

---

# Handbuch Rennwagentechnik

## **Reihenherausgeber**

Michael Trzesniowski, Institut für Fahrzeugtechnik, FH Joanneum, Graz, Österreich

Die anspruchsvolle Technik heutiger Fahrzeuge findet nicht selten mit ihrer Vorerprobung auf den Rennstrecken den Anfang, bevor sie in die Serienproduktion gelangt. Gegenüber den Autos im öffentlichen Straßenverkehr weisen die Rennfahrzeuge jedoch enorme Unterschiede auf. Beginnend bei dem Layout, der Konstruktion den verwendeten Materialien bis hin zur Fertigung der Rennfahrzeuge werden oft innovative Lösungen gefunden und stellen so einen enormen Fundus an Ideen für den Fahrzeugbau dar. Praxisnah und mit detaillierten Abbildungen wird im Handbuch Rennwagentechnik ein umfassender Überblick in 5 Bänden gegeben:

- Gesamtfahrzeug
- Antrieb
- Fahrwerk
- Datenanalyse, Abstimmung und Entwicklung
- Rennwagentechnik – Praxislehrgang Fahrdynamik

Neben den Grundlagen der Fahrwerktechnik bei Radaufhängung, Federung, Dämpfung, Antrieb und Lenkung widmet sich ein eigener Band dem Fahrwerk-Setup und der Optimierung. Auch der Motor kommt nicht zu kurz. So werden die wesentlichen Maßnahmen zur Leistungssteigerung gezeigt und auf die Besonderheiten einzelner Bauteile hingewiesen. Konstruktive Details wie Schnellverschlüsse, Querlenker, Antriebswellen oder Flügelprofile werden mit allen Auslegungskriterien dargestellt. Die Reihe beinhaltet vertikale Luftleiteinrichtungen, Berechnung der Abtriebskräfte, Dämpferauslegung/Radlastschwankung, effektiver Mitteldruck, Aufladung, Downsizing, variable Turbinengeometrie sowie Registeraufladung. Die immer wichtiger werdenden Themen wie Hybridantriebe, Energierückgewinnung, Speicherung, Nutzbremse (Rekuperation), Grundlagen von Gleich- und Drehstrom- sowie Reluktanzmotor, e-drive und Elektroantriebe zeigen den Bezug zur aktuellen e-mobility. Die Entwicklungstätigkeit samt ihrer Werkzeuge inklusive Datenakquisition sowie Prüfeinrichtungen wird zur Abrundung des Themenangebots beschrieben. Damit stellt die Reihe nicht nur den Wissensspeicher dar, der für alle Beschäftigten mit Aufgabengebiet Rennfahrzeuge benötigt wird. Gleichzeitig machen die Querverbindungen zum Pkw die Unterschiede in der Technik und in den erzielten Fahrleistungen deutlich.

Weitere Bände dieser Reihe finden Sie unter  
<http://www.springer.com/series/15212>

---

Michael Trzesniowski

# Gesamtfahrzeug

Michael Trzesniowski  
Institut für Fahrzeugtechnik  
FH Joanneum  
Graz, Österreich

Handbuch Rennwagentechnik  
ISBN 978-3-658-15536-0  
DOI 10.1007/978-3-658-15537-7

ISBN 978-3-658-15537-7 (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

Dieser Band „Gesamtfahrzeug“ wurde entwickelt aus dem Handbuch Rennwagentechnik von Michael Trzesniowski.

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2017

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. Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

---

## Reihenvorwort

Das Buch Rennwagentechnik war und ist ein großer Erfolg. Der über die Jahre anwachsende Umfang des Werks und der Verwendungszweck als Nachschlagwerk für unterwegs an der Rennstrecke oder im Fahrerlager ließen beim Verlag die Idee aufkommen, das Wissen in einzelne, für den maßgeblichen Anwender handhabbarer Bände zusammenzufassen, die leichter auf die Reise zur Rennstrecke mitgenommen werden können.

Das bot Gelegenheit an manchen Stellen in die Tiefe zu gehen, was in einem einzigen Buch schlicht aus Platzgründen nicht möglich war. Aktualisierungen können zeitnäher erfolgen, weil nicht auf Neuerungen in sämtlichen Bereichen des Fahrzeugs gewartet werden muss, sondern jeder Themenkreis für sich aktuell gehalten werden kann. Außerdem sind für die Zukunft weitere Bände mit speziellen Themenstellungen denkbar.

