

# Inhaltsverzeichnis

1. Die Idee zu diesem Buch .....	10
1.1 Die WW-Story oder: Woher stammt das Wissen für dieses Buch? .....	13
1.2 Wie liest man dieses Buch? .....	18
2. Die Bauteile eines Fahrwerks .....	19
2.0 Die Elemente der Radaufhängung .....	19
2.1 Die Federn .....	20
2.1.1 Schnelle Federratenänderung ohne Demontage .....	26
2.1.2 Übersetzungsverhältnis zwischen Rad und Feder .....	27
2.1.3 Die natürliche Eigenfrequenz eines Fahrwerks .....	31
2.1.4 Radlasten, deren Einstellung und Nebenfederraten .....	33
2.1.5 Federschäden .....	38
2.2 Die Stoßdämpfer .....	39
2.2.1 Technische Varianten .....	41
2.2.1.1 Zweirohrdämpfer .....	42
2.2.1.2 Einrohrdämpfer .....	42
2.2.1.2.1 Upside-Down-Bauweise .....	44
2.2.1.3 Rennsportdämpfer .....	45
2.2.2 Dämpfungskennlinien .....	46
2.2.2.1 Die progressive Dämpfung .....	47
2.2.2.2 Die lineare Dämpfung .....	47
2.2.2.3 Die degressive Dämpfung .....	47
2.2.2.4 Kennlinien-Diagramme in der Praxis .....	49
2.2.3 Wie stellt man einen Dämpfer richtig ein? .....	52
2.2.4 Theorie und Praxis der Dämpfungstechnik im Vergleich .....	53
2.2.5 Das Verhältnis von Zug- zu Druckstufe .....	54
2.2.6 Der Dämpfer – ein aktives Bauteil .....	56
2.2.7 Die Ventiltechnik im Detail .....	56

2.2.7.1	Aufbau und Funktionsweise der Druckstufe	.56
2.2.7.2	Aufbau und Funktionsweise der Zugstufe	.58
2.2.8	Standardsituationen für Federn und Dämpfer	.59
2.2.9	Radbewegungen bei der Kurvenfahrt	.66
2.2.10	Der Komfort	.67
2.2.10.1	Definition	.67
2.2.10.2	Komfort ist auch, was man nicht hört	.69
2.2.11	Elektronisch verstellbare Dämpfung	.70
2.2.12	Dämpferschäden	.72
2.3.	Anschlagselastomere, Federwegsbegrenzer	.74
2.3.1	Ermittlung des benötigten Federweges und der erforderlichen Länge der Bumpstops	.77
2.4	Stabilisatoren	.80
2.5	Fahrwerkslagerungen aus Gummi	.88
2.6	Verstärkungsstreben und Sicherheitskäfige	.92

## 3. Die Achsgeometrie 94

3.1	Voraussetzungen für eine korrekte Messung	.97
3.2	Die Spur	.98
3.2.1	Die Gesamtspur	.99
3.2.2	Einfluss der Spurwerte auf das Fahrverhalten	.101
3.2.3	Spur nicht einstellbar – Was tun?	.104
3.3	Der Radsturz	.106
3.4	Der Nachlauf	.110
3.5	Der Lenkrollradius	.114
3.6	Die Spreizung	.117
3.7	Der eingeschlossene Winkel	.120
3.8	Die Geometrie der Lenkung	.120
3.8.1	Das Ackermannprinzip	.120
3.8.2	Der Spurdifferenzwinkel	.122
3.8.3	Die Spurdifferenz im Rennsport	.124
3.9	Was muss nach Änderungen am Fahrwerk eingestellt werden?	.127
3.10	Individuelle Einstellmethode anhand der Abriebsbilder der Reifen	.129
3.10.1	Die verschiedenen Abriebserscheinungen der Reifen	.129

3.11	Die Achskinematik .....	136
3.11.1	Veränderungen der Achsgeometrie während der Fahrt .....	136
3.11.2	Vorspurkurve .....	138
3.11.3	Messung der Spur- und Sturzänderungen entlang des gesamten Federweges ..	142
3.11.4	Weitere Messgrößen bei der Achsvermessung .....	144
3.12.	Vorgehensweise bei der Vermessung .....	149
3.12.2	Ursachen für ein schief ziehendes Fahrzeug oder ein schräg stehendes Lenkrad	153
3.13.	Vermessung in der Box .....	155
3.13.1	Professionelle Achsmesssysteme für Rennteams .....	158
3.14	Die häufigsten Fehler bei der Achsvermessung .....	160

