

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Grundlagen	1
	<i>Metin Ersoy, Stefan Gies und Bernd Heißing</i>	
1.1	Geschichte, Definition, Bedeutung	4
1.1.1	Entstehungsgeschichte	4
1.1.2	Definition und Abgrenzung	12
1.1.3	Aufgabe und Bedeutung	14
1.2	Fahrwerk Aufbau	15
1.2.1	Fahrzeugklassen	15
1.2.2	Antriebskonzepte	18
1.2.3	Fahrwerkkonzeption	21
1.2.4	Trends in der Fahrwerkkonzeption	22
1.3	Fahrwerksauslegung	25
1.3.1	Anforderungen an das Fahrwerk	27
1.3.2	Fahrwerk-Kinematikauslegung	28
1.3.3	Kinematik der Radaufhängung	29
1.3.4	Elastokinematik und Bauteilelastizitäten der Radaufhängung	45
1.3.5	Zielwerte für die Kenngrößen	47
1.3.6	Synthese der Radaufhängungen	47
	Literatur	49
2	Fahrdynamik	51
	<i>Metin Ersoy, Christoph Elbers, Daniel Wegener, Jörn Lützow, Christian Bachmann und Christian Schimmel</i>	
2.1	Fahrwiderstände und Energiebedarf	55
2.1.1	Fahrwiderstände	55
2.1.2	Seitenwindkräfte	70
2.1.3	Leistungs- und Energiebedarf	73
2.1.4	Kraftstoffverbrauch	74
2.2	Kraftübertragung zwischen Reifen und Fahrbahn	77
2.2.1	Physik der Kraftübertragung zwischen Reifen und Fahrbahn	80
2.2.2	Reifenkräfte im Detail	92
2.2.3	Wirkung der Reifenkräfte auf die Fahrstabilität	94
2.3	Längsdynamik	96
2.3.1	Anfahren und Bremsen	96
2.4	Vertikaldynamik	99
2.4.1	Aufbaufedern	100
2.4.2	Schwingungsdämpfer	101
2.4.3	Fahrbahn als Anregung	103
2.4.4	Zweimassen-Feder-Dämpfersysteme mit dem Reifen als Federelement	107
2.4.5	Federungsmodelle	108
2.4.6	Parametervariation	115
2.4.7	Verknüpfung Fahrbahn–Fahrzeug	118
2.4.8	Menschliche Schwingungsbewertung	122
2.4.9	Erkenntnisse aus den vertikaldynamischen Grundlagen	124

2.5	Querdynamik	124
2.5.1	Anforderungen an das Fahrverhalten	125
2.5.2	Lenkkinematik	126
2.5.3	Fahrzeugmodellierung	128
2.5.4	Die Regelstrecke „Fahrzeug“ im Regelkreis	143
2.5.5	Frequenzgangbetrachtung bei variierten Fahrzeugparametern	149
2.5.6	Zweispur-Fahrzeugmodellierung	151
2.5.7	Parametervariation	154
2.6	Allgemeine Fahrdynamik	161
2.6.1	Wechselwirkungen zwischen Vertikal-, Längs- und Querdynamik	162
2.6.2	Kritische Fahrsituationen	163
	Literatur	167
3	Fahrverhalten	171
	<i>Bernd Heißing und Christian Schimmel</i>	
3.1	Beurteilung des Fahrverhaltens	173
3.2	Fahrmanöver	174
3.3	Fahrmanöver Parameterraum	178
3.4	Abstimmungsmaßnahmen	180
3.4.1	Abstimmungsmaßnahmen zum stationären Lenkverhalten	181
3.5	Subjektive Fahrverhaltensbeurteilung	183
3.5.1	Bewertungsmethoden und Darstellung	183
3.5.2	Anfahrverhalten	184
3.5.3	Bremsverhalten	184
3.5.4	Lenkverhalten	184
3.5.5	Kurvenverhalten	185
3.5.6	Geradeausfahrt	188
3.5.7	Fahrkomfort (subjektiv)	188
3.6	Objektive Fahrverhaltensbeurteilung	193
3.6.1	Messgrößen	194
3.6.2	Anfahrverhalten	194
3.6.3	Bremsverhalten	194
3.6.4	Lenkverhalten	197
3.6.5	Kurvenverhalten	198
3.6.6	Geradeausfahrt	201