Dass die Inhalte dennoch wie in einem einzigen Buch zusammenpassen und einander ergänzen – eine der großen Stärken des Buchs Rennwagentechnik –, dafür sorgt der Herausgeber vergleichsweise wie bei einem großen Konstruktionsvorhaben der Projektleiter die Gesamtfunktion im Blick behält. Diese inhaltliche Zusammengehörigkeit verkörpert nach außen ein Schuber, in dem alle Bände attraktiv zusammengehalten werden.

Die Handbuchreihe Rennwagentechnik widmet sich dem Rennfahrzeug von der Konzeption über Entwurf und Berechnung bis zum Betrieb und dessen (Weiter-)Entwicklung.

So gibt es einen Band Gesamtfahrzeug, der Konzeptüberlegungen, Rahmen und Außenhautgestaltung, Sicherheitsaspekte, aerodynamische Einflüsse und die Cockpitauslegung beleuchtet.

Der Band „Antrieb“ behandelt sämtliche Formen von Antriebssystemen und deren Energiespeicher, geht im Sinne des Lastflusses weiter über Anfahrlemente und Kennungswandler bis zu den Seitenwellen. Elektrische Systeme und elektronische Fahrhilfen haben ebenfalls in diesem Band ihren Platz gefunden.

Ein Band allein behandelt das Fahrwerk mit all seinen Komponenten, die Fahrverhalten und Fahrleistungen wesentlich bestimmen: Reifen und Räder, radführende Teile, Federn und Dämpfer, Lenkung und Bremse.

Der Band „Datenanalyse, Abstimmung und Entwicklung“ kann sich nun ganz der Abstimmung und Entwicklung eines Rennfahrzeugs widmen und dabei noch die wesentlichen Werkzeuge wie Datenerfassung samt -analyse, Simulation und Versuch behandeln.

Der Themenkreis Datenerfassung und -auswertung wird von einem Autor, der täglich mit dieser Tätigkeit konfrontiert ist, profund dargestellt.

Für den Band „Praxislehrgang Fahrdynamik“ konnten Autoren gewonnen werden, die jahrzehntelange Erfahrung als Renningenieur an bzw. Rennfahrer auf der Rennstrecke mitbringen. In ihrem Werk beschreiben sie die praktische Abstimmung von Rennfahrzeugen, untermauern das Präsentierte mit Rechenbeispielen und schlagen so auch die Brücke zu theoretischen Betrachtungen in den anderen Bänden.

Ich wünsche allen Leserinnen und Lesern, dass sie in der angebotenen Fülle „ihren“ Band ausfindig machen und bei der Lektüre wesentliche Impulse für Studium, Beruf und/oder Freizeit daraus erhalten, sei es weil sie ein Fahrzeug konstruieren, eines bauen, eines betreiben und verbessern oder weil sie eines wissensdurstig analysierend betrachten.

Graz, im Sommer 2017

Michael Trzesniowski

---

# Grußwort

Liebe Leserinnen und Leser,

das Handbuch Rennwagentechnik spricht sowohl Studentinnen und Studenten als auch professionelle Rennteams an und ist eine wertvolle Hilfe im Alltag.

Schon vor 120 Jahren haben sich Automobilfabrikanten, Reifenhersteller und Zulieferer im Motorsport gemessen. Wettbewerb beschleunigt Innovationen auf und abseits der Strecke. Die emotionalen Fotos strahlender Sieger überdecken dabei häufig die Anstrengungen hinter den Kulissen: Fleiß und Mut bei Erfindungen, Ausdauer und Wissen in Konstruktion und Erprobung sowie ein strategisches und glückliches Händchen sind die Bedingungen für Erfolg. Sie alle kennen dies aus Ihrem Arbeitsalltag.

Schaeffler blickt auf eine lange Tradition im Motorsport zurück. Schon zu Beginn der DTM in den 1980er-Jahren hat sich das Unternehmen an der Seite der Besten engagiert. Seit den Titelerfolgen 2011 und 2013 ist der Audi in den Schaeffler-Farben zu einer Ikone geworden. In der FIA-Langstrecken-Weltmeisterschaft WEC tritt Schaeffler gemeinsam mit Porsche an und gewann in den beiden vergangenen Jahren jeweils den Titel sowie den Saisonhöhepunkt, die 24 Stunden von Le Mans. In der Formel E leistet unser Unternehmen technologische Pionierarbeit. Das Wissen aus der ersten Rennserie mit rein elektrischen Antrieben wird für die Elektromobilität im Alltag ausgewertet und wandert direkt in Produkte für Serienentwicklungen.

Ich möchte Sie ermutigen, Ihre Träume zu leben, beherzte Entscheidungen zu treffen und dabei nie den Glauben zu verlieren, gewinnen zu können. Erfolge im Motorsport wie auch im Berufsalltag sind dabei immer das Ergebnis einer guten Teamleistung.

