

ATZ/MTZ-Fachbuch

Michael Trzesniowski

Rennwagen- technik

Grundlagen · Konstruktion ·
Komponenten · Systeme

4. Auflage

 Springer Vieweg

ATZ/MTZ-Fachbuch

Die komplexe Technik heutiger Kraftfahrzeuge und Motoren macht einen immer größer werdenden Fundus an Informationen notwendig, um die Funktion und die Arbeitsweise von Komponenten oder Systemen zu verstehen. Den raschen und sicheren Zugriff auf diese Informationen bietet die regelmäßig aktualisierte Reihe ATZ/MTZ-Fachbuch, welche die zum Verständnis erforderlichen Grundlagen, Daten und Erklärungen anschaulich, systematisch und anwendungsorientiert zusammenstellt.

Die Reihe wendet sich an Fahrzeug- und Motoreningenieure sowie Studierende, die Nachschlagebedarf haben und im Zusammenhang Fragestellungen ihres Arbeitsfeldes verstehen müssen und an Professoren und Dozenten an Universitäten und Hochschulen mit Schwerpunkt Kraftfahrzeug- und Motorentechnik. Sie liefert gleichzeitig das theoretische Rüstzeug für das Verständnis wie auch die Anwendungen, wie sie für Gutachter, Forscher und Entwicklungsingenieure in der Automobil- und Zulieferindustrie sowie bei Dienstleistern benötigt werden.

Michael Trzesniowski

Rennwagentechnik

Grundlagen, Konstruktion, Komponenten,
Systeme

4., überarbeitete und erweiterte Auflage

Mit 1202 Abbildungen und 117 Tabellen

 Springer Vieweg

Michael Trzesniowski
Studiengang Fahrzeugtechnik
FH Joanneum
Graz, Österreich

ISBN 978-3-658-04918-8
DOI 10.1007/978-3-658-04919-5

ISBN 978-3-658-04919-5 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2008, 2010, 2012, 2014

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
www.springer-vieweg.de

Vorwort

Der Rennsport hat schon immer eine Faszination auf Techniker wie auf Laien gleichermaßen ausgeübt, wenn vielleicht auch mit anderen Sichtweisen. Auf jeden Fall steht eines im Vordergrund: Das Ausloten des menschlich und physikalisch Machbaren. Für Techniker ist die Suche nach dem Optimum faszinierend und wichtig zugleich, auch wenn es nicht (gleich) erreichbar ist. Kennt man zumindest die richtige Richtung, kann man die Weichen einer Entwicklung zukunftsfruchtig stellen. In dem Zusammenhang war eine Publikation für mich richtungweisend, bei der in einer Grafik eine Bauteilauslegung in unterschiedliche Bereiche gegliedert war. Weit abgerückt von den Serienteilen hob sich ein Bereich hervor, der mit „Vorausentwicklung/Forschung und Rennsport“ zusammengefasst war. Das, was heute als Extrembeispiel versucht wird, kann morgen als Serienlösung aufgegriffen werden. Im Rennsport wird losgelöst vom Serienalltag versucht, eine Lösung auf technische Problemstellungen zu finden. Allerdings nicht irgendeine Lösung, sondern eine herausragende, eine, die einen Wettbewerbsvorteil gegenüber den Gegnern verschafft. Faszinierend ist auch, mit welchem Einsatz die Beteiligten dabei vorgehen. Vergleichsweise kleine Abteilungen schaffen in verblüffend kurzer Zeit Motoren, Rahmen, ja ganze Fahrzeuge, die noch dazu konkurrenzfähig sind.

Natürlich wird die Entwicklung dabei stark vom Reglement vorgegeben. Langstreckenrennen und Rallyes sind auf Grund der Anforderungen näher an Serienlösungen angesiedelt als Sprintbewerbe auf der Rundstrecke.

Wenn Beispiele aus der Formel 1 an verschiedenen Stellen in diesem Buch auftauchen, dann deshalb, weil diese Rennserie zumindest in Europa den Gipfel an finanziellem sowie personellem Aufwand darstellt und so zumindest im mittlerweile eng gesteckten Rahmen ihres Reglements das derzeit Machbare darstellt. Diese Beispiele sollen aber nicht die Leistungen von anderen Rennsportklassen schmälern, die mitunter mit wenigen freiwilligen Helfern manchmal nur unter Einsatz von Privatmitteln vergleichsweise Beachtliches auf die Räder stellen. Hier wird fehlendes Budget durch ansteckende Begeisterung ausgeglichen. Ich möchte mich auch bei all diesen Teams bedanken, die sich bereitwillig die Zeit genommen haben und mir einen offenen, ungehinderten Zugang zu ihrer Technik ermöglicht haben.

Dieses Buch soll das Wissen interessierter Laien erweitern, so dass sie beim nächsten Rennbesuch die Fahrzeuge mit anderen Augen betrachten können und im Fahrerlager bei leidenschaftlichen Gesprächen über den Wagen mitdiskutieren können. Weil nicht jede vorkommende Fachvokabel geläufig sein kann, gibt es einen Anhang mit Erläuterungen zu wichtigen Ausdrücken.

Dieses Buch ist aber auch für Studierende einer technischen Fachrichtung ebenso gedacht wie für bereits berufstätige Ingenieure, die ihr Wissen in den Rennsportbereich ausweiten wollen. Deshalb werden an wesentlichen Stellen auch physikalische Hintergründe samt einfachen Gleichungen dargestellt.

Zahlreiche dankende und ermunternde Leserzuschriften bestätigen, dass diese Ziele erreicht wurden. Viele Vorschläge für Verbesserungen und Ergänzungen sind in die vorliegende 4. Auflage eingeflossen.

In dieser Auflage war es an der Zeit die Erstellung eines Setups und die Entwicklung eines Rennfahrzeugs näher zu betrachten. Damit wird versucht die Frage zu beantworten, die sich unweigerlich stellt, wenn ein Wagen fertig konstruiert und gebaut worden ist: Wie wird aus diesem Gebilde nun ein konkurrenzfähiges Rennfahrzeug, das das Potential aller Reifen ausschöpft? Die gängigen Werkzeuge und Prüfeinrichtungen werden beschrieben und erläutert. Des Weiteren wurde die Simulation als Bindeglied zwischen Theorie und Praxis aufgenommen. Erforderliche Gleichungen wurden auch an passender Stelle in den einzelnen Kapiteln erweitert, so dass der umfassende Zusammenhang aufrecht bleibt.

Der Motorsport befindet sich zurzeit in einer politisch getriebenen Phase des Umbruchs. Die Hybridisierung wird weiter vorangetrieben und es gibt sogar bereits eine rein elektrische Formel-Serie. Die physikalischen Grundlagen dafür wurden bereits mit der vorigen Auflage aufgenommen. Auf eine Ergänzung durch eine detaillierte Darstellung der aktuellen Lösung in der Formel 1 wurde bewusst verzichtet, weil in diesem Werk nur bewährte Lösungen exemplarisch dargestellt werden sollen, bei denen großes Erfahrungswissen vorliegt.

Ich wünsche allen Leserinnen und Lesern, dass sie bei der Lektüre wesentliche Impulse für Studium, Beruf und/oder Freizeit aus dem vorliegenden Werk erhalten, sei es weil sie ein Fahrzeug konstruieren, eines bauen oder weil sie eines neugierig betrachten.

Graz, im Frühjahr 2014

Michael Trzesniowski

Inhaltsverzeichnis Contents

Abkürzungen, Formelzeichen und Einheiten <i>List of Symbols and Units</i>	XIII
A Einleitung <i>Introduction</i>	1
1 Arten von Rennfahrzeugen <i>Types of Race Cars</i>	1
2 Vergleich Rennsport-Serie <i>Comparison Racing vs. Mass Production</i>	8
3 Entwicklungsablauf <i>Development Process</i>	11
Literatur	14
B Fahrzeugkonzept <i>Vehicle Concept</i>	15
1 Entwicklungsablauf <i>Development Process</i>	15
2 Auslegungsbereiche <i>Layout Sections</i>	16
3 Konzeptmerkmale <i>Concept Characteristic</i>	18
3.1 Aggregatlage und Antriebskonzept <i>Engine Position and Drive Layout</i>	19
3.2 Konzeptvergleich <i>Concept Comparison</i>	22
4 Konzeptionierung Gesamtfahrzeug <i>Layout of Overall Vehicle</i>	39
5 Allgemeine Konstruktionsprinzipien beim Entwerfen <i>Principles of Embodiment</i> <i>Design in General</i>	43
6 Werkstoffe <i>Materials</i>	56
6.1 Übersicht gängiger Werkstoffe	56
6.2 Werkstoffvergleich <i>Material Comparison</i>	59
6.3 Werkstoffwahl <i>Material Selection</i>	60
7 Kosten <i>Costs</i>	62
Literatur	64
C Sicherheit <i>Safety</i>	67
1 Fahrzeugaufbau <i>Vehicle Construction</i>	67
2 Schalter <i>Switches</i>	71
3 Schutzeinrichtungen <i>Protecting Device</i>	72
4 Prüfungen <i>Tests</i>	84
Literatur	88
D Cockpit <i>Cockpit</i>	89
1 Konzept <i>Layout</i>	89
2 Fahrerposition <i>Driver's Posture</i>	92
3 Sitz <i>Seat</i>	96
4 Lenkrad <i>Steering Wheel</i>	99
4.1 Lage des Lenkrades <i>Position of Steering Wheel</i>	99
4.2 Lenkradabmessungen und Ausführungen <i>Steering Wheel, Dimensions and Types</i>	100
5 Fußhebelwerk und Pedale <i>Bracketry and Pedals</i>	103