3.6.7	Fahrkomfort (objektiv)	203
3.7	Aktive und passive Sicherheit	204
	Literatur	206
4	Fahrkomfort	207
	<i>Wolfgang Sauer, Klaus Kramer und Metin Ersoy</i>	
4.1	Grundlagen, Mensch und NVH	208
4.1.1	Begriffe und Definitionen	208
4.1.2	Schwingungs- und Geräuschquellen	210
4.1.3	Wahrnehmungsgrenzen des Menschen	211
4.1.4	Das Wohlbefinden des Menschen	212
4.1.5	Maßnahmen gegen Schwingungen und Geräusche	213
4.1.6	Vorgehen bei der NVH-Optimierung	215

4.2	Gummiverbundteile	216
4.2.1	Funktion der Gummiverbundteile	216
4.2.2	Elastomerspezifische Definitionen	218
4.3	Aggregatelager	220
4.3.1	Hydraulisches Motorlager	222
4.3.2	Schaltbares Hydrolager	224
4.4	Fahrwerk – Gummilager	225
4.4.1	Hülsenlager	226
4.4.2	Gleitlager	228
4.4.3	Hydraulisch dämpfende Buchsen	229
4.4.4	Verbundenkerlager	232
4.5	Achsträgerlager	233
4.6	Federbeinstützlager	235
4.7	Berechnungsmethoden	236
4.8	Akustische Bewertung von Gummiverbundteilen	238
4.9	Zukünftige Bauteilausführungen	239
4.9.1	Sensorik	240
4.9.2	Schaltbares Fahrwerkklager	240
4.9.3	Regelbares Fahrwerkklager	242
	Literatur	243
5	Fahrwerkentwicklung	245
	<i>Metin Ersoy, Christoph Elbers und Bernhard Schick</i>	
5.1	Entstehung des Fahrwerks	246
5.1.1	Entwicklungsprozess	247
5.1.2	Projektmanagement (PM)	253
5.2	Planung und Definitionsphase	253
5.2.1	Zielwertkaskadierung	254
5.3	Konzeptphase	256
5.4	Virtuelle Simulation	256
5.4.1	Software für die Mehrkörpersimulation (MKS)	257
5.4.2	Software für Finite Elemente Methode (FEM)	260
5.4.3	Vollfahrzeugsimulation	265
5.4.4	Software zur 3D-Modellierung CAD	274
5.5	Integrierte Simulationsumgebung	275
5.5.1	Kinematische Analyse: Basistool ABE	276
5.5.2	Vollautomatische Kinematik- und Elastokinematik-Optimierung OPT	278
5.5.3	Virtuelle Produktentwicklungsumgebung	279
5.6	Serienentwicklung und Absicherung	281
5.6.1	Konstruktion	282
5.6.2	Validierung	285
5.6.3	Validierung am Gesamtfahrzeug	290
5.6.4	Optimierung und Abstimmung	291
5.7	Hardware-in-the-Loop Simulation	291
5.7.1	Funktionsweise von in-the-Loop Testumgebungen	292
5.7.2	Steuergeräteintegration und Funktionsweise	294
5.7.3	Varianten von HIL-Systeme	295
5.7.4	Testmethoden	296

5.8	Serienbegleitende Entwicklung	298
5.9	Ausblick und Zusammenfassung	298
	Literatur	299
6	Bestandteile des Fahrwerks	301
	<i>Metin Ersoy und Volker Vogel</i>	
6.1	Struktur des Fahrwerks	302
6.1.1	Funktionelle Struktur des Fahrwerks	302
6.1.2	Modulare Struktur des Fahrwerks	303
6.1.3	Bestandteile des Fahrwerks	304
6.2	Fahrwerk Antriebsstrang	304
6.2.1	Anordnungen	304
6.2.2	Allradantrieb (Längsverteiler)	310
6.2.3	Allradantrieb (Längs-/Querverteiler)	312
6.2.4	Abschaltbare Allradsysteme	312
6.2.5	Betriebsstrategien	313
6.2.6	Aktuelle Allradsysteme	314
6.2.7	Seitenwellen	316
	Literatur	317
7	Bestandteile der Bremse	319
