

Handbuch  
Rennwagentechnik

SCHAEFFLER

Ralph Pütz  
Ton Serné

# Rennwagentechnik – Praxislehrgang Fahrdynamik

Eine praktische Anleitung für  
Amateure und Profis

EBOOK INSIDE

 Springer Vieweg

---

# 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, Nutzbremmung (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>

---

Ralph Pütz · Ton Serné

# Rennwagentechnik – Praxislehrgang Fahrdynamik

Eine praktische Anleitung für Amateure  
und Profis

 Springer Vieweg

Ralph Pütz  
BELICON GmbH –  
Institut für Fahrzeugforschung  
Bayerbach, Deutschland

Ton Serné  
SernéCM  
Rosmalen, Niederlande

Handbuch Rennwagentechnik

ISBN 978-3-658-16101-9

ISBN 978-3-658-16102-6 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-658-16102-6

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 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

*Meinem Vater gewidmet, der mir stets gezeigt hat,  
wie wichtig es ist, dass ein Mensch sich seine  
Träume erfüllt.*

*Ton Serné*

*Meinem Vater gewidmet, der mir auch in seinem  
hohen Alter noch zeigt, dass es nie zu spät ist für  
neue Erkenntnisse.*

*Ralph Pütz*

---

## 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*

---

## Einleitung *Introduction*

Für den vorliegenden Bd. 5 in der etablierten Fachbuchreihe „Rennwagentechnik“ haben sich die Verfasser dieses Bandes – beide als Hochschullehrer tätig und beide dem Motorsport lebenslang durch eigene Erfahrungen als Rennfahrer und Renningenieur in diversen Rennwagenklassen vom Tourenwagen bis hin zur Formel 3 verbunden – entschlossen, das theoretische Wissen der Fahrwerkstechnik in eine praktische Anleitung zur sukzessiven Entwicklung eines optimalen Fahrwerks-Setups zu übertragen. Der vorliegende Band ist somit *expressis verbis* ein Praxislehrgang zur Optimierung der Straßenlage von Rennwagen.

Die Ausschöpfung der Leistungsfähigkeit eines Rennwagens in Bezug auf seine Straßenlage bedeutet im Grunde, maximale Beschleunigungen in Längs- und Querrichtungen zu erreichen. Weil die Reifen den einzigen physischen Kontakt zwischen der Masse des Fahrzeugs und der Straße herstellen, werden die maximalen Beschleunigungen letztendlich durch die Reifen bestimmt. Die Reifen müssen folglich durch geeignete Fahrwerks- und Aerodynamik-Einstellungen in die Lage versetzt werden, ihr volles Potenzial zu entfalten.

Dieses Buch ist deshalb wie folgt aufgebaut: Zunächst wird beschrieben, welche grundlegenden Fahrwerksparameter wie am Auto vermessen werden. Der Grund dafür ist, dass die meisten Leser ihren eigenen Rennwagen nicht selbst konstruieren, sondern ein schon existierendes Auto verwenden, welches sie jedoch zunächst richtig verstehen lernen müssen, denn ohne den Status Quo zu kennen ist der Erfolg von Veränderungen nichts anderes als purer Zufall.

Im weiteren Verlauf dieses Buches wird dann, nach der Erläuterung der Grundlagen zum Unter- und Übersteuern, beschrieben, wie Reifen „funktionieren“ und was es erfordert, dass die Reifen ihre optimale Performance erreichen. Alle darauf folgenden Kapitel dienen dazu aufzuzeigen, auf welche Weise die Fahrwerksgeometrie, Federung, Stoßdämpfer, Differential und Aerodynamik angewendet werden sollen, damit die Reifen ihr Potenzial auch ausschöpfen können.

Den Lesern – und hoffentlich auch vielen Leserinnen (!) – werden anhand zahlreicher Rechen- und Praxis-Beispiele Anregungen gegeben, die jeder dann in der Praxis an seinem eigenen Fahrzeug anwenden kann. Das soll dazu dienen, dass Abstimmungen des Fahrzeug-Setup nicht mehr „aus dem Bauch heraus“ gemacht werden, sondern reprodu-

zierbar auf der Basis von fundiertem Wissen. Der Lohn sind dann volle Sekunden pro Rennrunde! Das ist auch die Zielsetzung, die die beiden Autoren stets im Blick gehabt haben und die durch einen „roten Faden“ im Buch erreichbar werden soll.

Dieser „Lehrgang“ als Bd. 5 setzt die vorherige Lektüre der übrigen vier Bände des grundlegenden Werks „Rennwagentechnik“ zwar nicht voraus, da die wichtigsten physikalisch-technischen Grundlagen aus Gründen der besseren Verständlichkeit im vorliegenden Band ebenfalls erläutert werden. Dennoch ist die ergänzende Lektüre der übrigen Bände in jedem Fall sehr empfehlenswert.

