

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort der Herausgeber.....	V
Gastvorwort .....	VI
Die Herausgeber.....	VII
Autorenverzeichnis .....	IX
Abkürzungs- und Formelverzeichnis .....	XXVII
<b>A Einleitung und Geschichte.....</b>	<b>1</b>
Definition und Abgrenzung .....	2
<b>1 Aufgabe und Bedeutung der Lenkung .....</b>	<b>2</b>
1.1 Grundbauarten.....	3
1.2 Bauformen .....	3
<b>2 Geschichte der Querdynamik.....</b>	<b>4</b>
<b>3 Geschichte der Kraftfahrzeuglenkung.....</b>	<b>8</b>
3.1 Die Drehschemellenkung (Achsschemellenkung).....	9
3.2 Die Achsschenkellenkung .....	9
3.3 Die Lenkungen der ersten Kraftfahrzeuge.....	10
3.4 Mechanische Lenkgetriebe.....	12
3.5 Servolenkgetriebe (Hilfskraftlenkung) .....	14
<b>B Grundlegendes zum Lenkvorgang.....</b>	<b>21</b>
<b>1 Lenken – Fahrzeugführung quer .....</b>	<b>21</b>
<b>2 Kurvenfahrt.....</b>	<b>22</b>
2.1 Langsame Kurvenfahrt .....	22
2.2 Schnelle Kurvenfahrt.....	22
<b>3 Reifeneigenschaften in Querrichtung.....</b>	<b>24</b>
3.1 Kraftübertragung Vertikal – Einfluss auf Latschlänge .....	24
3.2 Reifenseitenkraft, Reifennachlauf und -rückstellmoment.....	25
3.2.1 Bereich kleiner Querbeschleunigungen (lineare Reifeneigenschaften).....	25
3.2.2 Bereich höherer Querbeschleunigungen (nichtlineare Reifeneigenschaften).....	28
3.2.3 Einfluss durch Sturzwinkel.....	31
3.3 Transientes Verhalten der Reifenseitenkraft.....	32
3.4 Zusammenfassung Reifeneigenschaften .....	32
<b>4 Lenkradmoment .....</b>	<b>33</b>
4.1 Lenkradmomentenberechnung .....	34
4.2 Lenkungsverstärkung .....	35
4.3 Lenkunterstützungsmoment .....	38
<b>5 Allradlenkung .....</b>	<b>39</b>
<b>6 Verspannungslenkung .....</b>	<b>40</b>
<b>C Anforderungen an die Lenkung – .....</b>	<b>43</b>
<b>1 Funktion und Lenkgefühl .....</b>	<b>43</b>

2	Package .....	44
3	Gewicht .....	45
4	Kosten .....	46
5	Qualität .....	47
6	Energie und Umwelt .....	47
7	Akustik und Schwingungen .....	48
8	Systemsicherheit .....	48
9	Gesetzliche Anforderungen .....	49
<b>D</b>	<b>Lenkkinematik .....</b>	<b>51</b>
1	Einleitung .....	51
2	Kenngrößen der Lenkgeometrie .....	51
3	Kenngrößen der Radstellung .....	56
3.1	Lenkübersetzung .....	63
4	Übertragungseinrichtung .....	65
<b>E</b>	<b>Fahrdynamische Grundlagen .....</b>	<b>77</b>
1	Fahrzeugmodellierung – lineares Einspurmodell .....	77
1.1	Bewegungsgleichungen .....	78
1.2	Lenkwinkel – Lenkradwinkel – Lenkungsverstärkung .....	80
1.3	Stationäre Kreisfahrt .....	83
1.4	Unter-/Übersteuern .....	85
1.5	Transientes Verhalten – Ansprechzeit auf Lenkradwinkelsprung .....	86
1.6	Gierfrequenzgang .....	87
1.7	Lenkungsmodelle .....	88
1.8	Lenkungsmodell mit Lenkunterstützung und Reibeffekten .....	90
1.9	Analyse des Einflusses von Fahrzeug- und Lenkungsparameter auf das Fahr- und Lenkverhalten .....	92
2	Fahrdynamische Grundauslegung für das Lenksystem .....	94
2.1	Auslegung der Schwenkachse – Stationäres Rückstellmoment .....	94
2.2	Bestimmung des Stabilitätsfaktor (Stability Factor) .....	94
2.3	Stationäre Gierverstärkung und Lenkempfindlichkeit .....	95
2.4	Lenkradmoment-Querbeschleunigungsgradient (stationär) .....	96