	<i>James Remfrey, Steffen Gruber, Norbert Ocvirk, Metin Ersoy und Andree Burgstaler</i>	
7.1	Aufgaben und Grundlagen	320
7.2	Arten von Bremsanlagen	321
7.2.1	Allgemeine Anforderungen	322
7.3	Gesetzliche Vorschriften	323
7.4	Auslegung der Bremsanlage	324
7.4.1	Bremskraftverteilung	324
7.4.2	Dimensionierung	326
7.4.3	Bremskoeffizient	327
7.5	Bremsmomente und Dynamik	328
7.5.1	Bremsmomente	328
7.5.2	Bremsdynamik	328
7.6	Komponenten des Bremssystems	330
7.6.1	Bremssattel	330
7.6.2	Bremsscheibe	334
7.6.3	Bremsbelag	337
7.6.4	Trommelbremse	337
7.6.5	Bremsleitungen und -schläuche	339
7.6.6	Bremsflüssigkeit	340
7.6.7	Bremskraftverstärker	340
7.6.8	Tandem-Hauptzylinder	343
7.6.9	Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI)	344
7.7	Bremsregelsysteme	350
7.7.1	Bremsassistent (MBA, EBA, HBA)	350
7.7.2	Assistenzfunktionen des Bremssystems	355

7.8	Neue und zukünftige Systemarchitekturen	361
7.8.1	Entkoppelte Bremssysteme	362
7.8.2	Regeneratives Bremssystem	367
7.8.3	Vernetztes Chassis	369
7.8.4	Ausblick	370
	Literatur	371
8	Bestandteile der Lenkung	373
	<i>Metin Ersoy, Wolfgang Rieger, Christian Greis, Guido Hirzmann und Burkhard Schäfer</i>	
8.1	Anforderungen und Bauformen	374
8.2	Hydraulische Zahnstangenlenkung	379
8.2.1	Technik und Funktion	379
8.2.2	Aufbau und Bauteile	382
8.2.3	Spurstangen für Zahnstangenlenkung	387
8.3	Lenkstrang, Lenksäule und Lenkrad	392
8.3.1	Komponenten und Funktionseinheiten	392
8.3.2	Crashanforderungen und Energieverzehrmeechanismen	396
8.3.3	Ausblick und Modularisierung	400
8.3.4	Lenkrad	401
8.4	Elektromechanische Lenkung	407
8.4.1	Bauformen	407
8.4.2	Aufbau der Elektrolenkung	411
8.4.3	Vorteile der Elektrolenkung	414
8.4.4	Bedeutung der Lenkung für die Assistenzsysteme	415
8.5	Überlagerungs- oder Aktivlenkung	416
8.5.1	Überlagerung von Momenten	416
8.5.2	Überlagerung von Winkeln	417
8.5.3	Stellervarianten der Aktivlenkung	418
8.5.4	Überlagerungsaktor am Lenkgetriebe	419
8.5.5	Überlagerungsaktor in der Lenksäule	420
8.5.6	Überlagerungsaktor um die Zwischenwelle	420
8.5.7	Überlagerungsaktor im Lenkrad	421
8.5.8	Steuergerät und Sicherheitskonzept	421
8.5.9	Funktionen der Aktivlenkung	422
8.6	Zahnstangenservolenkung mit Momenten- und Winkelsteller	426
8.7	Hinterachs- und Allradlenkung	427
8.7.1	Wenden bei langsamer Fahrt mit kleinstmöglichem Wendekreis	428
8.7.2	Spurwechsel mit höherer Geschwindigkeit	428
8.8	Steer-by-wire-Lenkensystem und Einzelradlenkung	430
8.8.1	Systemkonzept und Bauteile	431
8.8.2	Technik, Vorteile und Chancen	434
8.8.3	Neuartige Lenksysteme der Zukunft	435
8.9	Lenkungsbasierte Assistenzsysteme	436
	Literatur	437

9	Komponenten der Federung	439
	<i>Jörg Neubrand, Metin Ersoy und Hans-Dieter Eulenbach</i>	
9.1	Aufgabe der Federung	440
9.2	Systematik der Federarten	440
9.3	Konstruktion und Berechnung von Stahlfedern	440
