

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Der Reifen als Regelgröße	15
1.1 Einführung	15
1.2 Physikalische Grundlagen	16
1.2.1 Schlupf und Schräglauf beim gebremsten Rad	16
1.2.2 Schlupf und Schräglauf beim angetriebenen Rad	18
1.2.3 Gleichwertigkeit der Schlupfwerte	19
1.2.4 Längs- und Hochkraft	20
1.3 Zusammenhang zwischen Kraftschluß und Schlupf: Meßverfahren	21
1.3.1 Außentrommelprüfstand	21
1.3.2 Innentrommelprüfstand	22
1.3.3 Prüfbahnen	22
1.4 Zusammenhang zwischen Kraftschluß und Schlupf: Näherungs-Rechenverfahren	24
1.5 Berechnungsbeispiele: Kraftschluß als Funktion des Schlups	27
1.5.1 Sommerreifen	27
1.5.2 Winterreifen	29
1.5.3 Vergleich Rechnung und Kraftschlußmessung	29
1.5.4 Vergleich Rechnung und Seitenkraftmessung	32
1.6 Berechnung des kompletten Reifenkennfelds	36
1.6.1 Kraftschluß bei Bremsung	36
1.6.2 Seitenkraftbeiwert bei Bremsung	37
1.6.3 Kraftschluß bei Antrieb	41
1.6.4 Seitenkraftbeiwert bei Antrieb	42
1.7 Einfluß der Nässe	43
1.7.1 Theoretische Grundlagen	44
1.7.2 Bestimmung des Nässekennwerts C_4 aus Messungen auf Prüfbahnen	45
1.7.3 Bestimmung des Nässekennwerts C_4 aus Straßenmessungen	49
1.7.4 Berechnung des Bremswegs bei Nässe	50
1.7.5 Berechnungsbeispiele: Nässekennwert C_4	51
1.8 Einfluß der Radlast auf den Kraftschluß	53
1.8.1 Reifenkennwerte	53
1.8.2 Berechnungsbeispiele: Reifen der Serien 80 bis 55	55
1.9 Rechnerische Erfassung des Radverhaltens	57
1.9.1 Bremsen	57
1.9.2 Antrieb (Traction)	58
1.9.3 Berechnungsbeispiele	59
2 Zeitabläufe bei Schlupfregelungen	63
2.1 Einführung	63
2.2 Blockiervorgang der nicht angetriebenen Vorderachse beim μ -Sprung-Fall	64

2.3	Berechnungsbeispiel	69
2.4	Hydraulische Drücke, Druckab- und -aufbaugeschwindigkeiten	70
2.5	Berechnungsbeispiel	73
2.6	Blockiervorgang der Vorderachse bei panikartiger Bremsbetätigung	74
2.7	Berechnungsbeispiel	78
2.8	Durchdrehverhalten eines Rades der angetriebenen Achse beim Übergang von griffiger auf glatte Straße	80
2.9	Berechnungsbeispiel	84
2.10	Durchdrehvorgang der angetriebenen Räder bei rascher Gaspedalbetätigung auf homogener Oberfläche	85
2.11	Berechnungsbeispiel	86
3	Messung des Drehzustands der Räder	87
3.1	Einführung	87
3.2	Massensensoren	87
3.3	Beispiel: Berechnung der Schaltzeiten	91
3.4	Drehzahlsensoren	92
3.4.1	Konstruktiver Aufbau	92
3.4.2	Einfluß des Sensorreinbaus	96
3.4.3	Berechnungsbeispiel: Einbaubedingter Geschwindigkeitsfehler und Folgerungen	100
3.5	Signalverarbeitung	101
3.5.1	Einführung	101
3.5.2	Direkte Impulsauswertung	102
3.5.3	Impulsauswertung mittels Trägerfrequenz	102
4	Anti-Blockier-System (ABS)	105
4.1	Einführung	105
4.2	Anforderungen	106
4.3	Theorie der Signalgewinnung	109
4.3.1	Grundlagen	109
4.3.2	Beschleunigungsregelung	112
4.3.3	Schlupfregelung	116
4.3.4	Kombinierte Regelung nach Beschleunigung und Schlupf	123
4.4	Einfluß der Antriebsart auf die Funktion des ABS	130
4.4.1	Getriebeeinfluß	130
4.4.2	Hinterradantrieb	130
4.4.3	Vorderradantrieb	131
4.4.4	Allradantrieb	132
4.5	Messung der Leistungsfähigkeit eines ABS	133
4.5.1	Ebene, trockene Fahrbahn	133
4.5.2	Glatte Fahrbahn	134
4.5.3	μ -Split-Verhalten	134
4.5.4	Sonstige Untersuchungen	135
4.5.5	Zusammenfassung	135
5	Hydraulikkreisläufe für Anti-Blockier-Systeme	137
5.1	Grundsätzliches	137
5.1.1	Energiezufuhr	137
5.1.2	Hydrospeicher	138
5.1.3	Sicherheit gegen Störungen	139
5.2	Offene Kreisläufe	140
5.2.1	Offener Kreislauf mit Nachspeisung über Hochdruckhydrospeicher und Ladepumpe	140