6	Schaltung <i>Gear Linkage</i>	113
7	Armaturen Brett <i>Dashboard</i>	116
8	Rückhaltesysteme <i>Restraint Systems</i>	116
9	Beispiele <i>Examples</i>	122
	Literatur	124
E	Aerodynamik <i>Aerodynamics</i>	125
1	Einleitung <i>Introduction</i>	125
2	Luftwiderstand <i>Aerodynamic Drag</i>	128
3	Abtrieb <i>Downforce</i>	136
4	Flügelberechnung <i>Calculation of Wings</i>	163
5	Luftleitelemente <i>Deflector Devices</i>	167
6	Wärmeabfuhr und Entlüftung <i>Heat Removal and Ventilation</i>	170
7	Auslegung und Abstimmung <i>Dimensioning and Setup</i>	177
	Literatur	183
F	Außenhaut <i>Bodywork</i>	185
1	Begriffe <i>Terms</i>	185
2	Anforderungen <i>Requirements</i>	185
3	Gestaltung <i>Design</i>	187
4	Werkstoffe <i>Materials</i>	197
	Literatur	197
G	Reifen und Räder <i>Tyres and Wheels</i>	199
1	Begriffe <i>Terms</i>	200
2	Reifen <i>Tyres</i>	206
2.1	Anforderungen <i>Requirements</i>	206
2.2	Grundlagen <i>Basics</i>	207
2.3	Einfluss auf das Fahrverhalten <i>Influence on Driving Behaviour</i>	209
2.4	Wahl der Reifengröße <i>Choosing of Wheels</i>	234
2.5	Reifendaten <i>Specifications</i>	236
2.6	Reifenarten <i>Types of Tyres</i>	236
2.7	Ventil <i>Valve</i>	237
3	Räder <i>Wheels</i>	237
3.1	Anforderungen <i>Requirements</i>	237
3.2	Bezeichnungen von Rädern <i>Designation of Wheels</i>	239
3.3	Arten von Rädern <i>Types of Wheels</i>	241
3.4	Wahl der Radgröße <i>Choosing of Tyres</i>	244
4	Radbefestigung <i>Wheel Mounting</i>	245
	Literatur	252
H	Fahrwerk <i>Suspension</i>	255
1	Funktion <i>Function</i>	255
2	Begriffe und kinematische Größen <i>Terms</i>	259
2.1	Begriffe	259
2.2	Entwicklungsziele <i>Design Goals</i>	273
3	Teile der Radaufhängung <i>Parts of a Suspension</i>	286
3.1	Radaufnehmende Elemente <i>Wheel Carrying Elements</i>	286
3.2	Verbindungsglieder <i>Linkage</i>	287
3.3	Gelenke <i>Joints</i>	289

3.4	Radlager <i>Wheel Bearing</i>	292
3.5	Berechnung <i>Calculation</i>	306
4	Federung <i>Springs</i>	308
5	Dämpfer <i>Damper</i>	320
5.1	Schwingungen <i>Oscillations</i>	320
5.2	Schwingungsdämpfer <i>Dampers, Shock Absorbers</i>	325
6	Stabilisatoren <i>Stabilisers, Anti Roll Bars, AE: Sway Bars</i>	345
6.1	Berechnung <i>Calculation</i>	348
6.2	Gestaltung von Stabilisatoren <i>Design of Anti Roll Bars</i>	354
6.3	Beispiele von Stabilisatoren <i>Examples of Anti Roll Bars</i>	359
7	Bauformen von Achsen <i>Types of Suspensions</i>	361
7.1	Doppelquerlenkerachse <i>Double Wishbone Suspension</i>	363
7.2	Bauteile von Doppelquerlenkerachsen <i>Parts of Double Wishbone Axles</i>	371
7.3	McPherson-Achse <i>McPherson Axle</i>	406
7.4	Starrachse <i>Beam Axle</i>	408
8	Beispiele von Radaufhängungen von Rennfahrzeugen <i>Examples of Race Car Suspensions</i>	409
9	Daten <i>Data</i>	414
	Literatur	415
I	Bremsanlage <i>Braking System</i>	417
1	Allgemeines <i>General</i>	417
2	Anforderungen an Bremsanlagen <i>Brake System Requirements</i>	419
3	Physikalische Grundlagen <i>Physical Basics</i>	419
4	Bremsenbauarten und Anordnungen <i>Brake Constructions And Arrangements</i>	431
5	Kennwerte <i>Parameters</i>	433
6	Bauteile von Bremsanlagen <i>Parts of Braking Systems</i>	438
7	Bremseneinbau <i>Brake Installation</i>	461
8	Auslegungskriterien von Bremsanlagen <i>Dimensioning Criteria</i>	463
9	Normen <i>Standards</i>	463
	Literatur	464
J	Lenkung <i>Steering</i>	465
1	Anforderungen <i>Requirements</i>	465
2	Auslegung <i>Terms</i>	467
2.1	Lenkwinkel, Spurdifferenzwinkel <i>Steer Angle, Ackermann Angle</i>	467
2.2	Kenngößen der Lenkgeometrie <i>Parameters of Steering Geometry</i>	472
2.3	Lenkübersetzung <i>Steering Ratio</i>	478
2.4	Lenkunterstützung <i>Steering Assistance</i>	481
3	Lenkwelle <i>Steering Shaft</i>	482
4	Lenkgetriebe <i>Steering Gear</i>	489
5	Übertragungseinrichtung und Achslager <i>Transmitting Devices And Axle Bearing</i>	498
6	Lenkungsschwingungen <i>Shimmy (Vibrations of the Steering System)</i>	512
7	Allradlenkung <i>Four Wheel Steering</i>	513
	Literatur	514

K	Getriebeauslegung <i>Transmission Calculation</i>	515
1	Leistungsbedarf <i>Power Demand</i>	515
2	Getriebeplan und Zugkraftdiagramm <i>Tractive Effort-Speed Characteristics</i>	523
3	Antriebsstrang Übersicht <i>Drivetrain Overview</i>	531
4	Übersetzungen <i>Gear Ratios</i>	532
	Literatur	543
L	Rennmotoren <i>Competition Engines</i>	545
1	Grundlagen <i>Fundamentals</i>	545
2	Motorenwahl <i>Choice of Engine</i>	555
3	Verluste <i>Losses</i>	562
4	Baugruppen <i>Modules</i>	567
4.1	Zylinderkopf <i>Cylinder Head</i>	569
4.2	Ventiltrieb <i>Valve Train</i>	586
4.3	Kurbeltrieb <i>Cranktrain</i>	597
4.4	Kurbelgehäuse <i>Crankcase</i>	612
4.5	Ansauganlage <i>Induction System</i>	615
4.6	Abgasanlage <i>Exhaust System</i>	644
4.7	Schmierölversorgung <i>Lubrication System</i>	651
4.8	Kühlung <i>Cooling System</i>	657
5	Besonderheiten von Rennmotoren <i>Specialities</i>	663
6	Betriebsstoffe <i>Fuels, Coolants and Lubricants</i>	665
6.1	Kraftstoffe <i>Fuels</i>	665
6.2	Schmierstoffe <i>Lubricants</i>	667
6.3	Kühlflüssigkeit <i>Coolant</i>	667
7	Beispiele von Motoren <i>Examples of Engines</i>	668
	Literatur	674
M	Antriebsstrang <i>Drive Line</i>	677
1	Funktion <i>Function</i>	677
2	Kupplung <i>Clutch</i>	682
2.1	Kupplungsbauarten <i>Types of Clutches</i>	683
2.2	Auswahl der Kupplungsgröße <i>Choice of Clutch Size</i>	693
2.3	Kupplungsbetätigung <i>Clutch Actuation</i>	695
3	Getriebe <i>Gearbox</i>	699
3.1	Schaltgetriebe <i>Mechanical Gearbox</i>	702
3.2	Stufenlosgetriebe (CVT) <i>Continous Variable Transmission</i>	731
3.3	Achsgetriebe <i>Final Drive</i>	732
4	Differenzial <i>Differential</i>	735
4.1	Beeinflussbare Differenziale <i>Controlable Differentials</i>	739
5	Wellen <i>Shafts</i>	747
5.1	Antriebswellen <i>Prop(eller) Shafts AE: Drive Shafts</i>	748
5.2	Seitenwellen <i>Half Shaft, AE: Axle Shafts</i>	755
5.3	Wellengelenke <i>Universal Joints</i>	758
6	Allradantrieb <i>All Wheel Drive</i>	769
6.1	Grundlagen <i>Basics</i>	769
6.2	Renneinsatz <i>Racing</i>	772
6.3	Bauformen <i>Types</i>	773
7	Elektronische Fahrhilfen <i>Electronic Driver Aids</i>	775