9.3.1	Blattfedern	441
9.3.2	Drehstabfedern	444
9.3.3	Stabilisatoren	447
9.3.4	Schraubenfedern	456
9.4	Werkstoffe für Stahlfedern	465
9.5	Herstellung von Stahlfedern	469
9.5.1	Warmumformung	469
9.5.2	Vergütung warmgeformter Federn	471
9.5.3	Kaltumformung	471
9.5.4	Kugelstrahlen	473
9.5.5	Plastifizieren	473
9.5.6	Korrosionsschutz	474
9.5.7	Endkontrolle und Markierung	475
9.6	Compositfedern	475
9.7	Federung für Niveauregelung	477
9.7.1	Aufgaben und Bauarten	477
9.7.2	Berechnung von Gasfedern und deren Eigenschaften	478
9.8	Federung durch Elastomerfeder	481
9.9	Federung durch Gaskompression	482
9.9.1	Vor- und Nachteile von Gasfedern	483
9.9.2	Luftfederung	483
9.9.3	Hydropneumatische Federung	484
	Literatur	485
10	Bestandteile der Dämpfung	487
	<i>Alexander Groß, Anja Stretz, Metin Ersoy, Hans-Dieter Eulenbach, Henning Gold und Reinhard Sonnenburg</i>	
10.1	Aufgabe der Dämpfung	488
10.2	Teleskopdämpfer-Bauarten	492
10.2.1	Zweirohrdämpfer	492
10.2.2	Einrohrdämpfer	493
10.2.3	Vergleich beider Dämpferarten	494
10.2.4	Sonderbauarten	494
10.3	Stoßdämpferberechnung	495
10.3.1	Auslegung der Dämpfungskraft	495
10.3.2	Dynamische Eigenschaften von Dämpfern	496
10.3.3	Dynamische Eigenschaften von Dämpfermodulen	496
10.4	Zusatzfunktionen im Dämpfer	497
10.4.1	Zug- und Druckanschläge	498
10.4.2	Hubabhängige (Vario) Dämpfung	501
10.4.3	Amplitudenselektive (Sensitiv) Dämpfung	502
10.4.4	Frequenzselektive Dämpfung	504
10.5	Dämpferlager	504

10.6	Semiaktive Dämpfung	505
10.6.1	Lastabhängige Dämpfung	506
10.6.2	Elektrisch verstellbare Dämpfung mit einem Proportionalventil (CDC)	506
10.6.3	Verstellbare Dämpfung mit zwei Ventilen	509
10.6.4	Elektrisch verstellbare Dämpfung mit integrierter lokaler Intelligenz (ICD)	510
10.6.5	Elektrisch verstellbare Dämpfung nur für die Hinterachse (CDC 1XL)	511
10.7	Alternative Dämpfungsprinzipien	512
10.7.1	Rotationsdämpfer	512
10.7.2	Dämpfer mit rheologischen Flüssigkeiten	512
10.7.3	Verbunddämpfung	512
10.7.4	Elektrischer Dämpfer	513
10.8	Kombinierte Feder-/Dämpfereinheit	514
10.8.1	Federträger und Federbein	515
10.8.2	Hydropneumatische Federung	516
10.8.3	Selbstpumpendes, hydropneumatisches Feder- und Dämpferelement	517
10.8.4	Luftfederung und hydraulischer Dämpfer	521
10.9	Gas-Feder-Dämpfereinheiten (GFD)	523
10.9.1	Physikalische Grundlagen	523
10.9.2	Auslegung der Gas-Feder-Dämpfereinheit	530
10.9.3	Auslegung viskoelastischer Werkstoffe	536
10.9.4	Ausführungsbeispiele der GFD	536
10.9.5	Formelzeichen und Basisformeln der Gas-Feder-Dämpfer-Einheiten	538
	Literatur	539
11	Bestandteile der Radführung	541
	<i>Metin Ersoy und Klaus Schüller</i>	
11.1	Aufgaben, Struktur und Systematik	542
11.2	Fahrwerklenker	544
11.2.1	Systematik der Fahrwerklenker	544
11.2.2	Führunglenker	546
11.2.3	Traglenker	546
11.2.4	Hilfslenker	546
