aufbau von Doppelkupplungen	146
4.2	Wellen und Räder	147
4.2.1	Gestaltung und Auslegung von Wellen	150
4.2.2	Festigkeitsnachweis von Getriebewellen	163
4.2.3	Gestaltung von Rädern	165
4.3	Auslegung von Verzahnungen	168
4.3.1	Leistungsgrenzen, Tragbilder und Tragfähigkeitsgrenzen	171
4.3.2	Achsabstand, Zahnbreite und Schrägungswinkel	179
4.3.3	Überprüfung der Vorauslegung	192
4.3.4	Nachweis von Zahnfuß- und Zahnflankentragfähigkeit	193
4.3.5	Verzahnungskräfte bei Stirnradstufen	204
4.3.6	Besonderheiten von Kegelrädern	206
4.3.7	Qualitätssicherung und Optimierungsansätze	209
4.4	Synchronisation	214
4.4.1	Aufbau der Synchronisation	214
4.4.2	Phasen des Synchronisationsvorgangs	220
4.4.3	Auslegung der Synchroneinheiten	227

4.4.4	Fehlfunktionen	236
4.4.5	Reibbeläge für Synchronisationen	237
4.5	Komponenten der Schaltbetätigung	242
4.5.1	Schalten und Wählen – Externe Schaltung	245
4.5.2	Komponenten der Innenschaltung	254
4.5.3	Rastierelemente	257
5	Architektur, Komponenten und Baugruppen automatisch schaltender PKW-Getriebe	265
5.1	Kommunikation zwischen Fahrzeug, Motor und Getriebe	266
5.2	Teilautomatisierung manueller Schaltgetriebe	269
5.2.1	Automatisierungsstrategie – Änderungsumfang	269
5.2.2	Komponenten zur Teilautomatisierung	273
5.3	Doppelkupplungssystem	275
5.3.1	Der mechanische Aufbau von Doppelkupplungsgetrieben	276
5.3.2	Vergleich trocken und nass laufender Doppelkupplungen	283
5.3.3	Aktuatorik und Regelung	290
5.4	Aufbau und Betätigungselemente von Stufenautomatgetrieben	295
5.4.1	Architektur und Leistungsfluss	296
5.4.2	Leistungsführende Schaltelemente	301
5.4.3	Betätigungselemente von Stufenautomatikgetrieben	313
5.5	Drehmomentwandler für Stufenautomaten	321
5.5.1	Prinzip der hydrodynamischen Leistungsübertragung	322
5.5.2	Auslegung des Wandlers	333
5.5.3	Wandlerüberbrückungskupplung	347
5.5.4	Entwicklungstrends	351
5.6	Planetensätze	355
5.6.1	Aufbau und Besonderheiten	356
5.6.2	Der einfache Planetensatz	358
5.6.3	Graphische Verfahren – Momenten- und Drehzahlplan	376
5.6.4	Aufwändigere und verkettete Planetensätze	381
5.6.5	Planetensätze mehrstufiger Stufenautomatgetriebe	387
5.7	Spezielle mechanische Komponenten stufenloser Getriebe	396
5.7.1	Wirkprinzipien mechanischer Stufenlosgetriebe	397
5.7.2	Abschätzung der Verlustleistungen	402
5.7.3	Ausgewählte Komponenten des Kegelringgetriebes	406
5.7.4	Leistungsübertragung in Umschlingungsgetrieben	412
6	Allgemeine Komponenten der Fahrzeuggetriebe	423
6.1	Differentiale – Ausgleichsgetriebe	423
6.1.1	Achspareller An- und Abtrieb	426
6.1.2	Winkliger An- und Abtrieb	434
6.1.3	Differentiale mit Sperrwirkung	437
6.2	Achs- und Längswellen und Gelenke	439
6.2.1	Achswellen	440