2.5	Frequenzgang Lenkradmoment-Lenkradwinkel .....	96
2.6	Free-Control-Stabilität .....	96
2.7	Eigenfrequenz und Dämpfung der Lenkung .....	97
2.8	Minimerung des Schiefeziehens bei ungleichen Bremskräften an der Vorderachse .....	98
2.9	Lenkstabiles Bremssystem .....	98
2.10	Einfluss der Aerodynamik auf das Fahrverhalten .....	98
2.11	Frontgetriebene Fahrzeuge .....	98
<b>F</b>	<b>Akustik und Schwingungen .....</b>	<b>101</b>
1	Stör- und Funktionsgeräusche .....	101
1.1	Schallquellen von Lenksystemen .....	102
1.2	Elektrische Lenksystemen .....	103
1.3	Hydraulische Lenksystemen .....	104
2	Stabilität .....	107
2.1	Hydraulisches Lenkungsklappern .....	108

2.2	Lenkungsrattern.....	109
2.3	Lenkraddrehschwingungen LDS .....	110
3	Körperschallübertragung durch Schläuche und Leitungen .....	112
3.1	Körperschallwellenüberlagerung.....	112
3.2	Akustisch wirksame Materialkenngrößen.....	112
3.3	Minderung der Schallübertragung durch Biegeverlegung .....	113
4	Lenksäule und Lenkrad – Auslegung hinsichtlich Schwingungskomfort .....	114
4.1	Auslegungsstrategie.....	115
4.2	Eigenfrequenzziele der Komponenten und im Gesamtfahrzeug .....	117
4.3	Berechnungsmodelle und -lastfälle.....	118
4.4	Parameterstudien .....	119
4.5	Lenkradtilger .....	121
4.6	Fazit.....	123
<b>G</b>	<b>Lenkgefühl, Interaktion .....</b>	<b>125</b>
1	Lenkverhalten und Lenkgefühl .....	125
2	Lenkgefühl .....	127
2.1	Führungsverhalten .....	128
2.2	Rückmeldeverhalten .....	129
2.3	Anforderungen an ein optimales Lenkverhalten und Lenkgefühl.....	129
3	Evaluierungsmethodiken des Lenkgefühls – Objektivierung .....	130
4	Subjektive Beurteilung des Lenkgefühls.....	131
5	Objektive Beurteilung des Lenkverhaltens .....	135
5.1	Messausstattung .....	135
5.2	Fahrmanöver.....	136
5.3	Automatisierte Datenaufbereitung.....	137
5.4	Objektive Parameter .....	138
6	Korrelations- und Regressionsanalyse .....	139
7	Zielbereiche für optimales Lenkverhalten.....	139
8	Authentisches oder synthetisches Lenkgefühl – Ein objektiv bewertbares Thema?.....	141
<b>H</b>	<b>Auslegung von Lenkungen .....</b>	<b>145</b>
1	Grundauslegung eines Lenkgetriebes.....	145
1.1	Zahnstangenkraft .....	145
1.2	Lenkradmoment .....	146
1.3	Lenkdynamik.....	146
1.4	Lenkleistung .....	148
1.5	Lenkungsreibung.....	148
1.5.1	Negative Aspekte von Reibung im Lenkgetriebe .....	149
1.5.2	Positive Aspekte von Reibung im Lenkgetriebe .....	149
2	Übertragungsverhalten von Lenksystemen .....	151
2.1	Führungsverhalten .....	151
2.2	Rückmeldeverhalten .....	152
2.2.1	Rückmeldung bei hydraulisch unterstützten Servolenkungen .....	153
2.2.2	Rückmeldungsrelevante nichtlineare Erweiterungen bei hydraulischen Ser- volenkungen .....	156
2.2.3	Rückmeldung bei elektromechanisch unterstützten Servolenkungen .....	158

<b>I</b>	<b>Lenkrad .....</b>	163
1	Einführung .....	163
2	Baugruppen.....	163
2.1	Skelett.....	164
2.2	Lenkradkranz und Lenkradkorpus .....	167
2.3	Hupe .....	167
2.4	Airbag und Crash.....	168
2.4.1	Airbagkappe .....	169
2.4.2	Luftsack .....	169
2.4.3.	Gasgenerator.....	170
2.5	Multifunktion .....	171
2.6	Schaum/Leder/Dekore .....	174