11.2.5	Anforderungen an Fahrwerklenker	547
11.2.6	Werkstoffe für Fahrwerklenker	547
11.2.7	Herstellverfahren für Fahrwerklenker	549
11.2.8	Auslegung und Optimierung der Lenker	560
11.2.9	Integration der Gelenke an den Lenker	562
11.3	Kugelgelenk	564
11.3.1	Aufgabe und Anforderungen	564
11.3.2	Systematik für Kugelgelenke	565
11.3.3	Aufbau der Kugelgelenke	566
11.3.4	Lagersystem (Schale, Fett)	570
11.3.5	Dichtsystem (Balg, Spannring)	574
11.3.6	Führungsgelenke	579
11.3.7	Traggelenke	581
11.3.8	Hülsengelenke	582

11.4	Gummilager	584
11.4.1	Aufgabe, Anforderungen, Funktion	584
11.4.2	Gummilager Ausführungen	588
11.5	Drehgelenk	589
11.6	Dreh Schubgelenk	590
11.7	Kugelschubgelenk	591
11.8	Achsträger	591
11.8.1	Aufgabe und Anforderungen	592
11.8.2	Systematik und Bauarten	592
	Literatur	596
12	Bestandteile des Radmoduls	597
	<i>Robert Plank und Peter Parteymüller</i>	
12.1	Radträger	598
12.1.1	Werkstoffe und Herstellverfahren	599
12.2	Radlager	602
12.2.1	Bauarten von Radlagern	602
12.2.2	Dichtung	606
12.2.3	Schmierung	607
12.2.4	ABS-Sensoren	607
12.3	Herstellung von Radlagern	610
12.3.1	Ringe und Flansche	610
12.3.2	Käfige und Wälzkörper	611
12.3.3	Montage	611
12.4	Anforderung, Auslegung und Erprobung	612
12.4.1	Ermüdungslebensdauer (Überrollfestigkeit) des Radlagers	614
12.4.2	Bauteilfestigkeit und Kippsteifigkeit	616
12.4.3	Verifizierung durch Prüfmethoden	618
12.5	Ausblick	620
	Literatur	625
13	Bestandteile Reifen und Räder	627
	<i>Reinhard Mundl, Burkhard Wies, Carla Recker, Thomas Becherer, Metin Ersoy und Bernhard Schick</i>	
13.1	Anforderungen an den Reifen	628
13.1.1	Gebrauchseigenschaften	628
13.1.2	Gesetzliche Anforderungen	632
13.1.3	Umweltaspekte	634
13.2	Bauarten, Aufbau und Material	635
13.2.1	Reifenbauarten	635
13.2.2	Reifenaufbau	636
13.2.3	Sommer-, Winter-, All-Wetterreifen	637
13.2.4	Reifenmaterialien	638
13.2.5	Viskoelastische Eigenschaften von Gummi	639
13.3	Kraftübertragung Reifen–Fahrbahn	640
13.3.1	Tragverhalten	640
13.3.2	Kraftschlussverhalten, Aufbau von Horizontalkräften	640
13.3.3	Antreiben und Bremsen, Umfangskräfte	641

13.3.4	Schräglauf, Seitenkräfte und Rückstellmomente	643
13.3.5	Schräglaufsteifigkeit	644
13.3.6	Reifen unter Quer- und Längsschlupf	645
13.3.7	Reifengleichförmigkeit	646
13.4	Reifenmodelle für die Simulation	647
13.4.1	Reifenmodelle für die Horizontaldynamik	647
13.4.2	Reifenmodelle mit Finiten Elementen (FEM-Modelle)	648
13.4.3	Reifenmodelle für die Vertikaldynamik	650
13.4.4	Reifenmoden	650
13.4.5	Eigenschwingung der Kavität	651
13.4.6	Gesamtmodelle	651
13.5	Auswahl und Entwicklung von Reifen und Rädern	651
13.5.1	Reifen	651
13.5.2	Rad	652
13.6	Moderne Reifentechnologien	653
13.6.1	Reifensensorik	653
13.6.2	Reifennotlaufsysteme	656
13.6.3	Reifen und Regelsysteme Wintereigenschaften	659
