

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1 Einleitung und Grundlagen | 1 |
| 1.1 Geschichte, Definition, Bedeutung | 2 |
| 1.1.1 Entstehungsgeschichte | 2 |
| 1.1.2 Definition und Abgrenzung | 8 |
| 1.1.3 Aufgabe und Bedeutung | 8 |
| 1.2 Fahrwerkaufbau | 9 |
| 1.2.1 Fahrzeugklassen | 9 |
| 1.2.2 Antriebskonzepte | 11 |
| 1.2.3 Fahrwerkkonzeption | 14 |
| 1.2.4 Trends in der Fahrwerkkonzeption | 14 |
| 1.3 Fahrwerkauslegung | 16 |
| 1.3.1 Anforderungen an das Fahrwerk | 17 |
| 1.3.2 Fahrwerk-Kinematikauslegung | 19 |
| 1.3.3 Kinematik der Radaufhängung | 19 |
| 1.3.3.1 Kenngrößen des Fahrwerks am Fahrzeug | 19 |
| 1.3.3.2 Momentanpole der Radaufhängung | 21 |
| 1.3.3.3 Radhubkinematik | 22 |
| 1.3.3.4 Kenngrößen der Radhubkinematik | 22 |
| 1.3.3.5 Kenngrößen der Lenkkinematik | 25 |
| 1.3.3.6 Kinematische Kennwerte aktueller Fahrzeugmodelle | 29 |
| 1.3.3.7 Raderhebungskurven | 29 |
| 1.3.3.8 Software zur Radkinematikberechnung | 32 |
| 1.3.4 Elastokinematik und Bauteilelastizitäten der Radaufhängung | 33 |
| 1.3.5 Zielwerte für die Kenngrößen | 34 |
| 1.3.6 Synthese der Radaufhängungen | 34 |
| 2 Fahrdynamik | 37 |
| 2.1 Fahrwiderstände und Energiebedarf | 38 |
| 2.1.1 Fahrwiderstände | 38 |
| 2.1.1.1 Radwiderstände | 38 |
| 2.1.1.2 Anteil der Fahrbahn $F_{R,Tr}$ | 42 |
| 2.1.1.3 Luftwiderstand | 46 |
| 2.1.1.4 Steigungswiderstand | 46 |
| 2.1.1.5 Beschleunigungswiderstand | 48 |
| 2.1.1.6 Gesamtfahrwiderstand | 49 |
| 2.1.2 Seitenwindkräfte | 49 |
| 2.1.3 Leistungs- und Energiebedarf | 52 |
| 2.1.4 Kraftstoffverbrauch | 53 |
| 2.2 Kraftübertragung zwischen Reifen und Fahrbahn | 55 |
| 2.2.1 Physik der Kraftübertragung zwischen Reifen und Fahrbahn | 57 |
| 2.2.1.1 Bremsen und Antreiben | 60 |
| 2.2.1.2 Kurvenfahrt | 62 |
| 2.2.2 Reifenkräfte im Detail | 66 |
| 2.2.3 Wirkung der Reifenkräfte auf die Fahrstabilität | 68 |
| 2.3 Längsdynamik | 69 |
| 2.3.1 Anfahren und Bremsen | 70 |
| 2.3.1.1 Bremsnickausgleich | 70 |
| 2.3.1.2 Anfahrnickausgleich | 71 |
| 2.3.1.3 Lastwechsel bei Geradeausfahrt | 71 |
| 2.4 Vertikaldynamik | 72 |
| 2.4.1 Aufbaufedern | 72 |
| 2.4.1.1 Federübersetzung | 73 |
| 2.4.1.2 Eigenfrequenzen | 73 |
| 2.4.2 Schwingungsdämpfer | 74 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 2.4.3 | Fahrbahn als Anregung | 75 |
| 2.4.3.1 | Harmonische Anregungen | 75 |
| 2.4.3.2 | Periodische Unebenheiten | 76 |
| 2.4.3.3 | Stochastische Unebenheiten | 76 |
| 2.4.3.4 | Spektrale Dichte der Fahrbahnunebenheiten | 77 |
| 2.4.3.5 | Gemessene, reale Fahrbahnunebenheiten | 77 |
| 2.4.4 | Zweimassen Feder-Dämpfersystem mit dem Reifen als Federelement | 78 |
| 2.4.5 | Federungsmodelle | 80 |
| 2.4.5.1 | Einmassen-Ersatzsystem | 80 |
| 2.4.5.2 | Zweimassen-Ersatzsystem | 80 |
| 2.4.5.3 | Erweiterung um Sitzfederung | 81 |
| 2.4.5.4 | Einspur-Federungsmodell | 82 |
| 2.4.5.5 | Zweispur-Federungsmodell | 83 |
| 2.4.6 | Parametervariation | 85 |
| 2.4.7 | Verknüpfung Fahrbahn -Fahrzeug | 87 |
| 2.4.7.1 | Spektrale Dichte der Aufbaubeschleunigung | 88 |
| 2.4.7.2 | Spektrale Dichte der Radlastschwankungen | 89 |
| 2.4.8 | Menschliche Schwingungsbewertung | 90 |
| 2.4.9 | Erkenntnisse aus den vertikal-dynamischen Grundlagen | 91 |
| 2.5 | Querdynamik | 92 |
| 2.5.1 | Anforderungen an das Fahrverhalten | 92 |
| 2.5.2 | Lenkkinematik | 93 |
| 2.5.2.1 | Statische Lenkungsauslegung | 94 |
| 2.5.2.2 | Dynamische Lenkungsauslegung | 94 |
| 2.5.3 | Fahrzeugmodellierung | 95 |
| 2.5.3.1 | Einfaches Einspurmodell | 95 |
| 2.5.3.2 | Einfache Betrachtungen der Fahrdynamik | 97 |
| 2.5.3.3 | Bewegungsvorgänge beim Über- und Untersteuern | 100 |
| 2.5.3.4 | Erweitertes Einspurmodell mit Hinterradlenkung | 100 |
| 2.5.3.5 | Nichtlineares Einspurmodell | 102 |
| 2.5.3.6 | Instationäre Betrachtungen des einfachen Einspurmodells | 103 |
| 2.5.4 | Die Regelstrecke „Fahrzeug“ im Regelkreis | 106 |
| 2.5.4.1 | Dynamisches Verhalten der Regelstrecke Fahrzeug | 106 |
| 2.5.4.2 | Schwimmwinkelkompensation mittels Hinterradlenkung | 109 |
| 2.5.5 | Frequenzgangbetrachtung bei variierten Fahrzeugkonfigurationen | 110 |
| 2.5.5.1 | Variation der Fahrgeschwindigkeit | 111 |