3	Anforderungen an die Komponenten und ZSB .....	175
4	Erprobung und Absicherung .....	175
4.1	Airbag.....	176
4.1.1	Allgemeine- und Crashanforderungen .....	176
4.1.2	Umweltsimulation.....	176
4.2	Lenkrad .....	178
4.2.1	Betriebsfestigkeit.....	178
4.2.2	ECE-R12 .....	180
4.2.3	Umweltsimulation/Lacktest/Galvaniktest .....	180
4.3	Bedienelemente/EE .....	181
5	Modularisierung/Entwicklungstrends/Ausblick .....	182
<b>J</b>	<b>Lenksäule und Lenkzwischenwelle.....</b>	183
1	Einführung .....	183
2	Baugruppen.....	184
2.1	Lenkstrang Oben .....	185
2.2	Manuell verstellbare Lenksäule MVLS .....	186
2.3	Elektrisch verstellbare Lenksäule EVLS .....	186
2.4	Lenkzwischenwellen .....	187
2.4.1	Ungleichförmigkeit und Center Point .....	188
2.5	Komponenten der Baugruppen .....	190
2.5.1	Verstelleinheiten .....	190
2.5.1.1	Manuelle Verriegelung .....	190
2.5.1.2	Elektrische Antriebseinheit .....	191
2.5.2	Lenkstrang oben inklusive Mantelrohr .....	193
2.5.3	Crashelement .....	194
2.5.4	Gelenke .....	196
2.5.4.1	Einfachgelenke .....	197
2.5.4.2	Zentriertes Doppelgelenk .....	197
2.5.5	Längenausgleich der Lenkzwischenwelle .....	198
2.5.6	Dämpfungselemente .....	199
3	Erprobung der Lenksäule und Lenkzwischenwelle .....	200
3.1	Übertragungsfähigkeit .....	201
3.1.1	Statische Festigkeit .....	201
3.1.2	Dynamische Festigkeit .....	201
3.2	Steifigkeit .....	202
3.3	Verstelldauerlauf für Lenksäulen .....	203
3.4	Eigendynamisches Verhalten .....	203

3.4.1	Anforderung an die Lenksäule.....	204
3.4.2	Analytische Ermittlung/Messung des eigendynamischen Verhaltens.....	204
3.4.3	Einflussparameter .....	205
3.5	Crasheigenschaften.....	206
3.5.1	Lenkspindel .....	206
3.5.2	Lenksäule.....	208
3.6	Verschiebekräfte zur Einstellung der Lenksäule .....	209
3.7	Temperatur .....	210
3.8	Korrosion.....	210
4	Ausblick.....	211
<b>K</b>	<b>Mechanische und hydraulische Lenkungen.....</b>	<b>213</b>
1	Begriffsbestimmung von Zahnstangenlenkungen .....	213
2	Verwendbarkeit/Vor- und Nachteile .....	215
3	Kinematische Unterscheidungsmerkmale von Lenkgetrieben .....	215
3.1	Position des Lenkgetriebes relativ zur Vorderachse .....	216
3.2	Anbindung des Lenkgetriebes im Fahrzeug .....	216
3.3	Ausrichtungen des Lenkgetriebegehäuses .....	217
3.4	Anbindung der Spurstangen .....	217
3.5	Art des Übersetzungsverhältnisses .....	218
4	Aufbau und Hauptkomponenten eines mechanischen Zahnstangenlenkgetriebes.....	219
4.1	Lenkgetriebegehäuse .....	220
4.1.1	Einteiliges Lenkgetriebegehäuse .....	220
4.1.2	Zweiteiliges Lenkgetriebegehäuse als Verbundkonstruktion.....	221
4.2	Lenkritzel .....	221
4.2.1	Lenkritzellagerung.....	221
4.2.2	Ausführung der Lenkritzelverzahnung .....	222
4.3	Zahnstange und Zahnstangenführung.....	223
4.3.1	Zahnstangenführung .....	223
4.3.2	Druckstück.....	224
4.3.3	Zahnstangenlagerbuchse.....	226
5	Verzahnung und Lenkgetriebeübersetzung.....	227
5.1	Konstante Lenkgetriebeübersetzung.....	227
5.2	Variable Lenkgetriebeübersetzung .....	228
5.2.1	Entwicklungsgeschichte .....	229
5.3	Anwendungen.....	229
5.3.1	Lenksystem-orientierte Anwendung .....	229
5.3.2	Fahrerorientierte Anwendung .....	231