13.6.4	High-Performance-(HP-) und Ultra-High-Performance-(UHP-)Reifen	660
13.7	Test und Messmethoden im Fahrversuch	661
13.7.1	Subjektive Testverfahren	662
13.7.2	Objektive Testverfahren für die Längshaftung	663
13.7.3	Objektive Testverfahren für Seitenhaftung	664
13.7.4	Akustik	664
13.8	Test und Messmethoden im Labor	665
13.8.1	Grundkonzepte für Reifenprüfstände	665
13.8.2	Festigkeitsprüfung	665
13.8.3	Charakteristikmessungen am Prüfstand	666
13.8.4	Charakteristikmessungen mit dem Laborfahrzeug	666
13.8.5	Rollwiderstandsmessung	667
13.8.6	Uniformity- und Geometrie-Messung	668
13.8.7	Streckenmessung und Modellierung	669
13.8.8	Verlustleistungsanalyse	670
13.8.9	Reifentemperaturverfahren	670
13.9	Zukünftige Reifentechnologien	671
13.9.1	Materialentwicklung	671
13.9.2	Nachhaltigkeit von Reifenrohstoffen	672
13.9.3	Rollwiderstandsenkung (Sparreifen)	672
13.9.4	Neuartige Reifenkonzepte	673
	Literatur	674
14	Achsen und Radaufhängungen	677
	<i>Metin Ersoy, Bernd Heißing und Stefan Gies</i>	
14.1	Starrachsen	683
14.1.1	Starrachsen mit Längsblatffederführung	685
14.1.2	Starrachsen mit Längs- und Querlenker	687
14.1.3	De-Dion-Achse: angetriebene Starrachse mit Zentralgelenk	689
14.1.4	Starrachsen mit Zentralgelenk- und Querlenkerführung (Deichselachse)	689

14.2	Halbstarrachsen	690
14.2.1	Koppellenkerachse	693
14.2.2	Torsionslenkerachse	693
14.2.3	Verbundlenkerachse	693
14.3	Einzelradaufhängungen	696
14.3.1	Kinematik der Einzelradaufhängung	696
14.3.2	Eigenschaften der Einzelradaufhängungen	699
14.3.3	Einzelradaufhängungen mit einem Lenker	699
14.3.4	Einzelradaufhängungen mit zwei Lenkern	703
14.3.5	Einzelradaufhängungen mit drei Lenkern	705
14.3.6	Vierlenker – Einzelradaufhängungen der Hinterachse (Mehrlenker)	709
14.3.7	Vierlenker – Einzelradaufhängungen der Vorderachse	718
14.3.8	Einzelradaufhängungen mit fünf Lenkern	720
14.3.9	Federbein-Einzelradaufhängungen	722
14.4	Einzelradaufhängungen der Vorderachse	729
14.4.1	Anforderungen an die Vorderachsaufhängungen	729
14.4.2	Komponenten der Vorderachse	731
14.4.3	Einsatzgebiete der Vorderachstypen	731
14.4.4	Besonderheiten der Vorderachsaufhängungen	732
14.5	Einzelradaufhängungen der Hinterachse	733
14.5.1	Anforderungen an die Hinterachsaufhängungen	733
14.5.2	Komponenten der Hinterachse	735
14.5.3	Einsatzgebiete der Hinterachstypen	735
14.5.4	Besonderheiten der Hinterachsaufhängungen	736
14.6	Gesamtfahrwerk	738
14.6.1	Zusammenspiel von Vorder- und Hinterachse	738
14.6.2	Eigenlenkverhalten des Fahrzeugs	738
14.6.3	Achslastverlagerungen	738
14.6.4	Konstruktionskatalog als Auswahlhilfe für die Achstypen	740
14.7	Radaufhängungen der Zukunft	740
14.7.1	Achstypen der letzten 20 Jahre	740
14.7.2	Häufigkeit der aktuellen Achstypen	741
14.7.3	Die zukünftigen Vorderachstypen (Tendenzen)	743
14.7.4	Die zukünftigen Hinterachstypen (Tendenzen)	744