*Prof. Dr.-Ing. Peter Gutzmer*

*Stellvertretender Vorsitzender des Vorstands und Vorstand Technologie, Schaeffler AG*

---

# Inhaltsverzeichnis *Contents*

<b>A</b>	<b>Einleitung <i>Introduction</i></b> . . . . .	1
1	Arten von Rennfahrzeugen <i>Types of Race Cars</i> . . . . .	1
2	Vergleich Rennsport-Serie <i>Comparison Racing vs. Mass Production</i> . . . . .	9
3	Entwicklungsablauf <i>Development Process</i> . . . . .	13
	Literatur <i>References</i> . . . . .	16
<b>B</b>	<b>Fahrzeugkonzept und Entwurf <i>Vehicle Concept and Draft Design</i></b> . . . . .	19
1	Entwicklungsablauf <i>Development Process</i> . . . . .	19
2	Auslegungsbereiche <i>Layout Sections</i> . . . . .	20
3	Konzeptmerkmale <i>Concept Characteristic</i> . . . . .	22
	3.1 Aggregatlage und Antriebskonzept <i>Engine Position and Drive Layout</i> . . . . .	22
	3.2 Konzeptvergleich <i>Concept Comparison</i> . . . . .	27
4	Konzeptionierung Gesamtfahrzeug <i>Layout of Overall Vehicle</i> . . . . .	48
5	Allgemeine Konstruktionsprinzipien beim Entwerfen <i>Principles of Embodiment Design in General</i> . . . . .	53
6	Werkstoffe <i>Materials</i> . . . . .	70
	6.1 Übersicht gängiger Werkstoffe . . . . .	70
	6.2 Werkstoffvergleich <i>Material Comparison</i> . . . . .	74
	6.3 Werkstoffwahl <i>Material Selection</i> . . . . .	75
7	Kosten <i>Costs</i> . . . . .	77
	Literatur <i>References</i> . . . . .	80
<b>C</b>	<b>Sicherheit <i>Safety</i></b> . . . . .	83
1	Fahrzeugaufbau <i>Vehicle Construction</i> . . . . .	84
2	Schalter <i>Switches</i> . . . . .	87
3	Schutzeinrichtungen <i>Protecting Device</i> . . . . .	88
4	Verbindungselemente <i>Fasteners</i> . . . . .	104
5	Prüfungen <i>Tests</i> . . . . .	108
	Literatur <i>References</i> . . . . .	114



<b>D</b>	<b>Cockpit <i>Cockpit</i></b> . . . . .	115
1	Konzept <i>Layout</i> . . . . .	115
2	Fahrerposition <i>Driver's Posture</i> . . . . .	119
3	Sitz <i>Seat</i> . . . . .	123
4	Lenkrad <i>Steering Wheel</i> . . . . .	127
4.1	Lage des Lenkrades <i>Position of Steering Wheel</i> . . . . .	127
4.2	Lenkradabmessungen und Ausführungen <i>Steering Wheel, Dimensions and Types</i> . . . . .	128
5	Fußhebelwerk und Pedale <i>Bracketry and Pedals</i> . . . . .	132
6	Schaltung <i>Gear Linkage</i> . . . . .	143
7	Armaturenbrett <i>Dashboard</i> . . . . .	147
8	Rückhaltesysteme <i>Restraint Systems</i> . . . . .	148
9	Beispiele <i>Examples</i> . . . . .	155
	Literatur <i>References</i> . . . . .	157
<b>E</b>	<b>Aerodynamik <i>Aerodynamics</i></b> . . . . .	159
1	Einleitung <i>Introduction</i> . . . . .	159
2	Luftwiderstand <i>Aerodynamic Drag</i> . . . . .	162
3	Abtrieb <i>Downforce</i> . . . . .	172
4	Flügelberechnung <i>Calculation of Wings</i> . . . . .	205
5	Luftleitelemente <i>Deflector Devices</i> . . . . .	210
6	Wärmeabfuhr und Entlüftung <i>Heat Removal and Ventilation</i> . . . . .	212
7	Auslegung und Abstimmung <i>Dimensioning and Setup</i> . . . . .	221
	Literatur <i>References</i> . . . . .	230
<b>F</b>	<b>Rahmen <i>Chassis</i></b> . . . . .	231
1	Anforderungen <i>Requirements</i> . . . . .	231
2	Bauarten <i>Types</i> . . . . .	232
2.1	Gitterrohrrahmen <i>Tubular Spaceframe</i> . . . . .	233
2.2	Kastenrahmen <i>Sheet Metal Monocoque</i> . . . . .	251
2.3	Monocoques aus Faserverbundwerkstoffen <i>Composite Monocoque Chassis</i> . . . . .	270
3	Festigkeit <i>Strength</i> . . . . .	282
4	Anbauteile <i>Add-on Parts</i> . . . . .	285
4.1	Konsolen und Halter <i>Brackets and Mounts</i> . . . . .	285
4.2	Bergehilfen <i>Towing Systems</i> . . . . .	290
	Literatur <i>References</i> . . . . .	291