8	Hybridantriebe <i>Hybrid Drives</i>	780
9	Elektroantriebe <i>e-Drive</i>	801
9.1	Grundlagen <i>Fundamentals</i>	801
9.2	Antriebskonfigurationen <i>Layouts of Drive Lines</i>	803
9.3	Motoren <i>Motors</i>	804
9.4	Energiespeicher <i>Energy Storage System</i>	819
9.5	Laden <i>Charging</i>	832
9.6	Leistungselektronik <i>Power Electronics</i>	833
9.7	Sicherheit <i>Safety</i>	836
10	Beispiele <i>Examples</i>	841
	Literatur	841
N	Kraftstoffsystem <i>Fuel System</i>	845
1	Anforderungen und Übersicht <i>Requirements and Overview</i>	845
2	Kraftstofftank <i>Fuel Tank</i>	847
2.1	Größe <i>Size</i>	847
2.2	Anordnung <i>Arrangement</i>	848
2.3	Bauformen <i>Designs</i>	849
3	Anschlüsse <i>Connections</i>	852
4	Kraftstoffpumpe <i>Fuel Pump</i>	856
	Literatur	858
O	Rahmen <i>Chassis</i>	859
1	Anforderungen <i>Requirements</i>	859
2	Bauarten <i>Types</i>	860
2.1	Gitterrohrrahmen <i>Tubular Spaceframe</i>	860
2.2	Kastenrahmen <i>Sheet Metal Monocoque</i>	877
2.3	Monocoques aus Faserverbundwerkstoffen <i>Composite Monocoque Chassis</i>	892
3	Festigkeit <i>Strength</i>	903
4	Anbauteile <i>Add-on Parts</i>	906
	Literatur	911
P	Elektrik <i>Electrical System</i>	913
1	Verkabelung Übersicht <i>Wiring Overview</i>	913
2	Batterie <i>Battery</i>	915
3	Generator <i>Alternator</i>	916
4	Leitungen und Verbindungen <i>Leads and Connectors</i>	917
5	Schalter <i>Switches</i>	921
6	Schaltplan <i>Circuit Diagram</i>	922
	Literatur	923
Q	Abstimmung und Entwicklung <i>Set-up and Development</i>	925
1	Einleitung <i>Introduction</i>	925
2	Einflussfaktoren <i>Influencing Factors</i>	926
2.1	Massenreduktion <i>Mass Reduction</i>	926
2.2	Getriebeabstufung <i>Gearing</i>	927
2.3	Fahrwerkabstimmung <i>Chassis Tuning</i>	927
2.4	Aerodynamik <i>Aerodyamics</i>	930
2.5	Motorabstimmung <i>Engine Tuning</i>	931
2.6	Grobabstimmung <i>Coarse Set-Up</i>	932

3	Abstimmung <i>Setup</i>	933
3.1	Geometrisches-Setup <i>Geometric Setup</i>	936
3.2	Basis-Setup <i>Basic Setup</i>	939
3.3	Strecken-Setup <i>Track Setup</i>	943
4	Entwicklung <i>Development</i>	951
4.1	Einwicklungsziele <i>Development Targets</i>	951
4.2	Besondere Entwicklungsziele	958
4.3	Entwicklungswerkzeuge <i>Development Tools</i>	963
	Literatur	1020
	Anhang – Glossar <i>Glossary</i>	1023
	Sachwortverzeichnis <i>Index</i>	1037

Abkürzungen, Formelzeichen und Einheiten

List of Symbols and Units

Im Text angeführte Gleichungen sind im Allgemeinen Größengleichungen. Die Größen können dabei in beliebigen Einheiten eingesetzt werden, vorzugsweise in den SI-Einheiten (Meter-Kilogramm-Sekunden-System). Die Einheit der auszurechnenden Größe ergibt sich dann aus den gewählten Einheiten der Variablen. Manchmal sind auch die in der Praxis gängigen Zahlenwertgleichungen angeführt. Bei diesen stimmt die Gleichung nur, wenn diese mit den angegebenen Einheiten gerechnet wird. Die Einheit der Ergebnisgröße wird demnach im Text ebenfalls angeführt.

Geometrische Punkte *Geometric Points*

<i>B_o</i>	Wagenkastenschwerpunkt <i>body centre of gravity</i>
<i>C</i> bis <i>G</i>	allg. Bezugspunkte <i>reference points, in general</i>
<i>M</i>	Mittelpunkt <i>centre point</i>
<i>O</i>	Nickpol <i>pitch centre</i>
<i>P</i>	Wank- bzw. Rollpol <i>Roll centre</i>
<i>Q</i>	Mitte des Antriebsgelenks <i>centre of driving joint</i>
<i>R_o</i>	Wank- bzw. Rollzentrum <i>roll centre</i>
<i>T</i> und <i>U</i>	Spurstangen- und Gestänge-Gelenkpunkte <i>tie rod or linkage point</i>
<i>U_f</i> bzw. <i>U_r</i>	Radmittelpunkt, vorn bzw. hinten <i>wheel centre point, front or rear</i>
<i>V</i>	Fahrzeugschwerpunkt <i>vehicle centre of gravity</i>
<i>W</i>	Rad- bzw. Reifenaufstandspunkt <i>centre of tyre resp. wheel contact</i>

Indizes *Suffices*

Kommen mehrere Indizes vor, werden diese durch ein Komma getrennt. Die Reihenfolge von Indizes ist diese:

Bei Kräften gibt der erste Index den Ort bzw. Punkt an, an dem die Kraft angreift und der zweite Index die Krafrichtung, z. B. $F_{W,Z}$... Radaufstandskraft (Hochkraft im Reifenaufstandspunkt). Das benutzte fahrzeugfeste Koordinatensystem wird im Glossar definiert.

Zusätzliche Angaben, wie vorne, hinten, angetrieben usw., folgen als weitere Indizes.

a	angetrieben (nur ein Rad) <i>driven, accelerating (one wheel only)</i>
0	vorgegebene Nulllage bzw. Ausgangswert. Umgebung <i>zero-point position or starting point. Ambient</i>
1	nach oben/in Druckrichtung/ein- <i>to the top/in jounce/in compression/in</i>
2	nach unten/in Zugrichtung/aus- <i>to the bottom/in rebound/out</i>
A	anfahrend, angetrieben (eine Achse) <i>drive-off condition, accelerating (one axle)</i>
A	Ackermannwinkel <i>Ackermann steering angle</i>
ax	axial <i>axial</i>
b	Biege-, Biegung <i>bending</i>
b	bremsend (nur ein Rad) <i>braking (one wheel only)</i>
B	bremsend (eine Achse) <i>braking (one axle)</i>
Ba	Stabilisatorrücken <i>stabiliser bar</i>
Bd	Bremsscheibe <i>brake disc</i>
Bl	Stabilisatorschenkel <i>blade of anti-roll bar</i>
Bo	Wagenkasten <i>body</i>
Bt	Batterie <i>battery</i>
c	Trägheit <i>inertia</i>
C	Kühlmittel <i>coolant</i>
C	(Elektro-)Motorsteuerung <i>motor controller</i>
Ca	Vergaser <i>carburettor</i>
cl	Kupplung <i>clutch</i>
co	Kurvenfahrt <i>cornering</i>
D	Dämpfung <i>damping</i>
D bzw. d	Achsantrieb (Differenzial) <i>axle drive (differential)</i>
dr	Widerstand- <i>drag</i>
dyn	dynamisch <i>dynamic</i>
e (Fahrwerk)	elastizitätsbedingt <i>due to the elasticity (compliances)</i>
e (Motor)	effektiv <i>effective</i>
Ex	Überschuss- <i>excess</i>
f	vorn <i>front</i>
f	Ständer (Stator) <i>stator</i>
F	Fehler <i>fault</i>
fix	Fest-, Tot- <i>fixed, idle</i>
fr	Reibung <i>friction</i>
G	Getriebe <i>gearbox</i>
Ga	Gas <i>gas</i>
H	Lenkrad <i>steering wheel</i>
h	Haupt- <i>master-</i>
hyd	hydraulisch <i>hydraulic</i>
i	kurveninnen, innen <i>inner wheel, inner</i>
Ic	Ladeluftkühler <i>inter cooler</i>
id	idealer Wert <i>ideal value</i>
k	kinematisch (infolge Radhubkinematik) <i>kinematic (due to wheel travel)</i>
K	Kraftstoff <i>fuel</i>
krit	kritisch <i>critical</i>
kb	Randstein <i>curb</i>
L	Luft- <i>aerodynamic</i>
l	links <i>left, left side</i>

lo	Gleiten bzw. Blockieren <i>slipping, lock resp.</i>
ls	Verlust <i>loss</i>
m	Masse <i>mass</i>
M	Motor <i>engine resp. motor</i>
m bzw. med	mittel <i>middle, mean</i>
max	maximal bzw. zul. Größtwert <i>maximum permissible</i>
min	minimal <i>minimum</i>
n	Nennwert <i>rated value</i>
N	Saugmotor <i>naturally aspirated engine</i>
No	Nocke <i>cam</i>
o	kurvenaußen, außen <i>outer wheel, outer</i>
p	Fahrer <i>driver</i>
Pi	Kolben <i>piston</i>
pl	Konstruktionslage (teilbeladen) <i>design position (partial loaded)</i>
Pr	Kolbenstange <i>piston rod</i>
q	Steigung- <i>gradient-</i>
r	hinten <i>rear</i>
R	Rollen des Rades (Abrollen) <i>rolling (wheel)</i>
R	Rotor (Läufer) <i>rotor</i>
rad	radial <i>radial</i>
Rd	Stab bzw. Stange <i>rod, linkage resp.</i>
Re	Rest- <i>residual</i>
ref	Bezug- <i>reference ~</i>
rs	rechts <i>right, right side</i>
Rs	Restriktor <i>restrictor</i>
rsl	resultierend <i>resulting</i>
S	Lenken <i>steering</i>
S	Stabilisator <i>anti roll bar</i>
Sp	Feder <i>spring</i>
t	gesamt bzw. Nennwert <i>total, nomial value resp.</i>
T	turboaufgeladener Motor <i>turbocharged engine</i>
tan	tangential <i>tangent</i>
ts	Torsion- <i>torsional</i>
T	Reifen <i>tyre</i>
tc	Wendekreis <i>turning circle</i>
U	ungefederte Masse bzw. Achse <i>unsprung weight or axle</i>
ul	unbeladen (Zustand leer) <i>unloaded (empty condition)</i>
V	(Gesamt-) Fahrzeug <i>overall vehicle</i>
v	Ventil <i>valve</i>
W	Rad <i>wheel</i>
X bzw. x	Koordinatenrichtung längs allgemein <i>longitudinal direction in general</i>
Y bzw. y	Koordinatenrichtung quer (seitlich) <i>lateral direction</i>
Z bzw. z	Koordinatenrichtung vertikal (senkrecht) <i>vertical direction</i>
Z (Motor)	Zylinderbuchse <i>cylinder liner</i>