5.3.3	Sonderanwendungen.....	232
5.4	Technische Grenzen .....	235
5.4.1	Größenordnung der Übersetzungserhöhung .....	235
5.4.2	Kontaktlinien .....	236
5.4.3	Stabilität und Geräusch (NVH).....	236
5.5	Herstellungsverfahren.....	238
5.5.1	Taumelfließpressen.....	238
5.5.2	Halbwarm Schmieden.....	239
5.5.3	Rohrumformung .....	240
6	Anforderungen an ein mechanisches Zahnstangenlenkgetriebe.....	241
6.1	Funktionsanforderungen an Lenkgetriebe .....	241
6.1.1	Druckstückspiel .....	242

6.1.2	Lenkritzeldrehmoment .....	242
6.1.3	Zahnstangenverschiebekraft .....	243
6.1.4	Wirkungsgrad .....	244
6.1.5	Geräusch-(NVH)-Anforderungen .....	245
6.2	Festigkeitsanforderungen an Lenkgetriebe .....	245
6.2.1	Statische Festigkeit .....	245
6.2.2	Dynamische Festigkeit und Verschleißprüfung .....	245
6.3	Umweltanforderungen an Lenkgetriebe .....	246
6.3.1	Salzsprühnebelprüfung .....	246
6.3.2	Schmutzwasserprüfung .....	246
7	Designverifikation und Produktvalidierung eines Zahnstangenlenkgetriebes .....	247
7.1	Konzeptverifikation (CV) .....	247
7.2	Designverifikation (DV) .....	247
7.3	Produktvalidierung (PV) .....	247
7.4	Serienbegleitende Prüfung .....	248
8	Hydraulische Lenkungen .....	248
8.1	Zielsetzung .....	249
8.2	Notwendige Veränderungen am Fahrzeug gegenüber der manuellen Lenkung .....	249
8.3	Notwendige Veränderungen am Lenkgetriebe gegenüber der manuellen Lenkung ...	250
8.4	Besonderheiten für hydraulische Lenkgetriebe beim Einsatz im Fahrzeug .....	250
9	Aufbau und Komponenten hydraulischer Lenkgetriebe .....	251
9.1	Ausführungsformen .....	252
9.1.1	Endabgriff .....	252
9.1.2	Mittenabgriff .....	252
9.1.3	Paralleler Hilfszylinder .....	253
9.2	Zylinder .....	254
9.2.1	Zahnstange im Zylinderbereich .....	254
9.2.2	Kolben mit Kolbenring .....	255
9.2.3	Zahnstangendichtungen und Dichtsystem des Zylinders .....	257
9.2.4	Zylinderrohr mit Anschläßen .....	260
9.3	Drehschieberventil mit Eingangswelle und Lenkritzel .....	261
9.3.1	Lenkritzel .....	262
9.3.2	Drehstab und Überlastsicherung .....	262
9.3.3	Steuerhülse mit Ventilringen .....	262
9.3.4	Eingangswelle .....	263
9.3.5	Ausführungsformen .....	264
9.4	Weitere Komponenten eines hydraulischen Lenkgetriebes .....	265
9.4.1	Transferleitungen .....	265
9.4.2	Balgentlüftung .....	265
9.5	Typische Kennwerte hydraulischer Lenkgetriebe .....	266
10	Funktionsweise der Lenkungshydraulik .....	266
10.1	Lenkventil – Prinzip der Drosselung .....	266
10.2	Äußere Einflüsse auf die Ventilkennung .....	271
10.3	Wirkung von Lenkbewegungen – Volumenstromaufteilung .....	272
10.4	Ventilgeräusche – Zischen .....	273
10.5	Innere Leckage .....	274
10.6	Modellbildung (Lageregelkreis) .....	275
10.7	Dämpfung – Instabilitäten .....	276
11	Hydraulische Zusatzsysteme .....	277
11.1	Mittenzentrierung .....	277
11.2	Geschwindigkeitsabhängigkeit .....	279

11.3 Dämpfungsventile .....	281
11.4 Lenkventile mit Dämpfungseigenschaften .....	283
11.5 Druckbegrenzung in der Zahnstangenendlage .....	284
<b>12 Kugelumlauflenkgetriebe/Nfz-Lenksysteme.....</b>	<b>285</b>
12.1 Einsatzbereiche.....	285
12.2 Aufbau von Kugelumlauflenkgetrieben.....	286