---

<b>G Außenhaut <i>Bodywork</i></b> . . . . .	293
1 Begriffe <i>Terms</i> . . . . .	293
2 Anforderungen <i>Requirements</i> . . . . .	293
3 Gestaltung <i>Design</i> . . . . .	295
4 Werkstoffe <i>Materials</i> . . . . .	307
Literatur <i>References</i> . . . . .	308
<b>Anhang – Glossar <i>Glossary</i></b> . . . . .	309
<b>Sachwortverzeichnis <i>Index</i></b> . . . . .	327

---

# 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>M</i>	Mittelpunkt <i>centre point</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.

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>

---

b	Biege-, Biegung <i>bending</i>
C	Kühlmittel <i>coolant</i>
co	Kurvenfahrt <i>cornering</i>
dr	Widerstand- <i>drag</i>
e	effektiv <i>effective</i> vorn <i>front</i>
i	kurveninnen, innen <i>inner wheel, inner</i>
krit	kritisch <i>critical</i>
L	Luft- <i>aerodynamic</i>
l	links <i>left, left side</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>
o	kurvenaußen, außen <i>outer wheel, outer</i>
r	hinten <i>rear</i>
Rd	Stab bzw. Stange <i>rod, linkage resp.</i>
rs	rechts <i>right, right side</i>
rsl	resultierend <i>resulting</i>
Sp	Feder <i>spring</i>
t	gesamt bzw. Nennwert <i>total, nominal value resp.</i>
ts	Torsion- <i>torsional</i>
T	Reifen <i>tyre</i>
tc	Wendekreis <i>turning circle</i>
V	(Gesamt-) Fahrzeug <i>overall vehicle</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>

---

### **Strecken Distances (in mm)**

<i>a</i> bis <i>p</i>	Strecken und Längen (allg.) <i>distances and length ( in general)</i>
$b_f$ bzw. $b_r$	Spurweite, vorn bzw. hinten <i>track width, front or rear</i>
$B_t$	Fahrzeugesamtbreite <i>overall width of the vehicle</i>
<i>c</i>	Sehnenlänge eines Flügels <i>chord length of a wing</i>
<i>d</i> bzw. <i>D</i>	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>
<i>f</i>	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>
$h_v$	Höhe des Fahrzeugschwerpunkts <i>height of the vehicle center of gravity</i>
$l$	Radstand <i>wheelbase</i>
$l_f$ bzw. $l_r$	Abstand des Fahrzeugschwerpunkts zu Mitte Vorder- bzw. Hinterachse <i>distance of vehicle centre of gravity to middle of front or rear axle</i>
$L_t$	Fahrzeuggesamtlänge <i>total length of the vehicle</i>
$r$	Lenker-, Spurhebellänge bzw. Hebelarm (allg.) <i>effective control arm length or force lever in general</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>
$s_t$	gesamter Radhubweg („Federweg“) <i>total wheel travel</i>
$t$	Dicke, Wandstärke (wall) <i>thickness</i>
$t$	Profildicke eines Flügels <i>maximum thickness airfoil</i>

---

### Winkel *Angle* (in ° bzw. rad)

$\alpha$	Anstellwinkel eines Flügels <i>angle of attack</i>
$\alpha_f$ bzw. $\alpha_r$	Reifenschräglaufwinkel an einem Vorder- bzw. Hinterrreifen <i>slip angle of front or rear tyre</i>
$\beta$	Winkel allgemein <i>angle, in general</i>
$\beta$	Schwimmwinkel <i>sideslip angle (attitude angle)</i>
$\delta$	(Rad-)Lenkwinkel <i>steer angle</i>
$\delta_i$ bzw. $\delta_o$	Lenkwinkel, Istwert kurveninnen bzw. -außen <i>actual steer angle, inner or outer wheel</i>

---

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

$m$	Masse, Gewicht bzw. Last, allg. <i>mass, weight or load in general</i>
$m_{v,f}$ bzw. $m_{v,r}$	gewogene Achslast, vorn bzw. hinten <i>axle load, front or rear</i>
$m_{v,t}$	Gesamtgewicht des Fahrzeugs <i>gross vehicle weight</i>