	Literatur	746
15	Fahrwerkelektronik	747
	<i>Horst Krimmel und Metin Ersoy</i>	
15.1	Motivation und Nutzen	748
15.1.1	Grenzen passiver Fahrwerke	748
15.1.2	Fahrzeugführung	750
15.2	Unterteilung der Fahrwerkregelsysteme	751
15.2.1	Begriffsbestimmungen	751
15.2.2	Unterteilung der Fahrwerkregelsysteme in Domänen	752
15.3	Längsdynamikfunktionen	753
15.3.1	Traktionsregelung mit dem Allradverteilergetriebe	753
15.3.2	Traktionsregelung Achsgetriebe	755
15.3.3	Torque Vectoring	755

15.4	Vertikaldynamikfunktionen	756
15.4.1	Variable Dämpfer	757
15.4.2	Aktiver Stabilisator	758
15.4.3	Niveauregulierung	760
15.5	Querdynamikfunktionen	760
15.5.1	Elektrolenkung	760
15.5.2	Überlagerungslenkung	762
15.5.3	Hinterachslenkung	763
15.6	Systemvernetzung und Funktionsintegration	764
15.6.1	Systemvernetzung	764
15.6.2	Fahrdynamikregelung	764
15.6.3	Funktionsintegration	768
15.6.4	Funktionsarchitektur	768
15.6.5	Standardschnittstellen/Autosar	770
15.7	Elektronik-Hardware, Sensorik und Aktuatorik	771
15.7.1	Technologiebeispiele	771
15.7.2	Umweltanforderungen	773
15.7.3	Bussysteme im Fahrwerk	776
15.7.4	Aktuatoren im Fahrwerk	778
15.7.5	Sensoren im Fahrwerk	780
15.8	Entwicklung der Fahrwerkregelsysteme	784
15.8.1	Entwicklung gemäß Automotive SPICE	784
15.8.2	Funktionale Sicherheit	787
15.8.3	Simulation der Fahrwerkelektronik	788
15.8.4	Hardware-in-the-Loop-Simulation	790
	Literatur	791
16	Elektronische Systeme im Fahrwerk	793
	<i>Metin Ersoy, Christoph Elbers, Jens Vortmeyer und Daniel Wegener</i>	
16.1	Elektronische Struktur des Fahrwerks	794
16.2	Mechatronische Längsdynamiksysteme	794
16.2.1	Antriebssysteme	795
16.2.2	Bremssysteme	804
16.3	Mechatronische Vertikaldynamiksysteme	807
16.3.1	Anforderungen an die Vertikalsysteme	807
16.3.2	Einteilung der Vertikalsysteme	807
16.3.3	Dämpfungssysteme	809
16.3.4	Niveauregulierungssysteme	814
16.3.5	Adaptive Luftfederungssysteme	816
16.3.6	Aktuelle aktive Federungssysteme	818
16.3.7	Lagersysteme	826
16.4	Mechatronische Querdynamiksysteme	828
16.4.1	Vorderradlenkung	828
16.4.2	Hinterradlenkung	831
16.4.3	Wankstabilisierungssysteme	841
16.4.4	Aktive Kinematik	852
16.4.5	Gegenüberstellung der Fahrdynamiksysteme	857
16.4.6	Vernetzung der Fahrwerksysteme	858

16.5	Drive-by-wire (DBW)	859
16.5.1	Steer-by-wire (SBW)	861
16.5.2	Brake-by-wire	863
16.5.3	Leveling-by-wire	871
	Literatur	873
17	Fahrwerkrelevante Fahrerassistenzsysteme	877
	<i>Metin Ersoy, Volker Buchmann, Bernd Heißing und Christian Schimmel</i>	
17.1	Mensch als Fahrzeugführer	878
17.2	Fahrerinformationssysteme	879
17.3	Fahrerwarnsysteme	881
17.3.1	Fahrerwarnung bei der Längsführung	882
17.3.2	Fahrerwarnung bei der Querführung	883
17.4	Aktive Fahrerassistenzsysteme	884
17.5	Bremsenbasierte Systeme	884
17.5.1	Sicherheitsrelevante Bremsassistenz	885