5.2.2	Offener Kreislauf mit Rückförderpumpe und Spezial-Hauptbremszylinder mit Überströmung	142
5.2.3	Offener Kreislauf mit Speicherbremsventil, Hochdruckhydrospeicher und Ladepumpe	143
5.2.4	Offener Kreislauf mit Speicherbrems- und Hysterese-Rückschlagventil, Hochdruckhydrospeicher und Ladepumpe	145
5.3	Geschlossene Kreisläufe	146
5.3.1	Geschlossener Kreislauf mit Niederdruckspeicher, Dreistellungsventil und Freikolben-Rückförderpumpe	146
5.3.2	Geschlossener Kreislauf mit Niederdruckspeicher, Dreistellungsventil, Bypassventil und Freikolbenpumpe	148
5.3.3	Geschlossener Kreislauf mit Niederdruckspeicher und Rückförderpumpe	148
5.3.4	Geschlossener Kreislauf mit Niederdruckspeicher, Rückförderpumpe und «Flow-Ventil»	150
5.4	Kreisläufe mit Plunger und Rückhub	151
5.4.1	Aktiver Plunger mit Rückhub über Hochdruckhydrospeicher und mit Ladepumpe	152
5.4.2	Passiver Plunger mit Rückhub über Hochdruckhydrospeicher und Ladepumpe	153
5.4.3	Passiver Plunger mit Rückhub über Hochdruckhydrospeicher, Ladepumpe und integriertem Bremsdruckminderer	156
5.5	Kreisläufe mit passivem Plunger und Rückzug des Kolbens	156
5.5.1	Passiver Plunger mit hydraulischem Kolbenrückzug und aktiver Rückdruckfeder	156
5.5.2	Passiver Plunger mit hydraulischem Kolbenrückzug und passiver Rückdruckfeder	158
5.6	Kreislauf mit passivem Plunger, mechanischem Rückzug und aktiver Rückdruckfeder	159
5.7	Offener Regel- und geschlossener Steuerkreis mit Spezial-Hauptbremszylinder, Servozylinder, Hochdruckhydrospeicher und Ladepumpe	163
6	Automatic Stability Control (ASC) und Antriebs-Schlupf-Regelung (ASR)	167
6.1	Begriffsbestimmung	167
6.2	Anforderungen an eine ASC	168
6.3	Regelverfahren und Signalgewinnung	169
6.3.1	Einfluß auf die Funktion	169
6.3.2	Berechnungsbeispiel	172
6.4	ASC mit alleinigem Motoreingriff	172
6.4.1	Begriffsbestimmung	172
6.4.2	Regelphilosophie	174
6.4.3	Fahrzeugbeschleunigung und Reifenkennlinie	176
6.4.4	Motordrehmoment und Reifenkennlinie	179
6.5	ASR mit alleinigem Bremseingriff	181
6.5.1	Rechnerische Zusammenhänge	181
6.5.2	Berechnungsbeispiel für Hinter- und Vorderradantrieb	183
6.5.3	Regelphilosophie	185
6.6	Kombinierte Antriebs-Schlupf-Regelung	188
6.7	Anfahren mit ASC, bzw. ASR, Getriebeeinfluß	190
7	Hydraulikkreisläufe für Antriebs-Schlupf-Regelungen	191
7.1	Offener Kreislauf mit Hauptbremszylinder, Hochdruckhydrospeicher und Umschaltventil	191