| 2.5.5.2 | Variation des Gierträgheitsmomentes | 111 |
| 2.5.5.3 | Variation der hinteren Schräglaufsteifigkeit | 111 |
| 2.5.6 | Zweispur-Fahrzeugmodellierung | 112 |
| 2.5.7 | Parametervariation | 115 |
| 2.5.7.1 | Variation der Schwerpunkthöhe (Variante 1) | 115 |
| 2.5.7.2 | Variation der Schwerpunktlage in Längsrichtung (Variante 2) | 116 |
| 2.5.7.3 | Variation der Wankachse (Variante 3) | 116 |
| 2.5.7.4 | Variation der Wankfederverteilung (Variante 4) | 117 |
| 2.5.7.5 | Variation des Antriebskonzepts (Variante 5) | 118 |
| 2.6 | Allgemeine Fahrdynamik | 119 |
| 2.6.1 | Wechselwirkungen zwischen Vertikal-, Längs- und Querdynamik | 119 |
| 2.6.1.1 | Vertikalkraftschwankungen | 119 |
| 2.6.2 | Kritische Fahrsituationen | 120 |
| 2.6.2.1 | Bremsen in der Kurve | 120 |
| 2.6.2.2 | Beschleunigte Kurvenfahrt | 121 |
| 2.6.2.3 | Lastwechsel in der Kurve | 122 |
| 2.6.2.4 | Vertikalanregung durch Fahrbahnunebenheiten bei Kurvenfahrt | 123 |
| 2.6.2.5 | Bremsen und Anfahren auf einer inhomogenen Fahrbahnoberfläche (μ -Split) | 123 |
| 2.7 | Fahrverhalten | 124 |
| 2.7.1 | Beurteilung des Fahrverhaltens | 125 |
| 2.7.2 | Fahrmanöver | 126 |
| 2.7.3 | Fahrmanöver Parameterraum | 129 |
| 2.7.4 | Abstimmungsmaßnahmen | 131 |
| 2.7.4.1 | Abstimmungsmaßnahmen zum stationären Lenkverhalten | 131 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 2.7.5 | Subjektive Fahrverhaltensbeurteilung | 131 |
| 2.7.5.1 | Bewertungsmethoden und Darstellung | 131 |
| 2.7.5.2 | Anfahrverhalten | 134 |
| 2.7.5.3 | Bremsverhalten | 134 |
| 2.7.5.4 | Lenkverhalten | 134 |
| 2.7.5.5 | Kurvenverhalten | 138 |
| 2.7.5.6 | Geradeausfahrt | 138 |
| 2.7.5.7 | Fahrkomfort (subjektiv) | 138 |
| 2.7.6 | Objektive Fahrverhaltensbeurteilung | 143 |
| 2.7.6.1 | Messgrößen | 143 |
| 2.7.6.2 | Anfahrverhalten | 143 |
| 2.7.6.3 | Bremsverhalten | 144 |
| 2.7.6.4 | Lenkverhalten | 146 |
| 2.7.6.5 | Kurvenverhalten | 147 |
| 2.7.6.6 | Geradeausfahrt | 149 |
| 2.7.6.7 | Fahrkomfort (objektiv) | 151 |
| 2.8 | Aktive und passive Sicherheit | 151 |
| 3 | Bestandteile des Fahrwerks | 155 |
| 3.1 | Struktur des Fahrwerks | 155 |
| 3.1.1 | Funktionelle Struktur des Fahrwerks | 155 |
| 3.1.2 | Modulare Struktur des Fahrwerks | 156 |
| 3.1.3 | Bestandteile des Fahrwerks | 156 |
| 3.2 | Antriebsstrang | 157 |
| 3.2.1 | Anordnungen | 157 |
| 3.2.2 | Achsgetriebe | 157 |
| 3.2.2.1 | Differenziale | 157 |
| 3.2.2.2 | Sperrdifferenziale | 158 |
| 3.2.2.3 | Aktive Sperrdifferenziale | 159 |
| 3.2.2.4 | Torque Vectoring | 159 |
| 3.2.3 | Allradantrieb (Längsverteiler) | 161 |
| 3.2.4 | Allradantrieb (Längs-/Querverteiler) | 162 |
| 3.2.5 | Betriebsstrategien | 163 |
| 3.2.6 | Aktuelle Allradsysteme | 163 |
| 3.2.7 | Seitenwellen | 165 |
| 3.3 | Radbremzen und Bremssysteme | 166 |
| 3.3.1 | Aufgaben und Grundlagen | 166 |
| 3.3.2 | Arten von Bremsanlagen | 167 |
| 3.3.2.1 | Allgemeine Anforderungen | 167 |
| 3.3.3 | Gesetzliche Vorschriften | 169 |
| 3.3.4 | Auslegung der Bremsanlage | 169 |
| 3.3.4.1 | Bremskraftverteilung | 169 |
| 3.3.4.2 | Dimensionierung | 171 |
| 3.3.4.3 | Bremskennung | 171 |
| 3.3.5 | Bremsmomente und Dynamik | 172 |
| 3.3.5.1 | Bremsmomente | 172 |
| 3.3.5.2 | Bremsdynamik | 173 |
| 3.3.6 | Komponenten des Bremssystems | 173 |
| 3.3.6.1 | Bremssattel | 174 |
| 3.3.6.2 | Bremsscheiben | 178 |
| 3.3.6.3 | Bremsbeläge | 179 |
| 3.3.6.4 | Trommelbremsen | 179 |
| 3.3.6.5 | Bremsleitungen und -schläuche | 181 |
| 3.3.6.6 | Bremsflüssigkeit | 181 |
| 3.3.6.7 | Bremskraftverstärker | 182 |
| 3.3.6.8 | Tandem-Hauptzylinder | 184 |
| 3.3.6.9 | Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI) | 185 |
| 3.3.7 | Elektronische Bremsregelsysteme | 189 |
| 3.3.7.1 | Bremsassistent (MBA, EBA, HBA) | 189 |
| 3.3.7.2 | Hydraulisch/Elektronische Regeleinheit (HECU) | 191 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 3.3.7.3 | Raddrehzahlsensor | 192 |
| 3.3.7.4 | Funktionen der elektronischen Bremssysteme | 193 |
| 3.3.8 | Neuartige Bremssysteme | 199 |
| 3.3.8.1 | Elektrohydraulische Bremse (EHB) | 199 |
| 3.3.8.2 | Elektromechanische Bremse (EMB) | 200 |