Strecken Distances (in mm)

a bis p	Strecken und Längen (allg.) <i>distances and length (in general)</i>
a	Achsabstand (Getriebe) <i>centre distance (transmission)</i>
b_f bzw. b_r	Spurweite, vorn bzw. hinten <i>track width, front or rear</i>
Δb	Spurweitenänderung <i>track-change</i>
B	Bohrung(sdurchmesser) <i>bore (diameter)</i>
B_t	Fahrzeuggesamtbreite <i>overall width of the vehicle</i>
c	Sehnenlänge eines Flügels <i>chord length of a wing</i>
C_R	Abrollumfang des Reifens bei 60 km/h <i>dynamic rolling circumference at 60 kph</i>
$C_{R,dyn}$	Abrollumfang des Reifens bei höheren Geschwindigkeiten <i>dynamic rolling circumference at top speed</i>
d bzw. D	Durchmesser (allgemein) <i>diameter, in general</i>
D_S	Spurkreisdurchmesser (vorn) <i>track circle diameter (front)</i>
$D_{S,r}$	Spurkreisdurchmesser, hinten <i>track circle diameter, rear</i>
D_{tc}	Wendekreisdurchmesser <i>turning circle diameter, wall to wall</i>
e	Einpresstiefe Rad <i>wheel offset</i>
e_R	Vertikalkraftversatz am rollenden Reifen <i>offset of vertical force at rolling tyre</i>
f	Schrägfederungsweg <i>diagonal spring travel</i>
f	Wölbung eines Flügels <i>convexity</i>
h bzw. H	Höhe bzw. Hubhöhe (allgemein) <i>height, in general</i>
H_t	Fahrzeug-Gesamthöhe <i>overall height of the vehicle</i>
h_{Bo}	Höhe des Wagenkastenschwerpunktes <i>height of body centre of gravity</i>
$h_{Ro,f}$ bzw. $h_{Ro,r}$	Höhe des Rollzentrums der Vorderachse bzw. der Hinterachse <i>height of roll centre at front or rear axle</i>
h_{ref}	Bodenabstand <i>ride height</i>
h_{Sg}	Hub des Lenkgetriebes (Zahnstangen-Lenkgetriebe) <i>travel of steering gear (rack and pinion)</i>
h_{ul}	Höhe des leeren Fahrzeugs <i>height of the unloaded vehicle</i>
h_V	Höhe des Fahrzeugschwerpunktes <i>height of the vehicle center of gravity</i>
h_v	Ventilhub <i>valve travel</i>
j	Abstand der Lenkachsen am Boden <i>distance between the two steering axis at the ground</i>
l	Radstand <i>wheelbase</i>
$l_{Bo,f}$ bzw. $l_{Bo,r}$	Abstand des Wagenkastenschwerpunktes zu Mitte Vorder- bzw. Hinterachse <i>distance of body centre of gravity to the middle of the front or rear axle</i>
l_f bzw. l_r	Abstand des Fahrzeugschwerpunktes zu Mitte Vorder- bzw. Hinterachse <i>distance of vehicle centre of gravity to middle of front or rear axle</i>
l_{Rd}	(Pleuel-)Stangenlänge <i>length of conrod</i>
L_{fix}	Stoßdämpfertotlänge <i>idle (fixed) length of the shock absorber</i>
L_t	Fahrzeuggesamtlänge <i>total length of the vehicle</i>
n_τ	Nach- bzw. Vorlaufversatz <i>caster offset at wheel centre</i>
$n_{\tau,k}$	kinematischer Seitenkrafthebelarm bei Nachlauf <i>kinematic lateral force lever arm due to caster</i>
$n_{\tau,t}$	Seitenkrafthebelarm, insgesamt <i>lateral force arm, in total</i>

OD_T	Außendurchmesser des Reifens <i>outer diameter of the tyre</i>
q	Lenk- bzw. Hochkrafthebelarm, Radlasthebelarm <i>force lever of vertical force</i>
r	Lenker-, Spurhebellänge bzw. Hebelarm (allg.) <i>effective control arm length or force lever in general</i>
r_a	Stör-, Längs- bzw. Antriebskrafthebelarm <i>deflection force lever arm</i>
r_b	Bremskrafthebelarm <i>force lever of brake</i>
r_{dyn}	dynamischer Reifenhalmmesser bei 60 km/h <i>force dynamic rolling radius of the tyre at 60 kph</i>
r_{stat}	statischer Reifenhalmmesser (stehendes Fahrzeug) <i>static loaded radius of the tyre</i>
r_T	Seitenversatz in der Reifenaufstandsfläche kurveninnen (+) bzw. -außen (-) <i>force offset in the centre of tyre contact (+) inside or (-) outside of curve</i>
r_{Δ}	statische Vorspur eines Rades <i>static toe-in (one wheel only)</i>
$r_{\Delta,t}$	statische Vorspur beider Räder einer Achse <i>total static toe-in (both wheels of one axis)</i>
r_{σ}	Lenkrollhalmmesser (statisch) <i>scrub radius, static</i>
$r_{\sigma,t}$	gesamter Lenkrollhalmmesser <i>total transverse offset at ground</i>
$r_{\tau,e}$	elastokinematischer Nachlauf <i>elastokinematic caster offset at ground</i>
$r_{\tau,k}$	kinematische Nach- bzw. Vorlaufstrecke <i>kinematic caster offset at ground</i>
$r_{\tau,t}$	gesamte Nachlaufstrecke des Rades <i>total caster offset at ground</i>
$r_{\tau,T}$	Reifennachlauf <i>pneumatic trail</i>
R	Bahnradius <i>path radius</i>
s	Weg bzw. Hub (allg.) <i>travel or stroke, in general</i>
s	Spannweite eines Flügels <i>span of a wing</i>
s_{Re}	Resthubweg beim Ein- bzw. Ausfedern eines Rades <i>residual wheel travel</i>
s_t	gesamter Radhubweg („Federweg“) <i>total wheel travel</i>
s_T	statische Reifeneindrückung <i>static tyre deflection</i>
s_1	Hubweg des Rades beim Einfedern <i>wheel travel in jounce</i>
s_2	Hubweg des Rades beim Ausfedern <i>wheel travel in rebound</i>
t	Dicke, Wandstärke (wall) <i>thickness</i>
t	Profildicke eines Flügels <i>maximum thickness airfoil</i>

Winkel Angle (in °)

α	Steigungswinkel der Fahrbahn <i>angle of gradient of the road</i>
α	Anstellwinkel eines Flügels <i>angle of attack</i>
α_f bzw. α_r	Reifenschräglaufwinkel an einem Vorder- bzw. Hinterreifen <i>slip angle of front or rear tyre</i>
β	Ventilsitzwinkel <i>valve seat angle</i>
β	Winkel allgemein <i>angle, in general</i>
γ	Schwimmwinkel <i>sideslip angle (attitude angle)</i>
χ	Anfahrabstützwinkel bzw. Schrägfederungswinkel <i>acceleration reaction support resp. diagonal springing angle</i>
δ	Lenkwinkel <i>steered angle</i>
$\delta_{A,o}$	Lenkwinkel, kurvenaußen, Sollwert nach Ackermann <i>Ackermann steer angle, nomial value outer wheel</i>