17.5.2	Komfortorientierte Bremsassistenz	887
17.5.3	Anforderungen an die Bremsassistenz	887
17.5.4	Notbremsung zum Kollisionsschutz	887
17.5.5	Distanzhalteassistenz (ACC)	890
17.5.6	Weitere bremsenbasierte Systeme	893
17.5.7	ACC Erweiterungen durch prädiktive Regelung auf Infrastruktur	894
17.5.8	Car2Car-Kommunikation zur Verkehrssicherheit	894
17.6	Lenkungs-basierte Systeme	894
17.6.1	Lenkassistenz durch Anpassung der Unterstützungskraft	895
17.6.2	Lenkassistenz durch Überlagerung des Fahrerhandmoments	895
17.6.3	Spurführung durch aktive Beeinflussung des Lenkmomentes	897
17.6.4	Lenkassistenz durch Überlagerung des Fahrerlenkwinkels	900
17.6.5	Lenkassistenz durch kombinierten Eingriff aus Lenkwinkel und -moment	901
17.7	Brems- und lenkungs-basierte Systeme	901
17.7.1	Kolonnenfahrt, Autobahnassistentz	901
17.7.2	Baustellenassistentz	902
17.7.3	Notbremsassistentz mit Ausweichoption	902
17.7.4	Abbiegeassistentz	903
17.7.5	Kreuzungsassistentz	903
17.7.6	Einparkassistentz	905
17.8	Fahrerassistenzsysteme für autonomes Fahren	908
17.9	Zusammenfassung	909
	Literatur	909
18	Zukunftsaspekte des Fahrwerks	913
	<i>Metin Ersoy, Bernd Heißing, Stefan Gies, Christian Schimmel und Stephan Demmerer</i>	
18.1	Fahrwerk-konzepte – Fokussierung auf den Kundenwert	915
18.1.1	Auslegung des Fahrverhaltens	915
18.1.2	Fahrzeug Diversifizierung und Stabilisierung der Fahrwerk-konzepte	917
18.1.3	Fahrwerkbestandteile der Zukunft	918
18.1.4	Elektronische Fahrwerkssysteme der Zukunft	920

18.2	Umweltschutz und CO₂	923
18.2.1	Bedeutung der CO ₂ -Senkung	923
18.2.2	Beitrag des Fahrwerks zur CO ₂ -Senkung	923
18.2.3	Beitrag des Hybrid- und Elektroantriebs zur CO ₂ -Senkung	926
18.2.4	Bremsblending für Rekuperation	932
18.3	Elektrofahrzeuge	936
18.3.1	Antriebskonzepte für das E-Fahrzeug	937
18.3.2	Fahrwerkkonzepte für Elektro-Autos	939
18.3.3	Elektro-Stadtautos	944
18.3.4	Elektro-Fahrzeuge mit Wasserstoffantrieb (Hydrogen Fuel Cell Vehicle)	946
18.3.5	Low Budget Autos	947
18.3.6	E-Radnabenfahrwerk „eCorner“	947
18.4	X-by-wire-Systeme der Zukunft	948
18.5	Fahrerassistenz-Systeme der Zukunft	949
18.6	Vorausschauende und intelligente Fahrwerke der Zukunft	951
18.6.1	Fahrzeugsensorik	951
18.6.2	Aktuatorik	954
18.6.3	Vorausschauendes Fahren	955
18.7	Autonomes Fahren in der Zukunft?	958
18.7.1	Selbstfahrendes Chassis, Rolling- und Driving-Chassis	958
18.7.2	Urban Challenge 2007: Die ersten Schritte zum autonomen Fahren	960
18.7.3	Autofahren ohne Fahrer	964
18.8	Zukunftsszenarien für das Auto und sein Fahrwerk	969
18.8.1	Trends aus der Vergangenheit	969
18.8.2	Trends aus der Gegenwart	969
18.8.3	Trends der Zukunft	970
18.8.4	Szenarioanalyse	970
18.8.5	Mögliche Zukunftsvisionen	971
18.9	Ausblick	972
	Literatur	976
	Serviceteil	979
	Glossar	980
	Sachverzeichnis	1009