12.3 Vergleich zwischen Kugelumlauflenkung und Zahnstangenlenkung .....	288
12.4 Technische Daten und Kennwerte .....	288
12.5 Zusatzsysteme .....	289
12.6 Zweikreis-Lenkung .....	289
<b>13 Anforderungen an ein hydraulisches Lenkgetriebe.....</b>	<b>291</b>
13.1 Funktionsanforderungen.....	291
13.2 Festigkeitsanforderungen .....	291
13.2.1 Statische Festigkeit – Berstdruckprüfung .....	291
13.2.2 Dynamische Festigkeit – Druckpulsation .....	291
13.3 Umweltanforderungen – Kaltstarttest.....	291
<b>L Spurstangen .....</b>	<b>293</b>
1 Einleitung.....	293
2 Basisausführungen .....	293
2.1 Spurstangen für Kugelumlauflenkungen .....	293
2.2 Spurstangen für Zahnstangenlenkungen .....	294
3 Spurstangengelenke .....	295
3.1 Innengelenk (Axialgelenk) .....	295
3.1.1 Belüftungsfunktion des Innengelenks .....	297
3.2 Außengelenk (Winkelgelenk, Radialgelenk) .....	297
4 Spureinstellung .....	298
5 Anforderungen und Auslegung .....	299
5.1 Auslegungsregeln von Spurstangen .....	299
5.2 Auslegung der Spurstange auf Bauteilfestigkeit .....	299
5.3 Auslegung der Gelenklagerung .....	301
5.4 Auslegung der Außengelenkabdichtung .....	302
6 Dämpfung/Entkopplung .....	304
7 Schnittstelle zum Radträger .....	304
8 Leichtbau .....	305
9 Ausblick.....	306
9.1 Überlastverhalten .....	306
9.2 Sensorgelenk .....	307
<b>M Hydraulische Energieversorgung .....</b>	<b>309</b>
1 Servopumpen .....	309
1.1 Einführung.....	309
1.2 Flügelzellenpumpe .....	309
1.2.1 Flügelzellenpumpen mit Bypassventil zur Energieeinsparung .....	311
1.2.2 Verstellpumpe .....	312
1.3 Radialkolbenpumpe .....	315
1.4 Tandempumpe .....	316
2 Ölversorgung und Öle .....	316
2.1 Ölbehälter .....	316
2.1.1 Bauarten .....	317

2.1.2	Befüllung und Entlüftung .....	317
2.1.3	Filtration .....	317
2.1.4	Abscheidegrad .....	318
2.1.5	Systemreinheit .....	319
2.1.6	Auslegung unter Querbeschleunigung .....	320
2.2	Lenkungsschläuche und Leitungen.....	321
2.2.1	Hochdruckleitung inklusive Verschraubung (Schlauchtypen und Aufbau)....	321
2.2.2	Verschraubungen von Hochdruckleitungen und Dehnschläuchen.....	322
2.2.3	Saug- und Rücklaufleitung .....	322
2.2.4	Akustik-Abstimmung/Geräuschmaßnahmen .....	323
2.3	Kühlung/Kühlwendel/Kühler .....	323
2.4	Systemgrenzen.....	324
2.5	Servoöle.....	325
2.5.1	Sonstige Spezifikationen .....	325
<b>N</b>	<b>Elektrohydraulische Lenksysteme (EPHS).....</b>	<b>327</b>
1	Einleitung.....	327
1.1	Aufbau und Funktionsweise .....	327
1.2	Lenksystemklassifikation .....	329
1.3	Anwendungsbeispiele.....	330
2	Systembeschreibung .....	330
2.1	Systemübersicht.....	330
2.2	Systemauslegung .....	332
2.2.1	Quasi-stationäre Auslegung.....	332
2.2.2	Dynamische Auslegungskriterien .....	333
2.3	Energieverbrauch.....	334
2.3.1	Wirkungsgrad .....	334
2.3.2	Leistungsaufnahme und Energieverbrauch.....	335
3	Komponenten.....	337
3.1	Motorpumpen-Aggregat .....	337
3.1.1	Hauptanforderungen und Schnittstellen.....	337
3.1.2	Elektrisches Antriebsaggregat .....	338
3.1.3	Pumpe und Ventile .....	340
3.2	Hydraulisches Leitungssystem .....	342
3.2.1	Hauptanforderungen .....	342
3.2.2	Aufbau und Dämpfungsprinzipien.....	343