7.2	Offener Kreislauf mit Rückförderpumpe sowie Spezial-Hauptbremszylinder mit Überströmung und Druckbegrenzungsventil	193
7.3	Geschlossener Kreislauf mit Freikolben-Rückförderpumpe, Druckaufbau im ASR-Betrieb über Doppelkolbenspeicher mit Ladepumpe und Umschaltventil	194
7.4	Geschlossener Kreislauf mit Freikolbenpumpe, Vorladepumpe und Druckbegrenzungsventil	196
7.5	Geschlossener Kreislauf mit Freikolben-Rückförderpumpe, Druckaufbau bei ASR-Betrieb über Tauchkolben- bzw. Plungereinheit mit Zentralventil und separatem Speicherkreis	198
7.6	Geschlossener Kreislauf mit Freikolben-Rückförderpumpe, Druckaufbau bei ASR-Betrieb über Tauchkolben- bzw. Plungereinheit mit separatem Speicherkreis	200
7.7	Geschlossener ABS-Kreislauf mit Freikolben-Rückförderpumpe und ASR über eine Tauchkolben- bzw. Plungereinheit mit getrenntem Regelkreis	202
7.8	Kreislauf mit mechanischer Tauchkolbenbetätigung	203
8	Elektronische Regeleinheiten	207
8.1	Einsatzfähigkeit von Systemen	207
8.2	Sicherheit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit	208
8.3	Zuverlässigkeit elektronischer Bauelemente	209
8.4	Sicherheitsschaltungen	213
8.4.1	Plausibilitätskriterien	213
8.4.2	Eingebauter Testzyklus (built in test equipment)	214
8.4.3	Redundanzen (Parallel arbeitende Kanäle)	214
8.4.4	Diversitäre Technik: Vielfalt (Diversifikation) der Mittel und Methoden	215
8.5	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	216
8.6	Sicherheit der Elektronik	217
8.6.1	Mercedes-Benz/Bosch-ABS	217
8.6.2	Konzept der Firma Teves	224
9	Maximale Leistungsfähigkeit von Anti-Blockier- und Antriebs-Schlupf-Regelungen	227
9.1	Einführung	227
9.2	Anti-Blockier-Systeme mit Allradregelung	228
9.2.1	Einzeln geregelte Vorderräder, gemeinsame Regelung der Hinterräder (Select-low-Prinzip) und Festabstimmung	228
9.2.2	Einzeln geregelte Vorderräder, gemeinsame Regelung der Hinterräder (Select-low-Prinzip) und Bremskraftminderer mit druckabhängigem Umschaltpunkt	234
9.2.3	Einzeln geregelte Vorderräder, gemeinsame Regelung der Hinterräder (Select-low-Prinzip) und Bremskraftminderer mit lastabhängig veränderlichem sowie druckabhängigem Umschaltpunkt	239
9.2.4	Bremskraftminderer mit beschleunigungsabhängigem Umschaltpunkt	241
9.2.5	Bremskraftbegrenzer mit druckabhängigem Umschaltpunkt	243
9.2.6	Bremskraftbegrenzer mit beschleunigungsabhängigem Umschaltpunkt und Strahlencharakteristik	246
9.3	Anti-Blockier-Systeme mit geregelten Vorderrädern und mitgesteuerten Hinterrädern	249
9.3.1	Festabstimmung	249
9.3.2	Bremskraftminderer mit druckabhängigem Umschaltpunkt	251
9.3.3	Bremskraftminderer mit lastabhängig veränderlichem, druckabhängigem Umschaltpunkt	251
9.3.4	Bremskraftminderer mit beschleunigungsabhängigem Umschaltpunkt	253

9.3.5	Bremskraftbegrenzer mit beschleunigungsabhängigem Umschaltpunkt	254
9.3.6	Zusammenfassung	254
9.4	Anti-Blockier-System mit integriertem umschaltbarem Hauptbremszylinder	254
9.4.1	Grundprinzip	254
9.4.2	Auslegung der Bremsanlage	256
9.4.3	Regelverhalten	257
9.4.4	Zusammenfassung	262
9.5	Antriebs-Schlupf-Regelungen	262
9.5.1	Einführung	262
9.5.2	Beschleunigungs- und Steigvermögen bei Reifen mit ausgeglichener Kennlinie auf homogener Fahrbahn	262
9.5.3	Berechnungsbeispiel	263
9.5.4	Verhalten bei μ -Split	264
9.5.5	Berechnungsbeispiel	266
9.5.6	Einfluß der Reifenkennlinie	266
9.5.7	Reaktionszeit und Regelung	267
9.5.8	Berechnungsbeispiel	270
10	Ausgeführte Anti-Blockier-Systeme	273
10.1	Entwicklungen der Firma Bosch	273
10.2	Bosch-ABS 2 S	274
10.2.1	Systemkennzeichen	276
10.2.2	Drehzahlfühler	276
10.2.3	Hydraulikeinheit	278
10.2.4	Rückförderpumpe	278
10.2.5	Ventile	281
10.2.6	Elektronisches Steuergerät	281
10.3	Bosch-ABS 5	283
10.4	Entwicklungen der Firma Teves	286
10.5	Teves-ABS Mk (Mark) 2	288
10.5.1	Funktion	288
10.5.2	Systemkennzeichen	293
10.5.3	Konstruktive Einzelheiten	295
10.6	Teves-ABS Mk 4	295
10.6.1	ABS Mk 4 mit offenem Kreislauf	295
10.6.2	ABS Mk 4 mit Pedalwegschalter	299
10.6.3	ABS Mk 4 G	300
10.6.4	ABS MK4 Gi – Konstruktionsmerkmale	300
10.6.5	ABS Mk 4 G, Funktionseigenschaften	303
10.7	Entwicklungen der Firma Lucas-Girling	304
10.8	Lucas-Girling-ABS 4/4-S	304
10.8.1	Systemkennzeichen	304
10.8.2	Schieberventil	305
10.9	Lucas-Girling-ABS 4/4-F	308
10.9.1	Kombinationsventil	308
10.9.2	Systemkennzeichen	308
10.10	Entwicklungen der Firma Bendix	312
10.11	Bendix Addonix für den Citroën XM	312
10.11.1	Systemkennzeichen	312
10.11.2	Speicherbremsventil	314
10.11.3	Hydraulikeinheit	315
10.11.4	Sicherheitsforderung	318
10.12	Integriertes antiskid der Firma Bendix	319