δ_H	Lenkradwinkel <i>steering wheel angle</i>
δ_m	mittlerer Lenkwinkel <i>mean steer angle</i>
δ_i bzw. δ_o	Lenkwinkel, Istwert kurveninnen bzw. -außen <i>actual steer angle, inner or outer wheel</i>
δ_r	Vorspurwinkel Hinterrad <i>toe in angle at rear wheel</i>
δ_{sg}	Drehwinkel des Lenkstockhebels <i>turn angle of steering-column stalk</i>
$\delta_{V,0,t}$	statischer Vorspurwinkel beider Räder <i>total static toe angle</i>
$\Delta\delta$	Lenk- bzw. Spurdifferenzwinkel (Istwert) <i>differential steer angle (actual value)</i>
$\Delta\delta_A$	Lenkdifferenzwinkel nach Ackermann (Sollwert) <i>differential steer angle according to Ackermann (nominal value)</i>
$\Delta\delta_F$	Lenkabweichung (Lenkfehler) <i>steering flaw</i>
$\Delta\delta_{H,e}$	Lenkwinkeländerung am Lenkrad durch Elastizitäten <i>part of steering-wheel angle due to compliances</i>
$\Delta\delta_H$	Lenkwinkelbereich am Lenkrad <i>range of steering wheel angle</i>
ε bzw. ε_W	Sturzwinkel eines Rades <i>camber angle</i>
ε	Bremsabstützwinkel <i>brake reaction support angle</i>
φ	Wankwinkel des Wagenkastens <i>body roll angle</i>
λ	Spurhebelwinkel <i>steering arm angle</i>
σ	Spreizung <i>kingpin inclination angle</i>
τ	Nach- bzw. Vorlaufwinkel der gelenkten Vorderräder <i>caster angle of the steered front wheels</i>
τ_r	imaginärer Nach- bzw. Vorlaufwinkel der ungelenkten Hinterräder <i>virtual caster angle of the unsteered rear wheels</i>
Ψ	Gierwinkel (Drehwinkel um Hochachse) <i>yaw angle</i>

Massen, Gewichte *Masses, Weights (in kg)*

m	Masse, Gewicht bzw. Last, allg. <i>mass, weight or load in general</i>
m_{Bo}	Gewicht des Aufbaus <i>vehicle body weight</i>
$m_{Bo,f}$ bzw. $m_{Bo,r}$	Gewichtsanteil des Aufbaus über der Vorder- bzw. Hinterachse <i>part of body mass on front or rear</i>
$m_{U,f}$ bzw. $m_{U,r}$	Gewicht der (ungefederten) Achsmassen, vorn bzw. hinten <i>unsprung axle mass, front or rear</i>
m_V	Eigengewicht des fahrbereiten Fahrzeugs <i>weight of driveable vehicle</i>
$m_{V,dr}$	Leergewicht des Fahrzeugs in fahrbereitem Zustand, einschl. Fahrer <i>weight of driveable vehicle (with driver)</i>
$m_{V,f}$ bzw. $m_{V,r}$	gewogene Achslast, vorn bzw. hinten <i>axle load, front or rear</i>
$m_{V,f,pl}$ bzw. $m_{V,r,pl}$	Achslast in Konstruktionslage (teilbeladen), vorn bzw. hinten <i>partial axle load (design load), front or rear</i>
$m_{V,t}$	Gesamtgewicht des Fahrzeugs <i>gross vehicle weight</i>
m_W	Gewicht eines Rades <i>weight of one wheel</i>
$m_{1,Bo,f}$ bzw. $m_{1,Bo,r}$	Gewichtsanteil des Aufbaus über nur einer Achsseite, vorn bzw. hinten <i>part of body mass on one side of the front or rear axle</i>

$m_{1,U,f}$ bzw. $m_{1,U,r}$	Gewicht einer Achsseite, vorn bzw. hinten <i>weight of one side of front or rear axle</i>
$m_{1,V,f}$ bzw. $m_{1,V,r}$	Radlast vorn bzw. hinten <i>wheel load front or rear</i>

Kräfte Forces (in N)

ΔF	Kraftänderung <i>change of force</i>
F_B	Gesamtbremskraft aller Räder <i>total brake force of all wheels</i>
F_D	Dämpfungskraft <i>damping force</i>
$F_{c,Bo}$	Fliehkraft, angreifend am Aufbau- bzw. Fahrzeugschwerpunkt <i>centrifugal force at the body centre or vehicle</i>
F_{fr}	Reibungskraft, bezogen auf ein Bauteil bzw. eine Achsseite <i>friction force in general or related to one side of the axle</i>
F_H	Lenkradkraft <i>steering-wheel force</i>
F_L	Luftwiderstandskraft <i>aerodynamic drag</i>
$F_{L,Z}$	aerodynamische Abtriebskraft <i>aerodynamic downforce</i>
F_O	Kraft am Nickpol <i>force at pitch centre</i>
F_{Pi}	Kolbenstangen-Ausfahr- bzw. Hilfskraft <i>piston rod extensive or aid force</i>
F_{rsl}	resultierende Kraft <i>resulting force</i>
F_R	Rollwiderstandskraft am Reifen <i>rolling resistance of the tyre</i>
F_{Sp}	Federkraft, bezogen auf eine Achsseite <i>spring force, one side of the axle</i>
F_T	Spurstangen- bzw. Stabkraft <i>tie rod or push rod force</i>
$F_{Bo,X,B,f}$ bzw. $F_{Bo,X,B,r}$	Bremskraftanteil, bezogen auf den Wagenkasten, vorn bzw. hinten <i>brake reaction force to the body, front or rear</i>
$F_{V,X,ex}$	Überschusskraft <i>excess force</i>
$F_{V,X,A}$	Zugkraft <i>traction force</i>
$F_{U,X,B,f}$ bzw. $F_{U,X,B,r}$	Bremskraftanteil, bezogen auf eine Achse, vorn bzw. hinten <i>brake reaction force to the front or rear axle</i>
$F_{V,X,B}$	Bremskraft, angreifend im Schwerpunkt des Gesamtfahrzeugs <i>brake force at the centre of gravity of the vehicle</i>
$F_{W,X,a}$ bzw. $F_{W,X,A}$	Antriebskraft am Aufstandspunkt eines Rades (a) bzw. beider Räder einer Achse (A) <i>accelerating force in the centre of tyre contact of one wheel (a) or both wheels (A)</i>
$F_{W,X,b}$	Bremskraft am Aufstandspunkt eines Rades <i>brake force in the centre of tyre contact of one wheel</i>
$F_{W,X,B,f}$ bzw. $F_{W,X,B,r}$	Bremskraft beider Räder vorne bzw. hinten <i>brake reaction force to the front or rear axle</i>
$F_{T,Y,\epsilon}$	Sturzseitenkraft <i>lateral force due to camber</i>
$F_{V,Y}$	Quer-(Seiten-)kraft am Fahrzeugschwerpunkt <i>lateral force at vehicle</i>
$F_{W,Y}$	Quer-(Seiten-)kraft am Radaufstandspunkt <i>lateral force at wheel</i>
$F_{Bo,Z}$	Gewichtskraft des Wagenkastens <i>static body weight (force)</i>
$F_{Bo,Z,B,f}$ bzw. $F_{Bo,Z,B,r}$	den Wagenkasten beim Bremsen abstützende oder herunterziehende Kraft, vorn bzw. hinten <i>body lift or dive differential force during braking, front or rear</i>
$F_{U,Z,f}$ bzw. $F_{U,Z,r}$	Gewichtskraft der Achsmasse, vorn bzw. hinten <i>weight (force) of front or rear axle</i>

$\Delta F_{V,Z}$	dynamische Achskraft- bzw. Achslastverlagerung (beide Räder) <i>axle load transfer</i>
$F_{V,Z,f}$ bzw. $F_{V,Z,r}$	Achslast vorn bzw. hinten <i>axle load front or rear</i>
$F_{V,Z,f,dyn}$ bzw. $F_{V,Z,r,dyn}$	dynamische Achskraft vorn bzw. hinten <i>dynamic axle load, front or rear</i>
$F_{V,Z,t}$	Gewichtskraft des Gesamtfahrzeugs <i>cross vehicle weight</i>
$F_{W,Z}$	Hochkraft am Radaufstandspunkt (Radlast) <i>vertical force at the centre of tyre contact</i>
$\Delta F_{W,Z}$	Radlaständerung (nur ein Rad) <i>change of vertical force at one wheel</i>
F_1	Druckkraft beim Einfederhub <i>compressive force</i>
F_2	Zugkraft beim Ausfederhub <i>rebound force</i>

Momente *Torques and Moments (in Nm)*

M_a bzw. M_A	Antriebsmoment an einem Rad (a) bzw. einer Achse (A) <i>driving torque to one wheel (a) or axle (A)</i>
M_b bzw. M_B	Bremsmoment an einem Rad (b) bzw. einer Achse (B) <i>braking torque applied to one wheel (b) or axle (B)</i>
M_b	Biegemoment <i>bending moment</i>
M_H	Lenkradmoment <i>steering wheel torque</i>
M_M	Motormoment <i>engine torque</i>
M_v	Vergleichsmoment <i>comparative torque</i>
M_W	Reifenrückstellmoment (durch Seitenkraft) <i>self-aligning torque</i>
M_{fr}	Reibmoment <i>moment of friction</i>
M_{Sg}	Moment am Lenkgetriebe <i>torque at steering gear</i>
T	Torsionsmoment allgemein <i>torsional moment in general</i>

Federraten *Spring Rates (in N/mm)*

c_f bzw. c_r	Rate der Aufbaufeder bei gleichseitiger Federung, bezogen auf den Radaufstandspunkt einer Achsseite, vorn bzw. hinten <i>rate of the body supporting spring at parallel springing, related to the center of tyre contact of one axle side, front or rear</i>
c_S	Rate des Stabilisators selbst, bei wechselseitiger Federung <i>rate of the anti roll bar at reciprocal springing</i>
$c_{S,\varphi}$	Rate des Stabilisators, bezogen auf den Radaufstandspunkt <i>rate of the anti roll bar related to the centre of tyre contact</i>
c_{SP}	Federrate <i>static rate of the spring</i>
$c_{\varphi,f}$ bzw. $c_{\varphi,r}$	vordere bzw. hintere Rate der Aufbaufeder bei wechselseitiger Federung, bezogen auf den Radaufstandspunkt <i>front or rear rate of the body supporting spring at reciprocal springing related to the centre of tyre contact</i>