3.2.3	Bestimmung des Dämpfungsverhalten .....	343
3.2.4	Hydraulischer Widerstand .....	344
3.3	Weitere Komponenten.....	345
3.3.1	Sensoren .....	345
3.3.2	Fluide .....	345
3.3.3	Behälter und Halterungen .....	345
<b>O</b>	<b>Elektromechanische Lenksysteme (EPS).....</b>	<b>347</b>
1	Einleitung.....	347
1.1	Analogiebetrachtung EPS zur HPS .....	349
2	Bauarten von EPS-Systemen .....	350
2.1	EPSc – Column .....	350
2.2	EPSp – Pinion.....	351
2.3	EPSdp – Dual Pinion.....	351

2.4	EPSapa – Axe Parallel.....	353
2.5	EPSrc – Rack Concentric .....	353
3	Baugruppen der EPS.....	354
3.1	Servogetriebe.....	354
3.1.1	Schneckengetriebe .....	355
3.1.2	Kugelgewindetrieb.....	356
3.1.3	Zahnriemengetriebe .....	357
3.2	Elektromotor.....	358
3.2.1	Übersicht/Vergleich/Arbeitsbereich .....	358
3.2.2	Gleichstrommotor mit mechanischem Kommutator .....	361
3.2.3	Asynchronmotor .....	362
3.2.4	Synchronmotor .....	363
3.2.5	Position-/Drehzahlsensorik.....	365
3.3	Drehmomentsensor .....	368
3.3.1	Anforderungen/Klassifizierung .....	368
3.3.2	Sensoren mit Torsionsstab .....	369
3.3.3	Torsionssteife Sensoren .....	374
3.4	Steuergerät.....	376
3.4.1	Bauarten.....	377
3.4.2	Signalelektronik.....	379
3.4.3	Leistungselektronik .....	380
4	Systemauslegung.....	382
4.1	Allgemeine Systemanforderungen.....	382
4.2	Auslegungsparameter .....	384
4.3	Anforderungen an das Bordnetz .....	388
5	Systemsicherheit .....	389
5.1	Normatives Regelwerk .....	389
5.1.1	IEC 61508.....	389
5.1.2	ISO 26262.....	390
5.2	Sicherheit in EPS Anwendungen.....	390
5.2.1	Aufgabe des Sicherheitskonzepts .....	390
5.2.2	Risikoeinstufung von EPS-Systemen .....	391
5.2.3	Eigenschaften des sicheren Zustands.....	392
5.2.4	Abschaltpfade .....	393
5.2.5	Sicherheitsmaßnahmen für die Teilkomponenten des Systems .....	394
5.2.5.1	Überwachung externer Signale.....	394
5.2.5.2	Überwachung Sensorik.....	394
5.2.5.3	Überwachungskonzept des Rechnersystems .....	395
5.2.5.4	Überwachung Leistungselektronik/Aktor .....	396
5.2.5.5	Sicherheitsbezogenes ECU-Blockschaltbild.....	397
6	Lenkfunktionen und Regelung .....	397
6.1	Lenkfunktionen .....	398
6.1.1	Grundlenkfunktionen .....	399
6.1.1.1	Servounterstützung .....	399
6.1.1.2	Reibungskompensation.....	401
6.1.1.3	Trägheitskompensation.....	401
6.1.1.4	Dämpfung .....	402
6.1.2	Erweiterte Lenkfunktionen .....	402
6.1.2.1	Aktiver Rücklauf .....	402
6.1.2.2	Geradeauslauf Korrektur .....	403
6.1.3	Funktionen auf Fahrzeugebene .....	403

6.1.3.1	Parklenkassistent .....	403
6.1.3.2	Fahrerwarnung/Lane Departure Warning .....	403
6.1.3.3	Spurführung/Lane-Keeping-System .....	404
6.1.3.4	Fahrdynamische Lenkmomentenempfehlung .....	404
6.2	Regelungskonzepte für das Lenkgefühl .....	404
6.2.1	Klassische Regelungskonzepte .....	404
6.2.2	Regelung des Fahrermoments .....	405
<b>P</b>	<b>Überlagerungslenkung .....</b>	<b>409</b>
1	Einleitung .....	409
2	Historie .....	409
3	Funktionsprinzip .....	410
4	Aufbau .....	411
4.1	Allgemeiner Systemaufbau .....	412
4.2	Aktuatorik und Aktuatorvarianten .....	412
4.2.1	Audi/ZFLS-Dynamiklenkung .....	412
4.2.2	BMW/ZFLS-Aktivlenkung .....	415