| 3.3.8.3 | Elektrohydraulische Kombibremse (EHC) | 201 |
| 3.3.8.4 | Regenerative Bremssysteme | 202 |
| 3.3.9 | Vernetztes Chassis | 203 |
| 3.4 | Lenksysteme | 205 |
| 3.4.1 | Anforderungen und Bauformen | 205 |
| 3.4.2 | Hydraulische Zahnstangenlenkung | 207 |
| 3.4.2.1 | Technik und Funktion | 207 |
| 3.4.2.2 | Aufbau und Bauteile | 210 |
| 3.4.2.3 | Spurstangen | 213 |
| 3.4.3 | Lenkstrang und Lenksäule | 217 |
| 3.4.3.1 | Komponenten und Funktionseinheiten | 217 |
| 3.4.3.2 | Auslegung und Erprobung | 219 |
| 3.4.3.3 | Crashanforderungen und Energieverzehrmehanismen | 220 |
| 3.4.3.4 | Ausblick und Modularisierung | 223 |
| 3.4.4 | Lenkrad | 223 |
| 3.4.5 | Elektromechanische Lenkung | 225 |
| 3.4.5.1 | Bauformen | 225 |
| 3.4.5.2 | Aufbau und Vorteile | 227 |
| 3.4.5.3 | Bedeutung der Lenkung für die Assistenzsysteme | 230 |
| 3.4.6 | Überlagerungs- oder Aktivlenkung | 231 |
| 3.4.6.1 | Überlagerung von Momenten | 231 |
| 3.4.6.2 | Überlagerung von Winkeln | 232 |
| 3.4.6.3 | Stellvarianten der Aktivlenkung | 232 |
| 3.4.6.4 | Überlagerungsaktor am Lenkgetriebe | 232 |
| 3.4.6.5 | Überlagerungsaktor in der Lenksäule | 234 |
| 3.4.6.6 | Steuergerät und Sicherheitskonzept | 235 |
| 3.4.6.7 | Funktionen der Aktivlenkung | 235 |
| 3.4.7 | Zahnstangenservolenkung mit Momenten- und Winkelsteller | 237 |
| 3.4.8 | Hinterachs- und Allradlenkung | 238 |
| 3.4.9 | Steer-by-wire-Lenksystem und Einzelradlenkung | 240 |
| 3.4.9.1 | Systemkonzept und Bauteile | 241 |
| 3.4.9.2 | Technik, Vorteile und Chancen | 243 |
| 3.5 | Federn und Stabilisatoren | 244 |
| 3.5.1 | Aufgabe der Federung | 244 |
| 3.5.2 | Systematik der Federarten | 245 |
| 3.5.3 | Konstruktion und Berechnung von Stahlfedern | 245 |
| 3.5.3.1 | Blattfedern | 245 |
| 3.5.3.2 | Drehstabfedern | 248 |
| 3.5.3.3 | Stabilisatoren | 249 |
| 3.5.3.4 | Schraubenfedern | 257 |
| 3.5.4 | Werkstoffe für Stahlfedern | 265 |
| 3.5.5 | Herstellung von Stahlfedern | 267 |
| 3.5.5.1 | Warmumformung | 267 |
| 3.5.5.2 | Vergütung warmgeformter Federn | 269 |
| 3.5.5.3 | Kaltumformung | 269 |
| 3.5.5.4 | Kugelstrahlen | 270 |
| 3.5.5.5 | Plastifizieren | 271 |
| 3.5.5.6 | Korrosionsschutz | 271 |
| 3.5.5.7 | Endkontrolle und Markierung | 272 |
| 3.5.6 | Compositfedern | 272 |
| 3.5.7 | Federung für Niveauregelung | 273 |
| 3.5.7.1 | Aufgaben und Bauarten | 273 |
| 3.5.7.2 | Berechnung von Gasfedern und deren Eigenschaften | 274 |
| 3.5.8 | Federung durch Elastomerfeder | 277 |
| 3.5.9 | Federung durch Gaskompression | 277 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 3.5.9.1 | Vor- und Nachteile von Gasfedern | 278 |
| 3.5.9.2 | Luftfederung | 278 |
| 3.5.9.3 | Hydropneumatische Federung | 279 |
| 3.6 | Dämpfung | 279 |
| 3.6.1 | Aufgabe der Dämpfung | 279 |
| 3.6.2 | Teleskopdämpfer-Bauarten | 283 |
| 3.6.2.1 | Zweirohrdämpfer | 283 |
| 3.6.2.2 | Einrohrdämpfer | 284 |
| 3.6.2.3 | Vergleich beider Dämpferarten | 284 |
| 3.6.2.4 | Sonderbauarten | 285 |
| 3.6.3 | Stoßdämpferberechnung | 285 |
| 3.6.4 | Zusatzfunktionen im Dämpfer | 286 |
| 3.6.4.1 | Zug- und Druckanschläge | 286 |
| 3.6.4.2 | Hubabhängige Dämpfung | 289 |
| 3.6.4.3 | Amplitudenselektive Dämpfung | 290 |
| 3.6.5 | Dämpferlager | 291 |
| 3.6.6 | Semiaktive Dämpfung | 292 |
| 3.6.6.1 | Lastabhängige Dämpfung | 292 |
| 3.6.6.2 | Elektrisch verstellbare Dämpfung | 292 |
| 3.6.7 | Alternative Dämpfungsprinzipien | 296 |
| 3.6.7.1 | Dämpfer mit rheologischen Flüssigkeiten | 297 |
| 3.6.7.2 | Verbunddämpfung | 297 |
| 3.6.7.3 | Elektrischer Dämpfer | 298 |
| 3.6.8 | Kombinierte Feder-/Dämpfereinheiten | 298 |
| 3.6.8.1 | Federträger und Federbein | 298 |
| 3.6.8.2 | Hydropneumatische Federung | 300 |
| 3.6.8.3 | Selbstpumpendes, hydropneumatisches Feder- und Dämpferelement | 300 |
| 3.6.8.4 | Luftfederung und hydraulischer Dämpfer | 303 |
| 3.6.9 | Gas-Feder-Dämpfereinheiten (GFD) | 305 |
| 3.6.9.1 | Physikalische Grundlagen | 305 |
| 3.6.9.2 | Auslegung der Gas-Feder-Dämpfereinheit | 309 |
| 3.6.9.3 | Ausführungsbeispiele von Gas-Feder-Dämpfereinheiten | 315 |
| 3.6.9.4 | Formelzeichen und Basisformeln der Gas-Feder-Dämpfer-Einheiten | 317 |