(in Nm/°)

c_α	Federrate einer Drehstabfeder allgemein <i>rate of torsional bar</i>
$c_{Ro,S,f}$	auf die Vorderachse bezogene Wanksteifigkeit des Stabilisators vorne <i>roll stiffness of anti roll bar acting on front axle</i>
$c_{Ro,f}$	gesamter Wankwiderstand der Vorderachse <i>roll stiffness front axle</i>

Dimensionslose Kennzahlen

c_A	Abtriebsbeiwert <i>downforce coefficient</i>
c_W	Luftwiderstandsbeiwert <i>drag coefficient</i>
i	Taktzahl <i>factor representing number of strokes of engine</i>
i_D	Übersetzung im Achsantrieb <i>axle ratio</i>
i_G	Getriebeübersetzung <i>gearbox ratio</i>
i_m	Achslastverhältnis vorne/hinten <i>axleload ratio front/rear</i>
i_S	kinematische Lenkübersetzung <i>overall kinematic steering ratio</i>
i_{Sg}	Übersetzung im Lenkgetriebe selbst <i>steering gear ratio</i>
i_{Sp}	Übersetzung Rad zu Feder <i>ratio of spring to wheel</i>
i_T	Lenkgestängeübersetzung <i>ratio of steering linkage</i>
j	Anzahl allgemein <i>number in general</i>
k	Korrekturfaktor für Reifensteifigkeit <i>correction factor for tyre stiffness</i>
k_A	Flächenverhältnis eines Diffusors <i>area ratio of a diffuser</i>
k_B	Bremsenkennwert <i>brake coefficient</i>
k_{Ca}	Korrekturfaktor für Vergaser <i>correction factor for carburettor</i>
k_m	Drehmassenzuschlagfaktor <i>factor representing rotating masses</i>
k_p	Korrekturfaktor für Reifenfülldruck wegen Radsturz <i>correction factor for tyre pressure because of camber</i>
k_Q	Korrekturfaktor für Tragfähigkeit wegen Radsturz <i>correction factor for load capacity because of camber</i>
k_R	Rollwiderstandszahl bei Geradeausfahrt <i>rolling resistance coefficient</i>
$k_{R,0}$	Rollwiderstandsbeiwert auf der Prüfstandstrommel <i>rolling resistance coefficient measured on a tyre test rig</i>
k_{dyn}	dynamischer Überhöhungsfaktor (Kupplung) <i>dynamic amplifying factor</i>
k_α	Schräglaufwiderstandsbeiwert <i>factor for tyre slip resistance</i>
k_χ	Anfahrnickausgleich <i>anti-squat coefficient</i>
$k_{\epsilon,f}$ bzw. r	Bremsnickausgleich vorne bzw. hinten <i>anti-dive coefficient</i>
k_ϕ	Progressionsfaktor für Stufensprung <i>factor for progressive ratio of speed</i>
K_f	Kerbwirkungszahl <i>notch factor</i>
L_{min}	Luftbedarf <i>air requirement</i>
n	Zählindex <i>numbering index</i>
$S_{W,X,a}$ bzw. $S_{W,X,b}$	Umfangsschlupf beim Beschleunigen bzw. Bremsen <i>longitudinal slip under accelerating or braking</i>
u	Zähnezahlverhältnis <i>gear ratio</i>
z (Fahrwerk)	Abbremsung <i>braking factor</i>
z (Motor)	Anzahl der Zylinder <i>number of cylinders</i>

α_0	Anstrengungsverhältnis <i>factor representing different load cases</i>
λ	Luftzahl <i>air-fuel-ratio</i>
η	Gesamtwirkungsgrad Getriebe und Achsantrieb <i>total efficiency of geartrain and final drive</i>
η_{cl}	Wirkungsgrad der Energieumwandlung (Kupplung) <i>efficiency of energy transformation (clutch)</i>
η_G	Gütegrad der Seitenkraftverteilung <i>efficiency of lateral force proportioning</i>
λ_a	Luftaufwand <i>charging efficiency</i>
λ_{Rd}	(Pleuel-)Stangenverhältnis <i>stroke-to-conrod ratio</i>
η_e	effektiver Wirkungsgrad <i>effective efficiency</i>
Φ	Stufensprung der Getriebeübersetzung <i>gradation of ratio of speed</i>
Φ_f bzw. Φ_r	Vorder- bzw. Hinterachsbremskraftanteil <i>brake force fraction front or rear</i>
Φ_L	Verhältnis der Einlassdauer zu einer Kurbelwellendrehung <i>ratio intake period to one revolution of crankshaft</i>
Φ_{Sp}	Verhältnis der radbezogenen Federraten vorne/hinten <i>ratio of wheel spring rates front/rear</i>
λ_l	Liefergrad <i>volumetric efficiency</i>
Λ	Seitenverhältnis eines Flügels <i>aspect ratio of a wing</i>
$\mu_{w,x}$	Haftreibungszahl in Längsrichtung <i>coefficient of friction in longitudinal direction</i>
$\mu_{w,y}$	Haftreibungszahl in Querrichtung <i>coefficient of friction in lateral direction</i>
μ_L	Lagerreibungszahl <i>coefficient of friction for bearing</i>
μ_{cl}	Reibungszahl der Kupplungsscheiben <i>friction coefficient of clutch discs</i>
ν	Antriebsmomentenverteilung vorne/hinten <i>bias of driving torque front/rear</i>

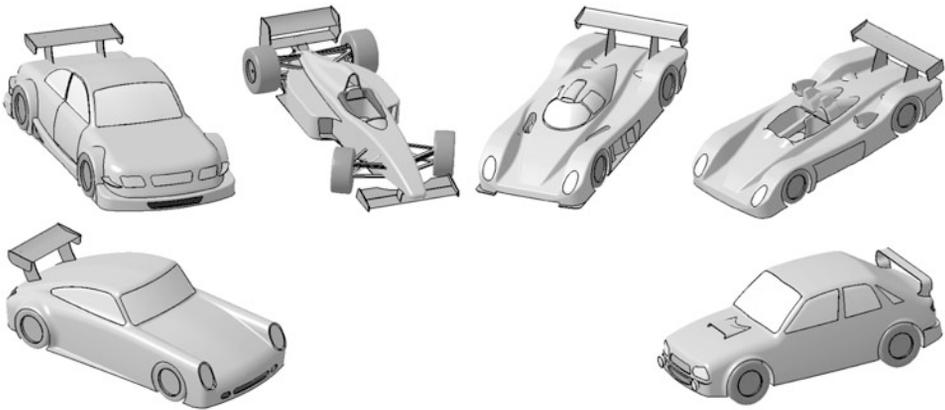
Sonstige Größen

θ	Celsius-Temperatur <i>Celsius temperature</i> ($^{\circ}\text{C}$)
ω	Kreisfrequenz, Winkelgeschwindigkeit <i>circular frequency</i> (s^{-1})
ρ	Dichte allgemein <i>density</i> (kg/m^3)
σ	(Normal)Spannung <i>stress</i> (N/m^2)
τ	Schubspannung <i>shear stress</i> (N/m^2)
ρ_L	Dichte der Luft <i>density of air</i> (kg/m^3)
A	Fläche <i>area, cross-section area</i> (m^2)
A_5	Bruchdehnung <i>ductile yield, elongation at rupture</i> (%)
a_x	Längsbeschleunigung allg. <i>longitudinal acceleration in general</i> (m/s^2)
a_y	Querbeschleunigung <i>lateral acceleration</i> (m/s^2)
b_e	spezifischer Kraftstoffverbrauch <i>specific fuel consumption</i> (kg/kWh)
B	magnetische Flussdichte <i>density of magnetic flux</i> (T)
c_B	Brenngeschwindigkeit <i>burn rate</i> (m/s)
c_F	Flammenfrontgeschwindigkeit <i>speed of flame front</i> (m/s)
C_S	Lenkungssteifigkeit <i>stiffness of the steering system</i> (Nm/rad)
c_s	Schallgeschwindigkeit <i>sonic speed</i> (m/s)
c_T	Transportgeschwindigkeit <i>speed of transport</i> (m/s)
E	Elastizitätsmodul, E-Modul <i>modulus of elasticity, Young's modulus</i> (N/mm^2)
f	Frequenz <i>frequency</i> (Hz)