4.2.3	Lexus/JTEKT VGRS .....	416
4.3	Anpassungen am Lenksystem .....	417
4.3.1	Lenkübersetzung .....	419
4.3.2	Anpassungen zur Erfüllung von Akustikanforderungen .....	419
4.3.3	Anpassungen aufgrund der Lenkstabilisierung .....	419
4.3.4	Systemvernetzung .....	420
5	Funktionen der Überlagerungslenkung .....	420
5.1	Variable Lenkübersetzung .....	420
5.1.1	Niedrige Geschwindigkeiten .....	421
5.1.2	Mittlerer Geschwindigkeitsbereich .....	421
5.1.3	Stabilität bei hoher Geschwindigkeit .....	421
5.1.4	Kennlinienvarianten je nach Fahrerwunsch .....	423
6	Lenkungsstabilisierung .....	423
6.1	Lenkstabilisierung beim Übersteuern .....	424
6.2	Lenkstabilisierung beim Untersteuern .....	424
6.3	Lenkstabilisierung beim Bremsen auf Fahrbahnen mit unterschiedlichen Reibwerten ( $\mu$ -split) .....	426
7	Systemsicherheit .....	427
8	Ausblick .....	429
<b>Q</b>	<b>Allradlenkung .....</b>	<b>431</b>
1	Einleitung, Historie, Grundlagen, Zielsetzung .....	431
2	Bauweisen .....	432
2.1	Mechanische Systeme .....	433
2.2	Hydraulische Systeme .....	435
2.3	Elektromechanische Systeme .....	436
2.4	Zentralaktor versus Einzelradaktuatoren .....	439
3	Auswirkungen einer Allradlenkung auf das Fahrverhalten .....	440
3.1	Kinematische Eigenschaften einer Allradlenkung .....	440
3.2	Einfluss einer Allradlenkung auf die stationären Fahreigenschaften .....	441
3.3	Einfluss einer Allradlenkung auf die instationären Fahreigenschaften .....	442
3.4	Kombination einer Hinterradlenkung mit einer Überlagerungslenkung an der Vorderachse .....	443

<b>R Steer-by-Wire .....</b>	447
1 Einleitung .....	447
2 Komponenten .....	449
3 Lenkfunktion .....	453
4 Sicherheitskonzept .....	456
5 Ausblick .....	458
<b>S Überblick – Fahrerassistenz .....</b>	459
Ausgewählte Fahrerassistenzsystemfunktionen in Bezug auf die Lenkung im Überblick ...	459
1 Fahrstabilitätseingriffe .....	459
1.1 Funktion „Lenkempfehlung“ .....	460
1.1.1 „Lenkempfehlung“ beim Gieren .....	460
1.1.2 „Lenkempfehlung“ in der $\mu$ -Split-Situation .....	460
1.2 Anforderungen an die Ergonomie .....	461
1.3 Anforderungen an die Sicherheit .....	462
2 Spurassistenz .....	462
2.1 Spurhalteassistenz (Lane Keeping Support – LKS) .....	463
2.1.1 Technische Realisierung .....	463
2.1.2 Funktionsweise .....	464
2.1.3 In der Praxis .....	464
2.2 Spurverlassenswarnung (Lane Departure Warning – LDW) .....	465
2.3 Ausgewählte Systeme auf dem Markt .....	466
2.4 Ausblick Spurhalteassistenz .....	467
3 Einparkassistenz – Park Assist .....	467
3.1 Anforderungen an das Einparksystem .....	468
3.2 Technische Realisierung .....	468
3.3 Ausgewählte Systeme auf dem Markt .....	470
3.4 Ausblick Einparkassistenz .....	470
<b>T Ausblick – Zukunft der Lenkung .....</b>	473
1 Autonomes Fahren .....	473
2 Steer by Wire .....	474
3 Allradlenkung .....	474
4 Integrierte Fahrdynamikregelung .....	475
5 Baukasten bzw. Modularisierung von Lenksystemen .....	475
6 Neue Absatzmärkte .....	476
7 Technologiewandel in der Lenkungstechnik .....	476
8 Lenkradentwicklung .....	477
9 Lenksäulenentwicklung .....	478
<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	479