

Inhaltsverzeichnis

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

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
D	Lenkkinematik	51
1	Einleitung	51
2	Kenngrößen der Lenkgeometrie	51
3	Kenngrößen der Radstellung	56
3.1	Lenkübersetzung	63
4	Übertragungseinrichtung	65
E	Fahrdynamische Grundlagen	77
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 Grundausslegung 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	Minimierung des Schiefziehens 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
F	Akustik und Schwingungen	101
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	Lenkungsrauschen.....	109
2.3	Lenkraddehnschwingungen 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
G	Lenkgefühl, Interaktion	125
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	Evaluiierungsmethodiken des Lenkgefühls – Objektivierung.....	130
4	Subjektive Beurteilung des Lenkgefühls.....	131
5	Objektive Beurteilung des Lenkverhaltens	135
5.1	Messausrüstung	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
H	Auslegung von Lenkungen	145
1	Grundausslegung 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 Servolenkungen	156
2.2.3	Rückmeldung bei elektromechanisch unterstützten Servolenkungen	158

I	Lenkrad	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
J	Lenksäule und Lenkzwischenwelle	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
K	Mechanische und hydraulische Lenkungen.....	213
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	Lenkritzell	221
4.2.1	Lenkritzellagerung.....	221
4.2.2	Ausführung der Lenkritzellverzahnung	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	Taumelfießpressen.....	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 Anschlüssen	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
12	Kugelumlauf lenkgetriebe/Nfz- Lenksysteme.....	285
12.1	Einsatzbereiche.....	285
12.2	Aufbau von Kugelumlauf lenkgetrieben.....	286
12.3	Vergleich zwischen Kugelumlauf lenkung und Zahnstangenlenkung	288
12.4	Technische Daten und Kennwerte	288
12.5	Zusatzsysteme	289
12.6	Zweikreis- Lenkung	289
13	Anforderungen an ein hydraulisches Lenkgetriebe.....	291
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
L	Spurstangen	293
1	Einleitung.....	293
2	Basisausführungen	293
2.1	Spurstangen für Kugelumlauf lenkungen	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
M	Hydraulische Energieversorgung	309
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 Querschleunigung	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
N	Elektrohydraulische Lenksysteme (EPHS)	327
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
O	Elektromechanische Lenksysteme (EPS)	347
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 – Axle 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	Geradauslauf 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
P	Überlagerungslenkung	409
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 (μ -split)	426
7	Systemsicherheit	427
8	Ausblick	429
Q	Allradlenkung	431
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

R	Steer-by-Wire	447
1	Einleitung	447
2	Komponenten	449
3	Lenkfunktion	453
4	Sicherheitskonzept	456
5	Ausblick	458
S	Überblick – Fahrerassistenz	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 μ -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
T	Ausblick – Zukunft der Lenkung	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
	Sachwortverzeichnis	479