g	Erdbeschleunigung <i>acceleration due to gravity</i> (m/s^2)
G	Schubmodul <i>shear modulus</i> (N/m^2)
H_G	Gemischheizwert <i>calorific value of mixture</i> (J/m^3)
H_u	spezifischer Heizwert <i>specific calorific value</i> (J/kg)
I	axiales Flächenträgheitsmoment <i>area moment of inertia</i> (mm^4)
I	(elektrischer) Strom (<i>electric</i>) current (A)
$J_{\text{Bo},X}$	Massenträgheitsmoment des Wagenkastens um die X-Achse <i>dynamic moment of inertia of body around the longitudinal axis</i> (kg m^2)
$J_{\text{Bo},Y}$	Massenträgheitsmoment des Wagenkastens um die Y-Achse <i>dynamic moment of inertia of body around the transverse axis</i> (kg m^2)
$J_{V,Z}$	Massenträgheitsmoment des Gesamtfahrzeugs um die Z-Achse <i>dynamic moment of inertia of vehicle around the vertical axis</i> (kg m^2)
k	Wärmedurchgangszahl <i>heat transfer coefficient</i> ($\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$)
k_D	Dämpfungsfaktor <i>damping value</i> (Ns/m)
N	spezifische Bremsleistung <i>specific stopping power</i> (kW/cm^2)
n	Dreh- bzw. Schwingungszahl <i>revolutions per minute or vibration frequency</i> (min^{-1})
n	Polytropenexponent <i>polytropic exponent</i> (-)
n_{krit}	biegekritische Drehzahl <i>critical rotational speed for bending, whirling speed</i> (min^{-1})
$n_{\text{krit},ts}$	verdrehkritische Drehzahl <i>critical rotational speed for torsion</i> (min^{-1})
P_e	effektive Motorleistung <i>effective power of engine</i> (kW)
p_{hyd}	hydraulischer Druck <i>hydraulic pressure</i> (N/cm^2)
P_{ls}	Verlustleistung <i>power loss</i> (W)
$p_{\text{m,e}}$	effektiver Mitteldruck <i>mean effective pressure</i> (bar)
p_T	Luftdruck im Reifen <i>tyre pressure</i> (bar)
p_0	Umgebungsdruck (Luftdruck) <i>ambient pressure</i> (bar)
q	Steigung <i>gradient</i> (%)
\dot{Q}	Wärmestrom <i>heat flow</i> (W)
R_e	Streckgrenze <i>yield strength</i> (N/m^2)
R_L	Gaskonstante der Luft <i>gas constant of air</i> ($\text{kJ}/(\text{kg K})$)
R_m	Zugfestigkeit <i>ultimate tensile strength</i> (N/m^2)
$R_{p0,2}$	0,2 %-Dehngrenze <i>0.2 % yield strength</i> (N/m^2)
T	Temperatur (absolute) <i>thermodynamic temperature</i> (K)
t	Zeit <i>time</i> (s)
U	(elektrische) Spannung (<i>electric</i>) voltage (V)
v_L	Anströmgeschwindigkeit der Luft <i>air flow velocity</i> (m/s)
v_V bzw. v_X	Fahrzeuggeschwindigkeit <i>longitudinal velocity</i> (m/s bzw. km/h)
v_D	Kolbengeschwindigkeit im Stoßdämpfer <i>piston velocity in shock absorber</i> (m/s)
V	Volumen <i>volume</i> ($l = \text{dm}^3$)
V_c	Kompressionsvolumen <i>compression volume</i> ($l = \text{dm}^3$)
V_h	Hubvolumen eines Zylinders <i>swept volume of one cylinder</i> ($l = \text{dm}^3$)
V_H	Hubvolumen des Motors <i>swept volume of engine</i> ($l = \text{dm}^3$)
v_m	mittlere Kolbengeschwindigkeit <i>mean piston velocity</i> (m/s)
v_W	Radumfangsgeschwindigkeit <i>circumferential tyre velocity</i> (m/s)
W	axiales Widerstandsmoment <i>section modulus under bending</i> (m^3)
W	Arbeit <i>work</i> (J)

Sonstige Abkürzungen

UT	Unterer Totpunkt <i>bottom dead centre</i>
OT	Oberer Totpunkt <i>top dead centre</i>
Es	Einlass schließt <i>intake closes</i>
Eö	Einlass öffnet <i>intake opens</i>
As	Auslass schließt <i>exhaust closes</i>
Aö	Auslass öffnet <i>exhaust opens</i>
FVW	Faserverbundwerkstoff <i>fibre composite material</i>
Nfz	Nutzfahrzeug <i>commercial vehicle</i>
Pkw	Personenkraftwagen <i>passenger car</i>



1 Arten von Rennfahrzeugen *Types of Race Cars*

Unter Motorsport werden alle mit motorgetriebenen Land- oder Wasserfahrzeugen betriebenen Sportarten (Automobil-, Motorrad-, Motorbootsport) verstanden. Zum Automobilsport u. a. Straßenrennsport (Racing), Rallye- und Tourenwagensport, Auto- und Rallyecross und Kfz-Veteranensport; zum Motorradsport gehören u. a. Straßenrennsport (Racing), Leistungsprüfungssport (Enduro), Speedway und Eisspeedway; zum Motorbootsport Motorbootrennsport (Regatten auf einem durch Wendebojen markierten Rundkurs von 1500 bis 2000 m Länge in mehreren Läufen) und Offshoresport, im weiteren Sinn auch der Wasserskisport. Im Folgenden sollen mehrspurige Wettbewerbsfahrzeuge im Mittelpunkt der Betrachtungen stehen, Abb. A.1.

Eine allgemeingültige Einteilung der Wettbewerbsfahrzeuge allein nach Bewerben oder Fahrzeugtypen lässt sich nicht darstellen. Zu vielfältig sind die Starterfelder bzw. die technischen Vorgaben einzelner Reglements. Es lassen sich jedoch unabhängig von Bewerbsarten einige typische Fahrzeuge nach technischen Gesichtspunkten kategorisieren, Abb. A.2. Cupfahrzeuge auf Straßenfahrzeugbasis, Rallyefahrzeuge auf Straßenfahrzeugbasis, zweisitzige Sportprototypen, die nur zu Rennzwecken gebaut werden, einsitzige Rennfahrzeuge (Monoposti) mit offenem Cockpit sowie freistehenden Rädern und Tourenwagen.

Diesen Fahrzeugen können einzelne Bewerbe zugeordnet werden:

Cup-Fahrzeuge: Caterham Hankook, Clio Cup, Ford Fiesta Cup, GTM Serien, Lupo Cup, Mini Challenge, Polo Cup, Porsche Cup, Porsche Super Cup, Seat Leon SC, Yaris Cup etc.

Rallyefahrzeuge: Berg rallye, nationale Meisterschaften, HJS Rallye, Weltmeisterschaft, etc.

Sportprototypen: 24 Stunden von Le Mans, ALMS (American Le Mans Series), FIA GT, Radical Race Cup, Rhino's GT Serie, Sebring etc.

Formelwagen: A1 GP Serie, F3 Euro Series, Formel 1, Formel 2000 (ehemals Easter), Formel 3, Formel BMW (ehemals ADAC), Formel Ford, Formel König (Serie beendet), Formel Opel, Formel Renault, Formel Renault EM, Formel Renault V6, Formula Student, Formel V, Lista Formel Junior, Recaro F3 Cup etc.

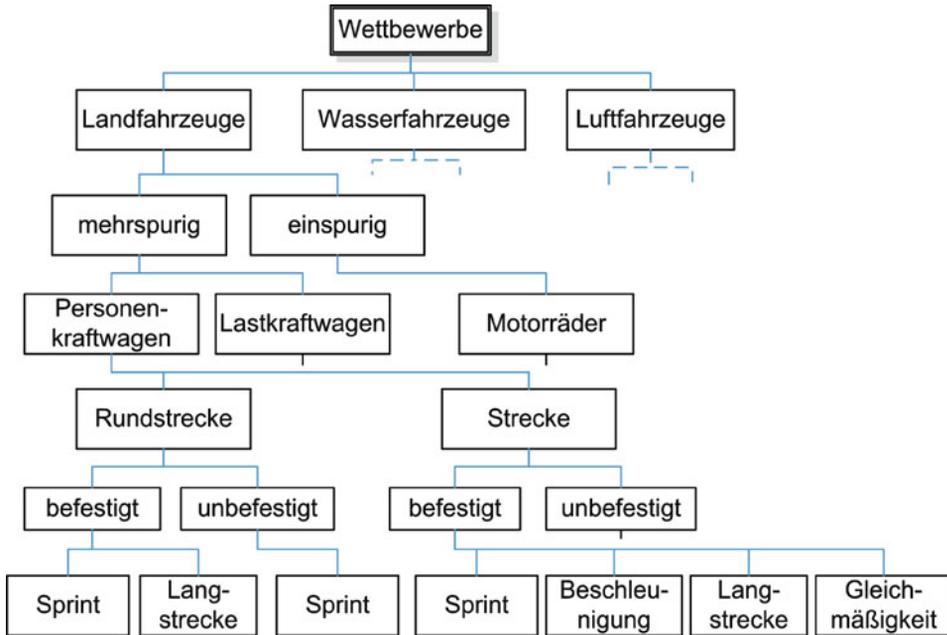


Abb. A.1 Einteilung der Motorsportarten (Auswahl)

Tourenwagen: 24 Stunden Nürburgring, ADAC Procar, Castrol Haug Cup, Divinol Cup, DTM (Deutsche Tourenwagen Masters), FIA ETCC, FIA WTCC, Langstrecke Nürburgring, STT etc.

Eine weitere Unterteilung bietet das internationale Sportgesetz der FIA (Anhang J Artikel 251) (s. Anhang). Demnach werden mehrspurige Wettbewerbsfahrzeuge in Kategorien und Gruppen eingeteilt. Unterschieden werden Kategorie I („homologierte Produktionswagen“), Kategorie II („Rennwagen“) und Kategorie III (Lkw). Im Einzelnen werden dabei unterschieden:

Kategorie I

Gruppe A: Viersitzige Tourenwagen (*touring cars*) mit serienmäßiger Karosserie, Produktion mindestens 2500 Stück im Jahr. WRC (*World Rally Car*) gehören ebenso dazu.