6.2.2	Längswellen	441
6.2.3	Kreuzgelenke	442
6.3	Leistungsverteilende Komponenten für Allradfahrzeuge	448
6.3.1	Systematik von Allradantrieb und Leistungsverteilung ..	450
6.3.2	Leistungsverteilung in Fahrzeuglängsrichtung	458
6.3.3	Aktive Leistungsverteilung	465
6.4	Wälzlagerungen	467
6.4.1	Wälzlager in Fahrzeuggetrieben	471
6.4.2	Dimensionierung auf Betriebsfestigkeit	474
6.4.3	Nadel- und Rollenlager für die Lagerung von Losrädern ..	479
6.4.4	Kegel-, Rollen- und Kugellager für die Wellenlagerung ..	481
6.4.5	Wälzlagerungen für Komfortbauteile der Schaltung	483
6.4.6	Lagerschäden: Ursachen und Auswirkungen	484
6.5	Gehäuse, Dichtung und Beölung	487
6.5.1	Mechanische Funktionen des Gehäuses	487
6.5.2	Dichtkonzepte bei mehrteiligen Gehäusen	491
6.5.3	Beölung – Öl als Konstruktionselement	496
7	Leistungsübertragung in Nutzfahrzeuggetrieben	505
7.1	Nutzfahrzeuggetriebe mit mechanischer Leistungsübertragung ..	506
7.1.1	Integration des Getriebes in den Triebstrang	506
7.1.2	Gruppenbauweise	511
7.1.3	Automatisierungsstrategien	520
7.2	Nutzfahrzeugantriebe mit hydraulischer Leistungsübertragung ..	525
7.2.1	Nutzfahrzeuggetriebe mit hydraulischen Komponenten ..	525
7.2.2	Vario-Getriebe von Fendt	532
7.2.3	DIWA-Getriebe von Voith	537
7.2.4	Hydraulisch betätigter optionaler Allradantrieb	542
7.3	Spezielle Komponenten	544
7.3.1	Klauenschaltung	545
7.3.2	Hydrodynamische Strömungsbremse – Retarder	545
7.3.3	Hydropumpen und -motoren	550
8	Leistungsübertragung in Hybridfahrzeugen	559
8.1	Allgemeines	562
8.1.1	Geschichtlicher Hintergrund	563
8.1.2	Grundstrukturen der Hybridantriebe	565
8.1.3	Einteilung nach der installierten Leistung	571
8.1.4	Verbrauchsaspekte	572
8.2	Betriebstrategien und Antriebstrangkonfiguration	574
8.2.1	Hybridkonzept des Toyota Prius	576
8.2.2	Elektrischer Allradantrieb	580
8.2.3	Two-Mode-Hybrid System	581
8.3	Leistungsübertragung bei Brennstoffzellenfahrzeugen	585

9	Komfortaspekte	587
9.1	Subjektive Einflussfaktoren und Ansätze zur Objektivierung	588
9.2	Schwingungen des Antriebstrangs	591
9.2.1	Rupfen	592
9.2.2	Ruckeln	594
9.2.3	Lastwechselstöße und -geräusche	595
9.2.4	Schwingungen und Geräusche bei Allradsystemen	596
9.2.5	Mögliche Schwingungstilgung beim Hybridantrieb	597
9.3	Zugkraftunterbrechung und Lastwechsel	597
9.3.1	Wesen von Zugkraftunterbrechung und Lastwechsel	598
9.3.2	Schaltkomfort automatisierter Schaltgetriebe	599
9.3.3	Doppellückschaltungen bei Doppelkupplungsgetrieben	601
9.3.4	Zugkraftunterbrechung bei Hybridkonzepten	602
9.4	Schaltkomfort	603
9.4.1	Begriffsklärung und relevante Kenngrößen	605
9.4.2	Phänomene des Schaltkratzens	608
9.4.3	Fahrversuch, Prüfstand und Rechnung	611
9.4.4	Maßnahmen zur Schaltkomfortoptimierung	614
9.5	Geräusche und Schwingungen von Schaltung und Kupplung	615
9.5.1	Vibrationen des Kupplungspedals	615
9.5.2	Wählrauhigkeit	617
9.5.3	Vibrationen im Schaltsystem	618
9.6	Getriebegeräusche	623
9.6.1	Getriebeheulen oder -pfeifen	624
9.6.2	Getrieberasseln oder -klappern	625
9.6.3	Maßnahmen zur Geräuschreduzierung	630
9.6.4	Schaltgeräusche	633
9.6.5	Lagergeräusche	634
10	Validierung: Möglichkeiten und Konzepte	635
10.1	Validierung und Entwicklung im Fahrzeug	635
10.2	Dauerlauferprobung auf Komponentenprüfständen	638
10.3	Prüfstände für Fahrmanöver und Komfortentwicklung	643
10.3.1	Komponenten- und Funktionsprüfstände	644
10.3.2	Prüfstände für Sondermanöver	648
10.4	Möglichkeiten und Grenzen der virtuellen Validierung	649
10.4.1	Vertrauenskennziffer	649
10.4.2	Methoden der Strukturmechanik	651
10.4.3	Mehrkörpersimulationsverfahren	652
10.4.4	Strömungsmechanische Verfahren	653
10.4.5	Road-to-Rig-to-Math Strategie	654

A Erweiterungen der elementaren Festigkeitslehre 655

 A.1 Hertz'sche Flächenpressung 655

 A.1.1 Vorbemerkungen 656

 A.1.2 Punktberührung 658

 A.1.3 Linienberührung 664

 A.2 Grundzüge der Betriebsfestigkeit 666

 A.2.1 Das Wöhlerschaubild 666

 A.2.2 Original Palmgren-Miner-Regel 672

 A.2.3 Relative Palmgren-Miner-Regel 674

 A.2.4 Elementare Palmgren-Miner-Regel 675

 A.2.5 Schädigungsäquivalenz 675

B Kurzlösungen zu den Auslegungsaufgaben 679

Literaturverzeichnis 683

Sachverzeichnis 693