| 3.7 | Radführung | 317 |
| 3.7.1 | Aufgaben, Struktur und Systematik | 317 |
| 3.7.2 | Lenker Aufgaben, Struktur und Systematik | 319 |
| 3.7.2.1 | Führungslenker | 320 |
| 3.7.2.2 | Traglenker | 320 |
| 3.7.2.3 | Hilfslenker | 321 |
| 3.7.2.4 | Anforderungen an Fahrwerkslenker | 321 |
| 3.7.2.5 | Werkstoffe für Fahrwerkslenker | 321 |
| 3.7.2.6 | Herstellverfahren für Fahrwerklenker | 322 |
| 3.7.2.7 | Herstellverfahren für Aluminiumlenker | 330 |
| 3.7.2.8 | Auslegung und Optimierung der Lenker | 331 |
| 3.7.2.9 | Integration der Gelenke an den Lenker | 332 |
| 3.7.3 | Kugelgelenk | 333 |
| 3.7.3.1 | Aufgabe und Anforderungen | 333 |
| 3.7.3.2 | Systematik für Kugelgelenke | 334 |
| 3.7.3.3 | Aufbau der Kugelgelenke | 334 |
| 3.7.3.4 | Lagersystem (Schale, Fett) | 337 |
| 3.7.3.5 | Dichtsystem (Balg, Spannring) | 340 |
| 3.7.3.6 | Führungsgelenke | 343 |
| 3.7.3.7 | Traggelenke | 344 |
| 3.7.3.8 | Hülsengelenke | 346 |
| 3.7.4 | Gummilager | 347 |
| 3.7.4.1 | Aufgabe, Anforderungen, Funktion | 347 |
| 3.7.4.2 | Ausführungen | 350 |
| 3.7.5 | Drehgelenk | 351 |
| 3.7.6 | Drehschubgelenk | 352 |
| 3.7.7 | Kugelschubgelenk | 353 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 3.7.8 | Achsträger | 353 |
| 3.7.8.1 | Aufgabe und Anforderungen | 353 |
| 3.7.8.2 | Systematik und Bauarten | 354 |
| 3.8 | Radträger und Radlager | 356 |
| 3.8.1 | Bauarten für Radträger | 357 |
| 3.8.2 | Werkstoffe und Herstellverfahren für Radträger | 358 |
| 3.8.3 | Bauarten für Radlager | 358 |
| 3.8.3.1 | Dichtung | 362 |
| 3.8.3.2 | Schmierung | 362 |
| 3.8.3.3 | ABS-Sensoren | 363 |
| 3.8.4 | Herstellung von Radlagern | 365 |
| 3.8.4.1 | Ringe und Flansche | 365 |
| 3.8.4.2 | Käfige und Wälzkörper | 365 |
| 3.8.4.3 | Montage | 366 |
| 3.8.5 | Anforderung, Auslegung und Erprobung | 366 |
| 3.8.5.1 | Ermüdungslebensdauer (Überrollfestigkeit) des Radlagers | 368 |
| 3.8.5.2 | Bauteilfestigkeit und Kippsteifigkeit | 370 |
| 3.8.5.3 | Verifizierung durch Prüfmethode | 371 |
| 3.8.6 | Ausblick | 373 |
| 3.9 | Reifen und Räder | 377 |
| 3.9.1 | Anforderungen an den Reifen | 377 |
| 3.9.1.1 | Gebrauchseigenschaften | 377 |
| 3.9.1.2 | Gesetzliche Anforderungen | 381 |
| 3.9.1.3 | Umweltaspekte | 382 |
| 3.9.2 | Bauarten, Aufbau und Material | 383 |
| 3.9.2.1 | Reifenbauarten | 383 |
| 3.9.2.2 | Reifenaufbau | 383 |
| 3.9.2.3 | Sommer-, Winter-, All-Seasonreifen | 384 |
| 3.9.2.4 | Reifenmaterialien | 384 |
| 3.9.2.5 | Viskoelastische Eigenschaften von Gummi | 386 |
| 3.9.3 | Kraftübertragung Reifen–Fahrbahn | 387 |
| 3.9.3.1 | Tragverhalten | 387 |
| 3.9.3.2 | Kraftschlussverhalten, Aufbau von Horizontalkräften | 387 |
| 3.9.3.3 | Antreiben und Bremsen, Umfangskräfte | 388 |
| 3.9.3.4 | Schräglauf, Seitenkräfte und Rückstellmomente | 389 |
| 3.9.3.5 | Schräglaufsteifigkeit | 390 |
| 3.9.3.6 | Reifen unter Quer- und Längsschlupf | 391 |
| 3.9.3.7 | Reifengleichförmigkeit | 392 |
| 3.9.4 | Reifenmodelle für die Simulation | 392 |
| 3.9.4.1 | Reifenmodelle für die Horizontaldynamik | 392 |
| 3.9.4.2 | Reifenmodelle mit Finiten Elementen (FEM-Modelle) | 394 |
| 3.9.4.3 | Reifenmodelle für die Vertikaldynamik | 394 |
| 3.9.4.4 | Reifenmoden | 395 |
| 3.9.4.5 | Eigenschwingung der Kavität | 395 |
| 3.9.4.6 | Gesamtmodelle | 395 |
| 3.9.5 | Auswahl und Entwicklung von Reifen und Rädern | 396 |
| 3.9.5.1 | Reifen | 396 |
| 3.9.5.2 | Rad | 396 |
| 3.9.6 | Moderne Reifentechnologien | 397 |
| 3.9.6.1 | Reifensensorik | 397 |
| 3.9.6.2 | Reifennotlaufsysteme | 399 |
| 3.9.6.3 | Reifen und Regelsysteme | 400 |
| 3.9.6.4 | High-Performance-(HP-) und Ultra-High-Performance-(UHP)-Reifen | 401 |
| 3.9.7 | Test und Messmethoden im Fahrversuch | 403 |
| 3.9.7.1 | Subjektive Testverfahren | 403 |
| 3.9.7.2 | Objektive Testverfahren für die Längshaftung | 404 |
| 3.9.7.3 | Objektive Testverfahren für die Seitenhaftung | 405 |
| 3.9.7.4 | Akustik | 405 |
| 3.9.8 | Test und Messmethoden im Labor | 405 |
| 3.9.8.1 | Grundkonzepte für Reifenprüfstände | 405 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 3.9.8.2 | Festigkeitsprüfung | 406 |
| 3.9.8.3 | Charakteristikmessungen am Prüfstand | 406 |