#### 4. Physikalische Grundlagen zu Fahrverhalten und Setup .....

4.1	Reifen .....	163
4.1.1	Aufbau des Reifengummi .....	164
4.1.2	Elastizitätsmodul .....	164
4.1.3	Temperatureinfluss auf den Gummi .....	164
4.1.4	Verzahnungseffekt .....	165
4.1.5	Fahrbahnbeschaffenheit .....	165
4.1.6	Grip, Latsch und Last .....	166
4.1.7	Reibungskoeffizient oder Seitenkraftkennlinie .....	168
4.1.8	Reifenbreite .....	172
4.1.9	Reifendruck .....	174
4.1.9.1	Der konstante Reifendruck im Motorsport .....	176
4.1.10	Messung der Reifentemperatur .....	177
4.1.10.1	Zusammenhang zwischen Reifentemperatur und optimalem Grip .....	183
4.1.10.2	Was ist »Graining« oder »Körnen«? .....	185
4.1.11	Schräglaufwinkel und Schlupf .....	186
4.1.11.1	Schlupf .....	186
4.1.11.2	Schräglaufwinkel .....	190
4.1.11.3	Optimale Balance oder maximales Kurventempo? .....	193
4.1.12	Abrollumfang und Reifensteifigkeit .....	194
4.1.13	Vektorbeschleunigung .....	197
4.1.13.1	Der Kamm'sche Kreis-idealisiert .....	197
4.1.13.2	Rollphasen .....	200

4.1.13.3	Der Kamm'sche Kreis in der Realität	.200
4.1.14	Nässehaftung	.202
4.1.15	Der Reifen als Feder-Dämpfer-System	.205
4.1.16	Rollwiderstand	.207
4.1.17	Rennreifen vs. Straßenreifen	.209
4.2	Chassis	.210
4.2.1	Schwerpunkt	.210
4.2.2	Ermitteln des Schwerpunkts	.211
4.2.3	Statische Gewichtsverteilung	.211
4.2.4	Dynamische Gewichtsverlagerung längs und seitwärts	.213
4.2.5	Rollzentren und Rotationspole	.215
4.2.5.1	Rollzentren	.215
4.2.5.2	Rotationspole oder Pitchzentren	.218
4.2.6	Bremsbalance	.219
4.2.6.1	Einstellmöglichkeiten	.221
4.2.6.2	Tipps zur Waagebalkenanlage	.223
4.2.7	Eigenlenkverhalten	.226
4.2.8	Elektronische Fahrhilfen	.229
4.2.9	Aerodynamische Hilfsmittel	.230
4.2.9.1	Heckflügel	.231
4.2.9.2	Unterböden und Diffusoren	.233
4.2.9.3	Sonstige aerodynamische Tricks	.234
4.3	Gefederte, ungefederte und rotierende Massen	.237

## 4. Differenziale, Sperrn und Getriebe .....240

5.1	Differenzialsperren	.240
5.1.1	Differenzialsperren und Fahrdynamik	.244
5.2	Differenzialsperren im Motorsport	.245
5.2.1	Das Spiel mit der aktiven Drehmomentverteilung	.248
5.3	Die Auswahl der Hinterachsübersetzung	.252
5.4	Getriebeauslegung	.252
5.4.1	Schaltarten der Getriebe	.256

## 6. Fahrwerkssetup .....257

6.1	Einbau des Fahrwerks .....	257
6.1.1	Vorgehensweise für den Einbau vom Tieferlegungssatz bis hin zum Komplettfahrwerk .....	258
6.1.2	Vorgehensweise beim High-End-Fahrwerk .....	258
6.2	Die richtige Reihenfolge .....	259
6.3	Ziele und Methoden .....	259
6.3.1	Balance bei Federn und Stabilisatoren .....	261
6.3.2	Abstimmung der Stoßdämpfer .....	264
6.3.3	Vorgehensweise .....	269
6.4	Setup-Varianten .....	271
6.4.1	Vorgehensweise bei einem zweifach verstellbaren Fahrwerk mit selektiver Zug- und Druckstufenverstellung .....	274
6.4.2	Vorgehensweise bei einem im Zug verstellbaren Fahrwerk .....	275
6.4.3	Vorgehensweise bei einem in Zug und Druck gleichzeitig verstellbaren Fahrwerk .....	276
6.4.4	Asymmetrische Fahrwerkseinstellung .....	276
6.4.5	Tests zur Fahrwerksabstimmung .....	277
6.4.6	High-End-Abstimmung auf dem Fahrdynamikprüfstand .....	277
6.5.	Dokumentation .....	282
6.5.1	Die elektronische Datenaufzeichnung .....	283
6.5.2	Vorbereitung eines Rennwochenendes .....	286
6.6	Hilfe zur Kaufentscheidung .....	287
6.7	Durchhaltevermögen ist gefragt .....	288

## 7. Sonstiges .....291

7.1	Randbedingungen .....	291
7.2	Glossar .....	291
7.3	Bildnachweis .....	301
7.4	Quellen, Literatur .....	301
7.5	Dank .....	301
7.7	Anhang .....	302