---

### Kräfte *Forces* (in N)

$F_{L,x}$	Luftwiderstandskraft <i>aerodynamic drag</i>
$F_{L,z}$	aerodynamische Abtriebskraft <i>aerodynamic downforce</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>
$F_{V,Y}$	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>
$F_{W,Z}$	Radaufstandskraft (Radlast) <i>corner weight (wheel load)</i>
$F_{V,Z,t}$	Gewichtskraft des Gesamtfahrzeugs <i>cross vehicle weight</i>

---

### **Momente *Torques and Moments* (in Nm)**

$M_b$  Biegemoment *bending moment*

---

### **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 *rate of the body supporting spring at parallel springing, related to the center of tyre contact of one axle side, front or rear*

---

### **Dimensionslose Kennzahlen**

$c_A$	Abtriebsbeiwert <i>downforce coefficient</i>
$c_W$	Luftwiderstandsbeiwert <i>drag coefficient</i>
$i_m$	Achslastverhältnis vorne/hinten <i>axleload ratio front/rear</i>
$k_A$	Flächenverhältnis eines Diffusors <i>area ratio of a diffuser</i>
$S$	Sicherheitsfaktor <i>safety factor</i>
$\eta$	Gesamtwirkungsgrad Getriebe und Achsantrieb <i>total efficiency of geartrain and final drive</i>
$\Phi_{Sp}$	Verhältnis der radbezogenen Federraten vorne/hinten <i>ratio of wheel spring rates front/rear</i>
$\Lambda$	Seitenverhältnis eines Flügels <i>aspect ratio of a wing</i>
$\mu_{W,Y}$	Haftreibungszahl in Querrichtung <i>coefficient of friction in lateral direction</i>

## Sonstige Größen

$\Delta$	Änderung, Differenz <i>change, difference</i>
$\rho$	Dichte allgemein <i>density</i> (kg/m <sup>3</sup> )
$\sigma$	(Normal)Spannung <i>stress</i> (N/m <sup>2</sup> )
$\rho_L$	Dichte der Luft <i>density of air</i> (kg/m <sup>3</sup> )
$A$	Fläche <i>area, cross-section area</i> (m <sup>2</sup> )
$a_x$	Längsbeschleunigung allg. <i>longitudinal acceleration in general</i> (m/s <sup>2</sup> )
$a_y$	Querbeschleunigung <i>lateral acceleration</i> (m/s <sup>2</sup> )
$E$	Elastizitätsmodul, <i>E</i> -Modul <i>modulus of elasticity, Young's modulus</i> (N/mm <sup>2</sup> )
$g$	Erdbeschleunigung <i>acceleration due to gravity</i> (m/s <sup>2</sup> )
$I$	axiales Flächenträgheitsmoment <i>area moment of inertia</i> (mm <sup>4</sup> )
$J_{v,z}$	Massenträgheitsmoment des Gesamtfahrzeugs um die Z-Achse <i>dynamic moment of inertia of vehicle around the vertical axis</i> (kg m <sup>2</sup> )
$k$	Wärmedurchgangszahl <i>heat transfer coefficient</i> (W/(m <sup>2</sup> K))
$P$	Leistung <i>power</i> (W)
$p_e$	effektive Motorleistung <i>effective power of engine</i> (kW)
$p_0$	Umgebungsdruck (Luftdruck) <i>ambient pressure</i> (bar) <sup>1</sup>
$\dot{Q}$	Wärmestrom <i>heat flow</i> (W)
$R_e$	Streckgrenze <i>yield strength</i> (N/m <sup>2</sup> )
$R_L$	Gaskonstante der Luft <i>gas constant of air</i> (kJ/(kg K))
$R_m$	Zugfestigkeit <i>ultimate tensile strength</i> (N/m <sup>2</sup> )
$T$	Temperatur (absolute) <i>thermodynamic temperature</i> (K)
$t$	Zeit <i>time</i> (s)
$v_L$	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)
$W$	axiales Widerstandsmoment <i>section modulus under bending</i> (m <sup>3</sup> )
$W$	Arbeit <i>work</i> (J)

## Sonstige Abkürzungen

FVW	Faserverbundwerkstoff <i>fibre composite material</i>
Nfz	Nutzfahrzeug <i>commercial vehicle</i>
Pkw	Personenkraftwagen <i>passenger car</i>
CFK	Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff <i>carbon fiber reinforced plastic (CFRP)</i>

<sup>1</sup> 1 bar = 100 kPa. Die gültige SI-Einheit für den Druck ist zwar Pascal (Pa), im Buch wird jedoch die in der Praxis „handlichere“ Einheit bar verwendet.