| 3.9.8.4 | Charakteristikmessungen mit dem Laborfahrzeug | 407 |
| 3.9.8.5 | Rollwiderstandsmessung | 407 |
| 3.9.8.6 | Uniformity- und Geometrie-Messung | 408 |
| 3.9.8.7 | Streckenmessung und Modellierung | 409 |
| 3.9.8.8 | Verlustleistungsanalyse | 409 |
| 3.9.8.9 | Reifentemperaturverfahren | 410 |
| 3.9.9 | Zukünftige Reifentechnologien | 411 |
| 3.9.9.1 | Materialentwicklung | 411 |
| 3.9.9.2 | Rollwiderstandsenkung (Sparreifen) | 411 |
| 3.9.9.3 | Neuartige Reifenkonzepte | 412 |
| 4 | Achsen und Radaufhängungen | 417 |
| 4.1 | Starrachsen | 419 |
| 4.1.1 | Starrachsen mit Längsblattfederführung | 421 |
| 4.1.2 | Starrachsen mit Längs- und Querlenker | 422 |
| 4.1.3 | De-Dion-Achse: angetriebene Starrachse mit Zentralgelenk | 424 |
| 4.1.4 | Starrachsen mit Zentralgelenk- und Querlenkerführung (Deichselachse) | 424 |
| 4.2 | Halbstarrachsen | 424 |
| 4.2.1 | Verbundlenkerachsen | 424 |
| 4.2.1.1 | Torsionskurbelachse | 426 |
| 4.2.1.2 | Koppellenkerachse | 426 |
| 4.2.1.3 | Verbundlenkerachse | 427 |
| 4.2.1.4 | Verbundlenkerachse mit Wattgestänge | 427 |
| 4.2.1.5 | Verbundlenkerachse mit entkoppeltem Radträger | 427 |
| 4.2.2 | Dynamische Verbundachse (DVA) | 428 |
| 4.3 | Einzelradaufhängungen | 428 |
| 4.3.1 | Kinematik der Einzelradaufhängung | 428 |
| 4.3.2 | Eigenschaften der Einzelradaufhängungen | 431 |
| 4.3.3 | Einzelradaufhängungen mit einem Lenker | 431 |
| 4.3.3.1 | Längslenker-Einzelradaufhängungen | 431 |
| 4.3.3.2 | Schräglenker-Einzelradaufhängungen | 432 |
| 4.3.3.3 | Schraublenker-Einzelradaufhängungen | 434 |
| 4.3.4 | Einzelradaufhängungen mit zwei Lenkern | 434 |
| 4.3.4.1 | Quer-Längs-Pendelachsen | 434 |
| 4.3.4.2 | Trapezlenker mit einem Querlenker | 434 |
| 4.3.4.3 | Trapezlenker mit einem flexiblen Querlenker (Porsche Weissachachse) | 435 |
| 4.3.5 | Einzelradaufhängungen mit drei Lenkern | 435 |
| 4.3.5.1 | Längslenker mit zwei Querlenkern | 435 |
| 4.3.5.2 | Längslenker mit zwei Schräglenkern (Zentralenker-Einzelradaufhängung) | 436 |
| 4.3.5.3 | Doppelquerlenker-Einzelradaufhängungen | 436 |
| 4.3.6 | Vierlenker – Einzelradaufhängungen der Hinterachse (Mehrlenker) | 439 |
| 4.3.6.1 | Mehrlenkerhinterachsen durch Auflösung des unteren 3-Punkt-Lenkens | 440 |
| 4.3.6.2 | Mehrlenkerhinterachsen durch Auflösung der oberen 3-Punkt-Lenker | 441 |
| 4.3.6.3 | Trapezlenkerachse (Integralenker) | 441 |
| 4.3.6.4 | Mehrlenkerhinterachsen mit Längslenker | 442 |
| 4.3.7 | Vierlenker – Einzelradaufhängungen der Vorderachse (Mehrlenker) | 444 |
| 4.3.8 | Einzelradaufhängungen mit fünf Lenkern | 446 |
| 4.3.8.1 | Fünflenker Einzelradaufhängung – Vorderachse | 446 |
| 4.3.8.2 | Fünflenker Einzelradaufhängung – Hinterachse (Raumlenker) | 446 |
| 4.3.9 | Federbein-Einzelradaufhängungen | 448 |
| 4.3.9.1 | Dreieckslenker-Federbeinaufhängung | 448 |
| 4.3.9.2 | McPherson mit Querverbindungstraverse | 450 |
| 4.3.9.3 | McPherson mit optimiertem Lenker | 450 |
| 4.3.9.4 | McPherson mit aufgelöstem unteren Lenker (Dreilenker-Federbein) | 450 |
| 4.3.9.5 | McPherson mit doppeltem Radträger | 451 |
| 4.3.9.6 | Federbeinaufhängung für die Hinterachse | 451 |
| 4.4 | Einzelradaufhängungen der Vorderachse | 452 |
| 4.4.1 | Anforderungen an die Vorderachsaufhängungen | 452 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.4.2 | Komponenten der Vorderachse | 453 |
| 4.4.3 | Einsatzgebiete der Vorderachstypen | 454 |
| 4.4.4 | Besonderheiten der Vorderachsaufhängungen | 454 |
| 4.5 | Einzelradaufhängungen der Hinterachse | 455 |
| 4.5.1 | Anforderungen an die Hinterachse | 455 |
| 4.5.2 | Komponenten der Hinterachse | 457 |
| 4.5.3 | Einsatzgebiete der Hinterachstypen | 457 |
| 4.5.4 | Besonderheiten der Hinterachsaufhängungen | 458 |
| 4.5.4.1 | Nicht angetriebene Hinterachse | 458 |
| 4.5.4.2 | Angetriebene Hinterachse | 458 |
| 4.5.4.3 | Verbundenker Hinterachsen | 458 |
| 4.5.4.4 | Mehrlenker Hinterachsen | 459 |
| 4.6 | Gesamtfahrwerk | 459 |
| 4.6.1 | Zusammenspiel von Vorder- und Hinterachse | 459 |
| 4.6.2 | Eigenlenkverhalten des Fahrzeugs | 459 |
| 4.6.3 | Achslastverlagerungen | 459 |
| 4.6.4 | Konstruktionskatalog als Auswahlhilfe für die Achstypen | 459 |