Gruppe B: Zweisitzige GT-Fahrzeuge (*grand touring cars*). Das sind straßentaugliche Rennwagen, Produktionsvolumen mindestens 200 Stück im Jahr.

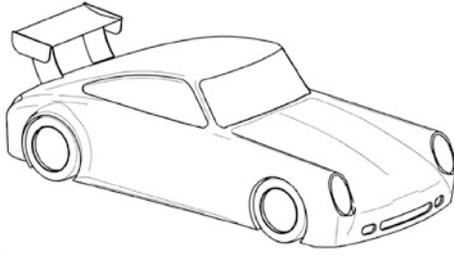
Gruppe N: Produktionswagen (*production cars*). Das sind viersitzige Serienwagen mit geringfügigen Änderungen, Produktionsvolumen mindestens 2500 Stück im Jahr.

Gruppe SP: Super-Produktionswagen (*super production cars*). Produktionsvolumen mindestens 2500 Stück im Jahr.

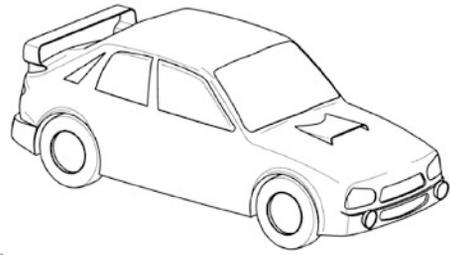
Gruppe T2: Serien-Geländewagen (*series cross-country cars*).

Kategorie II

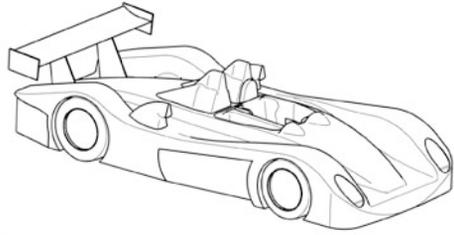
Gruppe CN: Produktionssportwagen (*production sports cars*). Das sind zweisitzige Prototypen mit einem seriennahen Motor mit höchstens 3000 cm^3 Hubraum. Kraftstofftankvolumen unter 100l. Mindestgewicht vom Hubraum abhängig, z. B. 625 kg bei 3000 cm^3 .



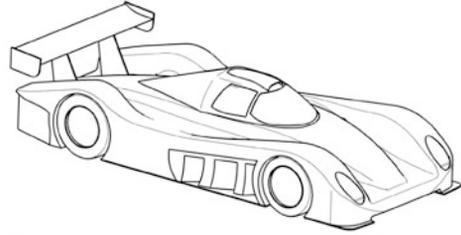
a



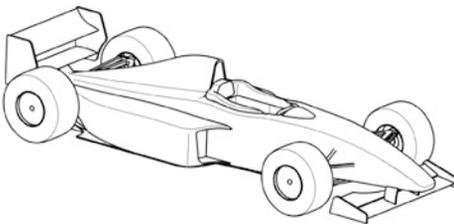
b



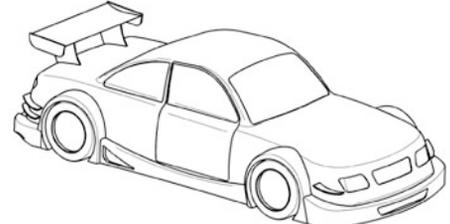
c



d



e



f

Abb. A.2 Typische Rennfahrzeuge *typical racecars*. **a** Cup-Fahrzeug *cup vehicle*, **b** Rallyefahrzeug *rally vehicle*, **c** Offener Sportprototyp *sport car, open*, **d** Geschlossener Sportprototyp *sport car, closed*, **e** Formelwagen *formula car*, **f** Tourenwagen *touring car*

Gruppe D: Internationale Formelrennwagen (*international racing formula racing cars*).

Formel 1: Monoposto mit V6-Motor, Hubraum 1600 cm^3 , mit Turbolader, Energierückgewinnungssysteme, Mindestgewicht 690 kg.

Formel 3: Monoposto, Motor von einem Großserienaggregat abgeleitet, Hubraum höchstens 2000 cm^3 .

Formel 3000: Monoposto, Hubraum bis 3000 cm^3 , Mindestgewicht 625 kg.

Formel 4: 4-Zylinder-1,6-l-Motor, Mindestgewicht 570 kg, Einsteigerserie mit Kostenlimits.

Formel E: elektrisch angetriebene Formelwagen, max. Leistung 200 kW, Mindestmasse mit Fahrer 800 kg (davon 200 kg Batterie), 18"-Räder.

Gruppe E: Formelfreie Rennwagen (*free formula racing cars*).

Gruppe GT1: Grand-Touring-Sportwagen (*grand touring cars*). Das sind straßentaugliche Fahrzeuge mit offenem oder geschlossenem Cockpit, Zweisitzer mit max. zwei Türen.

Gruppe GT2: Serien-Grand-Touring-Sportwagen (*series grand touring cars*). Das sind straßentaugliche Fahrzeuge mit Saugmotoren von max. 8000 cm³ oder aufgeladene Motoren mit max. 4000 cm³ Hubvolumen. Bei beiden Motorarten sind Luftmengenbegrenzer vorgeschrieben.

Gruppe GT3: Cup-Grand-Touring-Sportwagen (*cup grand touring cars*). Welche Fahrzeuge zu dieser Gruppe gehören, ist einer Liste zu entnehmen, die von der FIA geführt wird. Diese Fahrzeuge werden einzeln von der FIA homologiert.

Gruppe SR: Sportwagen (*sports car*). Zweisitzige, reine Rennfahrzeuge mit offenem oder geschlossenem Cockpit. Im zweiten Fall mit zwei Türen. Mindestgewicht 750 kg (SR2) und 900 kg (SR1). Motoren: SR1: Freisaugende Ottomotoren bis 6000 cm³, aufgeladene Ottomotoren bis 4000 cm³ und aufgeladene Dieselmotoren bis 5500 cm³; SR2: Freisaugende Ottomotoren bis 4500 cm³, aufgeladene Ottomotoren bis 2700 cm³. Kraftstoffankvolumen 90l. Scheinwerfer vorne und Heckleuchten hinten vorgeschrieben.

Gruppe T1: Geländewagen-Prototypen (*modified cross-country cars*).

Kategorie III

Gruppe F: Renn-Lkw (*racing trucks*).

Gruppe T4: Raid-Rallye-Lkw (*cross-country trucks*).

Für das berühmte 24-Stunden-Rennen in Le Mans gibt der Veranstalter ACO (s. Anhang) ein eigenes Reglement heraus. Es gibt mehrere Fahrzeugkategorien, deren Motoren allesamt einen Luftmengenbegrenzer aufweisen:

Le Mans Prototyp: LM P1 (offen oder geschlossen), LM P2 (offen oder geschlossen)

LM Grand Turismo: LM GTE Pro (Professional), LM GTE Am (Amateur)

Daneben gibt es noch weitere Spezialfahrzeuge für andere Wettbewerbe, z. B. Dragster für Beschleunigungsrennen oder Auto- und Rallyecrossfahrzeuge.

Aus obigen Ausführungen wird ersichtlich, will man eine allgemeine, über alle Bewerbe hinweg geltende grobe Einteilung von Rennfahrzeugen vornehmen, bleibt nur jene in Fahrzeuge mit freistehenden und solche mit umschlossenen Rädern.

Im Grunde genommen ist eine Einteilung der Rennfahrzeuge für deren Konstruktion gar nicht erforderlich. Die Konstruktion eines Rennfahrzeugs orientiert sich technisch in erster Linie am Einsatzzweck allerdings nur innerhalb der von diversen Bestimmungen vorgegebener Grenzen. Dennoch werden in diesem Buch keine Reglements detailliert vorgestellt. Ein Reglement hat unter anderem die Aufgabe eine Wettbewerbsgleichheit sicherstellen („Spielregeln“) und wird oftmals geändert. Bei diesen Angaben ist daher in erster Linie wesentlich, dass sie leicht messbar bzw. überprüfbar sind. Viele weitere Reglementvorgaben sind für den Konstrukteur aber allgemein insofern beachtenswert, als dass sie durch Unfälle und Vorkommnisse in der Vergangenheit entstanden sind und so einen gewaltigen Erfahrungsschatz darstellen. Gewisse Passagen finden sich demnach auch beinahe in allen Bestimmungen. Im vorliegenden Werk wollen wir nur dann auf einzelne Reglementaussagen zurückgreifen, wenn diese für die Sicherheit oder für das Verständnis einer gewählten Lösung relevant sind. Bei der Konstruktion eines Fahrzeugs muss ohnedies das aktuell (!) gültige Reglement herangezogen werden, will man vermeiden, dass der neue „Wunderwagen“ schon bei seinem ersten öffentlichen Auftritt eine schlechte Figur macht, weil er die technische Abnahme nicht schafft. Die FIA-Bestimmungen können im Einzelnen unter anderem über das Internet [2] gelesen oder heruntergeladen werden.

Die Abb. A.3–A.12 zeigen in loser Reihenfolge einige Beispiele von unterschiedlichen Rennfahrzeugen.

Abb. A.3 Indy-Car: Hochgeschwindigkeitsfahrzeug für Ovalkurse



Abb. A.4 FIA GT Fahrzeug



Abb. A.5 Tourenwagen: Fahrzeug basierend auf Serienteilen



Abb. A.6 Formel-1-Wagen: Monoposto mit freistehenden Rädern und offenem Cockpit

