

## **Inhaltsverzeichnis**

Vorwort .....	8
<b>1. Die Idee zu diesem Buch. ....</b>	<b>10</b>
1.1 Die WW-Story oder: Woher stammt das Wissen für dieses Buch?.....	13
1.2 Wie liest man dieses Buch? .....	20
<b>2. Die Bauteile eines Fahrwerks .....</b>	<b>21</b>
2.1 Reifen .....	21
2.1.1 Aufbau des Reifengummis. ....	22
2.1.2 Elastizitätsmodul .....	22
2.1.3 Temperatureinfluss auf den Gummi. ....	22
2.1.4 Verzahnungseffekt .....	23
2.1.5 Fahrbahnbeschaffenheit. ....	24
2.1.6 Grip, Latsch und Last .....	26
2.1.7 Reibungskoeffizient oder Seitenkraftkennlinie. ....	28
2.1.8 Reifenbreite .....	32
2.1.9 Reifendruck .....	34
2.1.9.1 Der konstante Reifendruck im Motorsport. ....	37
2.1.10 Messung der Reifentemperatur .....	38
2.1.10.1 Praxistipps zur Temperaturmessung. ....	45
2.1.10.2 Praxistipp Thermografie .....	45
2.1.10.3 Zusammenhang zwischen Reifentemperatur und optimalem Grip ....	48
2.1.10.4 Was ist »Graining« oder »Körnen«? .....	49
2.1.11 Schräglaufwinkel und Schlupf .....	50
2.1.11.1 Schlupf. ....	51
2.1.11.2 Schräglaufwinkel .....	55
2.1.11.3 Optimale Balance oder maximales Kurventempo? .....	57
2.1.12 Abrollumfang und Reifensteifigkeit .....	59
2.1.13 Vektorbeschleunigung .....	64
2.1.13.1 Der Kamm'sche Kreis – idealisiert .....	64
2.1.13.2 Rollphasen. ....	66
2.1.13.3 Der Kamm'sche Kreis in der Realität .....	68
2.1.14 Nässehaftung .....	69
2.1.15 Der Reifen als Feder-Dämpfer-System .....	72
2.1.16 Rollwiderstand .....	74
2.1.17 Praxistipp: Fahrerische Minimierung des Rollwiderstands .....	77
2.1.18 Rennreifen vs. Straßenreifen .....	77
2.1.19 Praxistipp: Welchen Reifen für den Einsatzzweck? .....	78
2.1.20 Die Reifenbezeichnungen im Detail. ....	81

2.2	Die Elemente der Radaufhängung . . . . .	87
2.3	Die Federn. . . . .	89
	2.3.1 Praxistipp zu Helferfedern . . . . .	95
	2.3.2 Schnelle Federratenänderung ohne Demontage. . . . .	95
	2.3.3 Übersetzungsverhältnis zwischen Rad und Feder . . . . .	98
	2.3.4 Die natürliche Eigenfrequenz eines Fahrwerks . . . . .	101
	2.3.5 Radlasten, deren Einstellung und Nebenfederraten . . . . .	104
	2.3.6 Praxistipp: Der schnelle Federwechsel . . . . .	110
	2.3.7 Federschäden . . . . .	111
2.4	Die Stoßdämpfer . . . . .	113
	2.4.1 Technische Varianten . . . . .	114
	2.4.1.1 Zweirohrdämpfer . . . . .	114
	2.4.1.2 Einrohrdämpfer . . . . .	116
	2.4.1.2.1 Upside-Down-Bauweise. . . . .	117
	2.4.1.3 Rennsportdämpfer. . . . .	118
	2.4.1.4 Dreirohrdämpfer. . . . .	120
	2.4.2 Dämpfungskennlinien. . . . .	121
	2.4.2.1 Die progressive Dämpfung . . . . .	122
	2.4.2.2 Die lineare Dämpfung . . . . .	122
	2.4.2.3 Die degressive Dämpfung . . . . .	122
	2.4.2.4 Kennlinien-Diagramme in der Praxis. . . . .	123
	2.4.3 Wie stellt man einen Dämpfer richtig ein? . . . . .	127
	2.4.4 Theorie und Praxis der Dämpfungstechnik im Vergleich . . . . .	128
	2.4.5 Das Verhältnis von Zug- zu Druckstufe. . . . .	129
	2.4.6 Der Dämpfer – ein aktives Bauteil. . . . .	131
	2.4.7 Die Ventiltechnik im Detail . . . . .	131
	2.4.7.1 Aufbau und Funktionsweise der Druckstufe. . . . .	132
	2.4.7.2 Aufbau und Funktionsweise der Zugstufe . . . . .	135
	2.4.8 Standardsituationen für Federn und Dämpfer. . . . .	138
	2.4.9 Radbewegungen bei der Kurvenfahrt . . . . .	146
	2.4.10 Der Komfort . . . . .	148
	2.4.10.1 Definition . . . . .	148
	2.4.10.2 Komfort ist auch, was man nicht hört . . . . .	149
	2.4.11 Praxistipps zum Ansprechverhalten . . . . .	150
	2.4.12 Elektronisch verstellbare Fahrwerke . . . . .	151
	2.4.13 Dämpferschäden . . . . .	154
	2.4.14 Die Zukunft von Stoßdämpfern . . . . .	156
2.5	Anschlagselastomere, Federwegsbegrenzer . . . . .	157
	2.5.1 Bumpstopps. . . . .	160
	2.5.2 Ermittlung des benötigten Federweges und der erforderlichen Länge der Bumpstopps . . . . .	161
	2.5.3 Praxistipp zur Ermittlung von Fahrhöhe und Restfederweg . . . . .	163
2.6	Stabilisatoren. . . . .	164
	2.6.1 Innovationen in der Stabilisatorentechnik . . . . .	170