| 4.7 | Radaufhängungen der Zukunft | 460 |
| 4.7.1 | Achstypen der letzten 20 Jahre | 460 |
| 4.7.2 | Häufigkeit der aktuellen Achstypen | 460 |
| 4.7.3 | Die zukünftigen Vorderachstypen (Tendenzen) | 462 |
| 4.7.4 | Die zukünftigen Hinterachstypen (Tendenzen) | 462 |
| 5 | Fahrkomfort | 465 |
| 5.1 | Grundlagen, Mensch und NVH | 465 |
| 5.1.1 | Begriffe und Definitionen | 465 |
| 5.1.2 | Schwingungs- und Geräuschquellen | 467 |
| 5.1.3 | Wahrnehmungsgrenzen des Menschen | 467 |
| 5.1.4 | Das Wohlbefinden des Menschen | 468 |
| 5.1.5 | Maßnahmen gegen Schwingungen und Geräusche | 469 |
| 5.1.6 | Vorgehen bei der NVH-Optimierung | 470 |
| 5.2 | Gummiverbundteile | 471 |
| 5.2.1 | Funktion der Gummiverbundteile | 471 |
| 5.2.1.1 | Kräfte übertragen | 471 |
| 5.2.1.2 | Definierte Bewegungen ermöglichen | 471 |
| 5.2.1.3 | Geräusche isolieren | 471 |
| 5.2.1.4 | Schwingungen dämpfen | 472 |
| 5.2.2 | Elastomer spezifische Definitionen | 473 |
| 5.2.2.1 | Kennlinien | 473 |
| 5.2.2.2 | Dämpfung | 474 |
| 5.2.2.3 | Setzung | 474 |
| 5.3 | Aggregatelager | 475 |
| 5.4 | Fahrwerk – Gummilager | 479 |
| 5.4.1 | Hülsenlager | 479 |
| 5.4.2 | Gleitlager | 481 |
| 5.4.3 | Hydraulisch dämpfende Buchsen | 481 |
| 5.4.5 | Verbundenkerlager | 484 |
| 5.5 | Achsträgerlager | 484 |
| 5.6 | Federbeinstützlager | 486 |
| 5.7 | Berechnungsmethoden | 487 |
| 5.8 | Akustische Bewertung von Gummiverbundteilen | 488 |
| 5.9 | Zukünftige Bauteilausführungen | 489 |
| 5.9.1 | Sensorik | 490 |
| 5.9.2 | Schaltbares Fahrwerkklager | 491 |
| 5.9.3 | Regelbares Fahrwerkklager | 492 |
| 6 | Fahrwerkentwicklung | 495 |
| 6.1 | Entstehung des Fahrwerks | 495 |
| 6.1.1 | Entwicklungsprozess | 496 |
| 6.1.2 | Projektmanagement (PM) | 501 |

| | |
|---|------------|
| 6.2 Planung und Definitionsphase | 501 |
| 6.2.1 Zielwertkaskadierung | 502 |
| 6.3 Konzeptphase | 503 |
| 6.4 Virtuelle Simulation | 503 |
| 6.4.1 Software für die Mehrkörpersimulation (MKS) | 504 |
| 6.4.1.1 Aufbau von MKS-Fahrwerksmodellen mit ADAMS/Car | 504 |
| 6.4.1.2 CAD-Fahrwerkmodell und Mehrkörpersystem | 504 |
| 6.4.1.3 Mehrkörpersimulation mit starren und flexiblen MKS-Modellen | 504 |
| 6.4.1.4 Mehrkörpersimulation mit Gesamt-fahrzeug-, Fahrwerk- und Achsmodellen | 506 |
| 6.4.1.5 Einfluss der Fertigungstoleranzen auf die kinematischen Kennwerte | 506 |
| 6.4.2 Software für Finite Elemente Methode (FEM) | 506 |
| 6.4.2.1 Klassifizierung der Analysen | 508 |
| 6.4.2.2 Festigkeitsanalysen | 508 |
| 6.4.2.3 Steifigkeitsanalysen | 508 |
| 6.4.2.4 Eigenfrequenzanalysen | 508 |
| 6.4.2.5 Lebensdauer-Betriebsfestigkeit | 509 |
| 6.4.2.6 Crash-Simulationen | 510 |
| 6.4.2.7 Topologie- und Formoptimierung | 510 |
| 6.4.2.8 Simulation der Fertigungsverfahren | 510 |
| 6.4.3 Vollfahrzeugsimulation | 511 |
| 6.4.3.1 Fahrdynamiksimulation | 511 |
| 6.4.3.2 Kinematik/Elastokinematik | 511 |
| 6.4.3.3 Standard-Lastfälle | 512 |
| 6.4.3.4 MKS-Modellverifikation | 512 |
| 6.4.3.5 NVH | 513 |
| 6.4.3.6 Loadmanagement (Lastenkaskadierung vom System zur Komponente) | 514 |
| 6.4.3.7 Vollfahrzeug Betriebsfestigkeitssimulation | 518 |
| 6.4.4 Software zur 3D-Modellierung CAD | 518 |
| 6.5 Integrierte Simulationsumgebung | 519 |
| 6.5.1 Kinematische Analyse: Basistool ABE | 519 |
| 6.5.2 Vollautomatische Kinematik- und Elastokinematik-Optimierung OPT | 521 |
| 6.5.3 Virtuelle Produktentwicklungsumgebung | 522 |
| 6.6 Serienentwicklung und Absicherung | 524 |
| 6.6.1 Konstruktion | 524 |
| 6.6.1.1 Bauteilkonstruktion | 525 |
| 6.6.1.2 Bauraum „Package“ | 525 |
| 6.6.1.3 Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse | 526 |
| 6.6.1.4 Toleranzuntersuchungen | 526 |
| 6.6.2 Validierung | 526 |
| 6.6.2.1 Prototypen | 526 |
| 6.6.2.2 Validierung am Prüfstand | 527 |
| 6.6.2.3 Straßen-Simulationsprüfstand (SSP) | 529 |
| 6.6.3 Validierung am Gesamtfahrzeug | 530 |
| 6.6.4 Optimierung und Abstimmung | 531 |
| 6.7 Serienbegleitende Entwicklung | 531 |
| 6.8 Ausblick und Zusammenfassung | 532 |
| 7 Fahrwerkelektronik | 535 |
| 7.1 Motivation und Nutzen | 535 |
| 7.1.1 Grenzen passiver Fahrwerke | 535 |