10.12.1	Hydraulikeinheit	319
10.12.2	Twin-Hauptbremszylinder	319
10.13	Antiskid-Add-on-System Mecatronic der Firma Bendix	323
10.13.1	Hydraulische Baugruppen	323
10.13.2	Systemkennzeichen	325
10.14	Entwicklungen der Firma Brembo Kelsey-Hayes	327
10.15	EBC-4-brake-System von Kelsey-Hayes	327
10.16	Entwicklungen der Firma Honda	329
10.17	Honda-Anti-Blockier-System 4 w ALB 2	330
10.17.1	Konstruktionsmerkmale	330
10.17.2	Modulator	330
10.17.3	Systemkennzeichen	334
10.18	Entwicklungen der Firma Fatec	335
10.19	Fatec C 2 ABS	336
10.19.1	Konstruktionsmerkmale	336
10.19.2	Systemkennzeichen	338
11	Ausgeführte Antriebs-Schlupf-Regelungen	341
11.1	Entwicklungen der Firma Bosch	341
11.2	Mercedes-Benz/Bosch-ABS/ASR 2 I	341
11.2.1	Doppelkolben-Hydrospeicher	342
11.2.2	Signalverarbeitung	346
11.2.3	Systemkennzeichen	349
11.3	BMW/Bosch-ASC+T-Anlage	350
11.3.1	Funktion	350
11.3.2	Systemkennzeichen	353
11.4	Mercedes-Benz/Bosch-ABS/ASR 2 I mit umschaltbarem Stufen-Hauptbremszylinder	354
11.4.1	Umschaltbarer Stufen-Hauptbremszylinder	354
11.4.2	Fahrtechnische Vorteile	357
11.4.3	Funktion des Bremseneingriffs bei ASR	358
11.4.4	Funktion der Bremsung mit ABS	360
11.4.5	Funktion des Motoreingriffs bei ASR	361
11.4.6	Beeinflussung der Motorbremswirkung durch die ASR	363
11.5	Bosch-ABS/ASR 5	364
11.5.1	Funktion	365
11.5.2	Systemkennzeichnen	365
11.6	Mercedes-Benz/Bosch-ABS/ASR 5 D	369
11.6.1	Funktion	369
11.6.2	Systemkennzeichen	370
11.7	Teves-ABS/ASR Mk 2 für Pkw mit Vorderradantrieb	371
11.8	Teves-ABS/ASR Mk 2 für Pkw mit Hinterradantrieb	373
11.9	Teves-ABS/ASR Mk 4 für Pkw mit Vorderradantrieb	377
11.9.1	Funktion ABS	377
11.9.2	Funktion ASR	378
11.9.3	Systemkennzeichen	379
11.10	Teves-ABS/ASR Mk 4 G für Pkw mit Hinterradantrieb	379
11.10.1	Funktion ABS	381
11.10.2	Funktion ASR	381
11.10.3	Systemkennzeichen	382
11.11	Lucas-Girling-ABS/ASR 4/4-S	382
11.11.1	Funktion	382
11.11.2	Unterdruck-Bremeskraftverstärker	383

11.11.3 Systemkennzeichen	383
11.12 Lucas-Girling-ABS/ASR 4/4-F	388
11.12.1 Funktion ABS	390
11.12.2 Funktion ASR	390
11.12.3 Systemkennzeichen	390
11.13 Bendix-Addonix-ABS/ASR bei Vorderradantrieb	391
11.13.1 Funktion ASR	393
11.13.2 Systemkennzeichen	393
11.14 Bendix-Mecatronic-4.4-ABS/ASR	394
11.14.1 Hydraulische Baugruppen	394
11.14.2 Funktion ASR	396
11.14.3 Systemkennzeichnung	397
Formelzeichen und Einheiten	399
Literaturverzeichnis	407
Im Text genannte Automobilfirmen und Zulieferanten	409
Stichwortverzeichnis	411