	2.6.2 Praxistipp von Georg Plasa . . . . .	171
2.7	Fahrwerkslagerungen aus Gummi . . . . .	172
	2.7.1 Praxistipp: SuperPro. Die innovative Marke aus Australien . . . . .	176
	2.7.1.1 Die Eigenschaften des SuperPro Polyäther-Polyurethan-Materials . . . . .	177
	2.7.1.2 Fahrwerksgeometrische Änderungen . . . . .	178
	2.7.1.3 Warum man SuperPro Buchsen auch schon bei neuen Fahrzeugen montieren kann und sollte . . . . .	179
2.8	Verstärkungsstreben und Sicherheitskäfige . . . . .	180
<b>3.</b>	<b>Die Achsgeometrie . . . . .</b>	<b>182</b>
3.1	Voraussetzungen für eine korrekte Messung . . . . .	185
3.2	Die Spur. . . . .	186
	3.2.1 Die Gesamtspur . . . . .	187
	3.2.2 Einfluss der Spurwerte auf das Fahrverhalten . . . . .	189
	3.2.3 Spur nicht einstellbar – Was tun? . . . . .	192
3.3	Der Radsturz . . . . .	194
3.4	Der Nachlauf . . . . .	198
	3.4.1 Der Nachlauf in der Praxis. . . . .	202
3.5	Der Lenkrollradius . . . . .	203
3.6	Die Spreizung . . . . .	206
3.7	Der eingeschlossene Winkel . . . . .	210
3.8	Die Geometrie der Lenkung . . . . .	210
	3.8.1 Das Ackermannprinzip. . . . .	210
	3.8.2 Der Spurdifferenzwinkel . . . . .	212
	3.8.3 Die Spurdifferenz im Rennsport. . . . .	214
	3.8.4 Der Ackermann für Renningenieure. . . . .	216
3.9	Was muss nach Änderungen am Fahrwerk eingestellt werden? . . . . .	217
3.10	Individuelle Einstellmethode anhand der Abriebsbilder der Reifen . . . . .	219
	3.10.1 Die verschiedenen Abriebserscheinungen der Reifen. . . . .	220
	3.10.2 Praxistipp zum Verschleißbild . . . . .	228
3.11	Die Achskinematik. . . . .	228
	3.11.1 Veränderungen der Achsgeometrie während der Fahrt . . . . .	228
	3.11.2 Die Vorspurkurve . . . . .	230
	3.11.3 Messung der Spur- und Sturzänderungen entlang des gesamten Federweges . . . . .	234
	3.11.4 Weitere Messgrößen bei der Achsvermessung . . . . .	238
3.12	Vorgehensweise bei der Vermessung . . . . .	244
	3.12.1 Ursachen für ein schief ziehendes Fahrzeug oder ein schräg stehendes Lenkrad . . . . .	248
	3.12.2 Fahrzeug zieht in eine Richtung oder das Lenkrad steht schief – Weitere Ursachen . . . . .	250
	3.12.3 Fehler im Messablauf von Achsmessprogrammen . . . . .	251
3.13	Vermessung in der Box. . . . .	252
	3.13.1 Professionelle Achsmesssysteme für Rennteams. . . . .	256