| 7.1.1.1 Zielkonflikt Dämpfungsauslegung | 535 |
| 7.1.1.2 Zielkonflikt Federungsauslegung | 536 |
| 7.1.1.3 Zielkonflikt Lenkübersetzung | 536 |
| 7.1.1.4 Forderung nach aktiven Systemen | 536 |
| 7.1.2 Fahrzeugführung | 537 |
| 7.1.2.1 Regelkreis Fahrer–Fahrzeug | 537 |
| 7.1.2.2 Vereinfachte Fahrzeugführung | 537 |
| 7.2 Unterteilung der Fahrwerkregelsysteme | 538 |
| 7.2.1 Begriffsbestimmungen | 538 |
| 7.2.2 Unterteilung der Fahrwerkregelsysteme in Domänen | 538 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 7.3 | Längsdynamikfunktionen | 539 |
| 7.3.1 | Traktionsregelung mit dem Allradverteilergetriebe | 539 |
| 7.3.2 | Traktionsregelung Achsgetriebe | 540 |
| 7.3.3 | Torque Vectoring | 541 |
| 7.4 | Vertikaldynamikfunktionen | 542 |
| 7.4.1 | Variable Dämpfer | 542 |
| 7.4.2 | Aktiver Stabilisator | 543 |
| 7.4.3 | Niveauregulierung | 544 |
| 7.5 | Querdynamikfunktionen | 544 |
| 7.5.1 | Elektrolenkung | 545 |
| 7.5.2 | Überlagerungslenkung | 546 |
| 7.5.3 | Hinterachslenkung | 546 |
| 7.6 | Systemvernetzung und Funktionsintegration | 547 |
| 7.6.1 | Systemvernetzung | 547 |
| 7.6.2 | Fahrdynamikregelung | 548 |
| 7.6.3 | Funktionsintegration | 551 |
| 7.6.4 | Funktionsarchitektur | 551 |
| 7.6.5 | Standardschnittstellen / Autosar | 552 |
| 7.7 | Elektronik-Hardware, Sensorik und Aktuatorik | 553 |
| 7.7.1 | Technologiebeispiele | 553 |
| 7.7.2 | Umweltanforderungen | 556 |
| 7.7.3 | Bussysteme im Fahrwerk | 557 |
| 7.7.3.1 | CAN-Bus | 557 |
| 7.7.3.2 | FlexRay | 557 |
| 7.7.4 | Aktuatoren im Fahrwerk | 558 |
| 7.7.5 | Sensoren im Fahrwerk | 559 |
| 7.8 | Entwicklung der Fahrwerkregelsysteme | 561 |
| 7.8.1 | Entwicklung gemäß Automotive SPICE | 561 |
| 7.8.2 | Funktionale Sicherheit | 563 |
| 7.8.3 | Simulation der Fahrwerkelektronik | 564 |
| 7.8.4 | Hardware-in-the-Loop-Simulation | 565 |
| 8 | Elektronische Systeme im Fahrwerk | 569 |
| 8.1 | Elektronische Struktur des Fahrwerks | 569 |
| 8.2 | Mechatronische Längsdynamiksysteme | 569 |
| 8.2.1 | Antriebssysteme | 569 |
| 8.2.1.1 | xDrive | 570 |
| 8.2.1.2 | Active Yaw Control (AYC) | 571 |
| 8.2.1.3 | Quattro Sport Differential | 572 |
| 8.2.1.4 | Weitere aktive Allradantriebssysteme | 574 |
| 8.2.1.5 | Systeme mit Frontantrieb-Querverteiler Überlagerungsdifferenzial | 574 |
| 8.2.1.6 | 4Motion von VW | 575 |
| 8.2.2 | Bremssysteme | 575 |
| 8.2.2.1 | Grundlagen des Bremsen-Fahrdynamikreglers | 575 |
| 8.2.2.2 | Zusatzfunktionen in aktiven Bremssystemen | 576 |
| 8.3 | Mechatronische Vertikaldynamiksysteme | 577 |
| 8.3.1 | Anforderungen an die Vertikalsysteme | 577 |
| 8.3.2 | Einteilung der Vertikalsysteme | 577 |
| 8.3.3 | Dämpfungssysteme | 578 |
| 8.3.3.1 | Adaptive Dämpfungssysteme | 579 |
| 8.3.3.2 | Semi-aktive Dämpfungssysteme | 580 |
| 8.3.3.3 | Regelstrategien für semi-aktive Dämpfer | 582 |
| 8.3.4 | Niveauregulierungssysteme | 583 |
| 8.3.5 | Adaptive Luftfederungssysteme | 584 |
| 8.3.6 | Aktuelle aktive Federungssysteme | 585 |
| 8.3.6.1 | Langsam-aktive Fahrwerksysteme | 586 |
| 8.3.6.2 | Voll-aktive, integrierte Fahrwerksysteme | 588 |
| 8.3.7 | Lagersysteme | 591 |
| 8.4 | Mechatronische Querdynamiksysteme | 592 |
| 8.4.1 | Vorderradlenkung | 593 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 8.4.2 | Hinterradlenkung | 595 |
| 8.4.3 | Wankstabilisierungssysteme | 601 |
| 8.4.3.1 | Passiver Stabilisator | 602 |
| 8.4.3.2 | Schaltbare Off-Road-Stabilisatoren | 602 |
| 8.4.3.3 | Schaltbare On-Road-Stabilisatoren | 602 |
| 8.4.3.4 | Semiaktive Stabilisatoren | 603 |
| 8.4.3.5 | Hydraulische aktive Stabilisatoren | 604 |
| 8.4.3.6 | Elektrische aktive Stabilisatoren | 607 |
| 8.4.4 | Aktive Kinematik | 609 |
| 8.4.5 | Gegenüberstellung der Fahrdynamiksysteme | 612 |
| 8.4.6 | Vernetzung der Fahrwerksysteme | 614 |
| 8.5 | X-by-wire | 615 |
| 8.5.1 | Steer-by-wire | 615 |
| 8.5.2 | Brake-by-wire | 616 |
| 8.5.2.1 | Elektrohydraulische Bremse (EHB) | 617 |
| 8.5.2.2 | Elektromechanische Bremse (EMB) | 617 |
| 8.5.2.3 | Elektromechanische Bremse von Teves | 617 |
| 8.5.2.4 | Elektrohydraulische Combi-Bremse (EHC) | 618 |
| 8.5.2.5 | Radialbremse | 619 |
| 8.5.2.6 | Keilbremse | 619 |
| 8.5.2.7 | Mechatronische Bremse | 620 |
| 8.5.3 | Leveling-by-wire | 621 |
| 8.6 | Fahrerinformationssysteme | 621 |
| 8.7 | Fahrerwarnsysteme | 622 |
| 8.7.1 | Fahrerwarnung bei der Längsführung | 622 |
| 8.7.2 | Fahrerwarnung bei der Querrführung | 623 |
| 8.8 | Fahrerassistenzsysteme | 623 |
| 8.8.1 | Bremsassistentz | 625 |
| 8.8.1.1 | Sicherheitsrelevante Bremsassistentz | 625 |
| 8.8.1.2 | Komfortorientierte Bremsassistentz | 626 |
| 8.8.1.3 | Anforderungen an die Bremsassistentz | 626 |
| 8.8.2 | Distanzhalteassistentz | 626 |
| 8.8.3 | Lenkassistentz | 627 |
| 8.8.3.1 | Lenkassistentz durch Anpassung der Unterstützungskraft | 628 |
| 8.8.3.2 | Lenkassistentz durch Überlagerung des Fahrerhandmoments | 628 |
| 8.8.3.3 | Lenkassistentz durch Überlagerung des Fahrerlenkwinkels | 631 |
| 8.8.3.4 | Lenkassistentz durch kombinierten Eingriff aus Lenkradwinkel und -moment | 631 |
| 8.8.4 | Einparkassistentz | 631 |
| 8.8.4.1 | Einführung | 631 |
| 8.8.4.2 | Parklückenerkennung | 632 |
| 8.8.4.3 | Einparkvorgang | 633 |
| 8.8.4.4 | Lenkaktuator | 634 |
| 8.8.5 | Zusammenfassung | 634 |
| 9 | Zukunftsaspekte des Fahrwerks | 639 |
| 9.1 | Fahrwerkkonzepte – Fokussierung auf den Kundenwert | 640 |
| 9.1.1 | Auslegung des Fahrverhaltens | 640 |
| 9.1.2 | Diversifizierung und Stabilisierung der Fahrwerkskonzepte | 641 |
| 9.1.2.1 | Vorderachsen | 642 |
| 9.1.2.2 | Hinterachsen | 642 |
| 9.1.3 | Fahrwerkbestandteile der Zukunft | 642 |
| 9.1.3.1 | Achsantrieb der Zukunft | 642 |
| 9.1.3.2 | Bremse der Zukunft | 643 |
| 9.1.3.3 | Lenkung der Zukunft | 643 |
| 9.1.3.4 | Federung der Zukunft | 643 |
| 9.1.3.5 | Dämpfung der Zukunft | 643 |
| 9.1.3.6 | Radführung der Zukunft | 643 |
| 9.1.3.7 | Radlager der Zukunft | 643 |
| 9.1.3.8 | Reifen und Räder der Zukunft | 643 |

| | | |
|----------------------------|--|-----|
| 9.1.4 | Elektronische Fahrwerksysteme der Zukunft | 643 |
| 9.1.4.1 | Systemvernetzung | 644 |
| 9.1.4.2 | Leistungsfähigkeit | 644 |
| 9.1.4.3 | Systemsicherheit | 645 |
| 9.1.4.4 | Elektronik Entwicklungsprozess | 645 |
| 9.1.4.5 | Anforderungen an die Datenübertragung | 645 |
| 9.2 | Umweltschutz und CO ₂ | 646 |
| 9.2.1 | Bedeutung der CO ₂ -Senkung | 646 |
| 9.2.2 | Beitrag des Fahrwerks zur CO ₂ -Senkung | 646 |
| 9.2.2.1 | Reifen und Bremse | 646 |
| 9.2.2.2 | Nebenaggregate mit Elektroantrieb | 647 |
| 9.2.2.3 | Fahrwerkgewicht | 647 |
| 9.2.2.4 | Fahrwiderstand | 648 |
| 9.2.2.5 | Energierückgewinnung an Stoßdämpfern | 648 |
| 9.2.2.6 | Zusammenfassung | 648 |
| 9.2.3 | Beitrag des Hybridantriebs zur CO ₂ -Senkung | 648 |
| 9.2.3.1 | Mild- und Parallel-Hybridantriebe | 650 |
| 9.2.3.2 | Seriell-Hybridantriebe | 650 |
| 9.2.4 | Bremsblending für Rekuperation | 651 |
| 9.3 | Elektrofahrzeuge | 653 |
| 9.3.1 | Antriebskonzepte für das Elektrofahrzeug | 653 |
| 9.3.2 | Fahrwerkkonzepte für Elektro-Autos | 655 |
| 9.3.2.1 | Fahrwerkkonzepte mit zentralem Elektromotor | 655 |
| 9.3.2.2 | Fahrwerkkonzepte für zwei Elektromotoren | 655 |
| 9.3.2.3 | Fahrwerkkonzepte für radnahen Antrieb | 656 |
| 9.3.2.4 | Fahrwerkkonzepte für Radnaben-Antriebe | 657 |
| 9.3.2.5 | Gegenüberstellung radnahe Antriebe und Radnaben-Antriebe | 659 |
| 9.3.3 | Elektro-Radnabenfahrwerk, „eCorner“ | 659 |
| 9.4 | X-by-wire-Systeme der Zukunft | 660 |
| 9.5 | Fahrerassistenz-Systeme der Zukunft | 661 |
| 9.6 | Vorausschauende und intelligente Fahrwerke der Zukunft | 662 |
| 9.6.1 | Fahrzeugsensorik | 662 |
| 9.6.2 | Aktuatorik | 663 |
| 9.6.3 | Vorausschauendes Fahren | 663 |
| 9.7 | Autonomes Fahren in der Zukunft? | 666 |
| 9.7.1 | Selbstfahrendes Chassis, Rolling/Driving Chassis | 666 |
| 9.7.2 | Urban Challenge 2007: Die ersten Schritte zum autonomen Fahren | 667 |
| 9.7.3 | Autofahren ohne Fahrer | 669 |
| 9.8 | Zukunftsszenarien für das Auto und sein Fahrwerk | 670 |
| 9.8.1 | Trends aus der Vergangenheit | 671 |
| 9.8.2 | Trends aus der Gegenwart | 671 |
| 9.8.3 | Trends der Zukunft | 671 |
| 9.8.4 | Szenarioanalyse | 671 |
| 9.8.5 | Mögliche Zukunftsvisionen | 672 |
| 9.9 | Ausblick | 673 |
| Glossar | | 677 |
| Sachwortverzeichnis | | 700 |