	3.13.2 Praxistipp: Ein geniales Achsmessgerät braucht kein Hightech. . . . .	257
3.14	Die häufigsten Fehler bei der Achsvermessung . . . . .	260
3.15	Praxistipps für Schadengutachter und interessierte Fahrzeugbesitzer . . . . .	263
	3.15.1 Was man in einem Achsmessprotokoll »zwischen den Zeilen« alles lesen kann . . . . .	263
	3.15.1.1 Die Messbühne oder: der Boden war bei der Vermessung schief. . . . .	263
	3.15.1.2 Der Vermesser hat den Bremsspanner vergessen . . . . .	264
	3.15.1.3 Die Werte auf dem Messprotokoll sind »rot« . . . . .	266
	3.15.2 Die Vermessung eines beschädigten Fahrzeuges. . . . .	267
	3.15.3 Wie kann man mit einfachsten Methoden die Winkel auf dem Messprotokoll überprüfen? . . . . .	269
3.16	Fahrzeugspezifische Sonderfälle und technischer Fortschritt . . . . .	271
	3.16.1 Der Romess-Neigungswinkelmesser bei Mercedes . . . . .	273
	<b>4. Physikalische und geometrische Grundlagen unseres Fahrzeuges . . . . .</b>	<b>275</b>
4.1	Chassis . . . . .	275
	4.1.1 Schwerpunkt . . . . .	275
	4.1.2 Ermitteln des Schwerpunkts . . . . .	276
	4.1.3 Statische Gewichtsverteilung. . . . .	277
	4.1.4 Dynamische Gewichtsverlagerung längs und seitwärts . . . . .	278
4.2	Rollzentren und Rotationspole . . . . .	280
	4.2.1 Rollzentren . . . . .	280
	4.2.2 Rotationspole oder Pitchcenter . . . . .	283
	4.2.3 Chassissteifigkeit . . . . .	285
4.3	Bremsen . . . . .	285
	4.3.1 Einstellmöglichkeiten . . . . .	286
	4.3.2 Die Auswahl der Bremsbeläge. . . . .	289
	4.3.2.1 Bremsbelagsarten . . . . .	289
	4.3.2.2 Praxistipp: Einfahren von Bremsbelägen . . . . .	290
	4.3.3 Praxistipps zur Waagebalkenanlage . . . . .	291
4.4	Eigenlenkverhalten . . . . .	294
	4.4.1 Elektronische Fahrhilfen. . . . .	297
4.5	Aerodynamische Hilfsmittel. . . . .	298
	4.5.1 Heckflügel . . . . .	298
	4.5.2 Unterböden und Diffusoren . . . . .	301
	4.5.3 Sonstige aerodynamische Tricks. . . . .	302
4.6	Gefederte, ungefederte und rotierende Massen. . . . .	305
4.7	Felgen . . . . .	308
	4.7.1 Felgenbezeichnungen . . . . .	308
	4.7.2. Kriterien für die Auswahl der Felge . . . . .	309
	<b>5. Differenziale, Sperren und Getriebe . . . . .</b>	<b>314</b>
5.1	Differenzialsperren. . . . .	314
	5.1.1 Differenzialsperren und Fahrdynamik . . . . .	318
5.2	Differenzialsperren im Motorsport. . . . .	319

	5.2.1 Das Spiel mit der aktiven Drehmomentverteilung . . . . .	322
5.3	Die Auswahl der Hinterachsübersetzung . . . . .	326
5.4	Getriebeauslegung . . . . .	326
	5.4.1 Schaltarten der Getriebe . . . . .	330
5.5	Reibungsminimierung . . . . .	331
<b>6.</b>	<b>Fahrwerkssetup . . . . .</b>	<b>333</b>
6.1	Einbau des Fahrwerks. . . . .	333
	6.1.1 Vorgehensweise für den Einbau vom Tieferlegungssatz bis hin zum Komplettfahrwerk . . . . .	334
	6.1.2 Vorgehensweise beim High-End-Fahrwerk . . . . .	335
6.2	Die richtige Reihenfolge . . . . .	335
6.3	Ziele und Methoden . . . . .	336
	6.3.1 Balance bei Federn und Stabilisatoren . . . . .	337
	6.3.2 Abstimmung der Stoßdämpfer . . . . .	340
	6.3.3 Vorgehensweise . . . . .	345
6.4	Setup-Varianten. . . . .	347
	6.4.1 Vorgehensweise bei einem zweifach verstellbaren Fahrwerk mit selektiver Zug- und Druckstufenverstellung . . . . .	350
	6.4.2 Vorgehensweise bei einem im Zug verstellbaren Fahrwerk . . . . .	353
	6.4.3 Vorgehensweise bei einem in Zug und Druck gleichzeitig verstellbaren Fahrwerk . . . . .	353
	6.4.4 Praxistipp: Fahrwerk nicht einstellbar . . . . .	354
	6.4.5 Spezialfall Driftsetup . . . . .	354
	6.4.5.1 Wir bauen uns ein Low Budget Driftcar . . . . .	358
	6.4.6 Asymmetrische Fahrwerkseinstellung . . . . .	364
	6.4.7 Praxistipp: Testfahrten zur Fahrwerksabstimmung . . . . .	364
	6.4.8 High-End-Abstimmung auf dem Fahrdynamikprüfstand. . . . .	365
6.5	Dokumentation . . . . .	373
	6.5.1 Die elektronische Datenaufzeichnung . . . . .	373
	6.5.2 Vorbereitung eines Rennwochenendes . . . . .	377
6.6	Hilfe zur Kaufentscheidung . . . . .	378
6.7	Durchhaltevermögen ist gefragt . . . . .	379
<b>7.</b>	<b>Sonstiges. . . . .</b>	<b>382</b>
7.1	Randbedingungen . . . . .	382
7.2	Glossar . . . . .	382
7.3	Bildnachweis . . . . .	394
7.4	Quellen, Literatur. . . . .	394
7.5	Danke . . . . .	394
7.6	Kontakt . . . . .	395
7.7	Anhang . . . . .	395