Bei der Erläuterung der theoretischen Zusammenhänge werden mathematische Grundkenntnisse z. B. der Differential- und Integralrechnung sowie Differentialgleichungen vorausgesetzt, was im Zeitalter des „Abiturs für Jedermann“ sicherlich vertretbar ist. Auch wenn Leser mit einer technischen Hochschulausbildung den meisten Nutzen aus diesem Band ziehen können, wurde dennoch versucht, auch technisch und motorsportlich interessierten Laien einen tieferen Zugang zur Thematik zu erschließen.

Das vorliegende Buch in seiner Konzeption als Lehrgang sollte in der Tat „von vorne bis hinten“ gelesen werden, da die einzelnen Kapitel aufeinander aufbauen und sich ergänzen, bis sie in einer Zusammenfassung kulminieren.

Dank gilt allen, die die Veröffentlichung dieses Buches gefördert haben, sei es durch Bereitstellung von Materialien oder wertvolle Diskussion. An erster Stelle möchten die Autoren Herrn Werner Brückle von MoTeC für seine Unterstützung danken. Dank gilt auch den Herren Thomas Tahedl, Thomas Haberstock, und Johann Lehner von der Hochschule Landshut sowie den Herren I.J.M. Besselink und M.T.A. van der Drift von der Universität Eindhoven und den Herren Michael Rasper und Frank Exner, die durch Bereitstellung von Unterlagen sowie kritische Anregungen zum Gelingen des Werks beigetragen haben. Ebenso sei den Herren Cees van der Grint (ehemaliger Reifeningenieur von Michael Schumacher), Danny Nowlan und Jörg Segers für ihre Beratung gedankt.

Da ein solch umfassendes Buch auch bei gewissenhaftem Lektorat durchaus Fehler enthalten kann, nehmen die Verfasser konstruktive Verbesserungsvorschläge und Anregungen jederzeit gerne entgegen.

Rosmalen, Niederlande  
Dipl.-Ing. Ton Serné



Bayerbach-Greilsberg, Deutschland  
Prof. Dr.-Ing. Ralph Pütz



---

# Inhaltsverzeichnis *Contents*

<b>A</b>	<b>Vermessung des Setups <i>Measurement of Setup</i></b>	<b>1</b>
1	Hauptabmessungen und Schwerpunktlage <i>Main Dimensions and Centre of Gravity</i>	2
2	Statische Achslasten und horizontale Schwerpunktlage <i>Static Axle Loads and horizontal Centre of Gravity</i>	4
3	Vertikale Schwerpunktlage (Schwerpunkthöhe) <i>Vertical Centre of Gravity</i>	7
4	Massenträgheitsmoment um die Hochachse <i>Moment of Inertia at vertical Axis</i>	9
5	Fahrwerksvermessung <i>Suspension Measurement</i>	12
5.1	Sturz <i>Camber</i>	13
5.2	Spur <i>Track</i>	14
5.3	Nachlauf <i>Caster</i>	16
5.4	Spreizung und Lenkrollhalbmesser <i>Kingpin Inclination and Scrub Radius</i>	17
6	Aerodynamische Parameter <i>Aerodynamic Parameters</i>	19
7	Zusammenfassung <i>Summary</i>	25
	Literatur <i>References</i>	25
<b>B</b>	<b>Einleitung und Definitionen <i>Introduction and Definitions</i></b>	<b>27</b>
1	Die Straßenlage und ihre Bedeutung <i>Significance of Handling and Roadholding</i>	27
2	Fahrzeubbewegungen und Freiheitsgrade <i>Vehicle Movements and Degrees of Freedom</i>	28
3	Die fünf Phasen einer Kurve <i>The five Phases of a Curve</i>	29
3.1	Beschreibung der fünf Phasen <i>Description of the five Phases</i>	30
4	Untersteuern & Übersteuern <i>Understeer &amp; Oversteer</i>	32
4.1	Zentripetalkraft, Querkraft oder Lateralkraft <i>Centripetal Force or Lateral Force</i>	32
4.2	Zentrifugalkraft (oder: die unsichtbare Hand ...) <i>Centrifugal Force (or: the invisible hand)</i>	33
4.3	Balance <i>Balance</i>	34

5	Die Ermittlung von Unter- und Übersteuern <i>Identification of Understeering and Oversteering</i> . . . . .	36
5.1	Methode 1 <i>Method 1</i> . . . . .	37
5.2	Methode 2 <i>Method 2</i> . . . . .	40
	Literatur <i>References</i> . . . . .	44
<b>C</b>	<b>Reifen <i>Tires</i></b> . . . . .	45
1	Die nicht-lineare Charakteristik des Reifens <i>The non-linear Characteristic of the Tire</i> . . . . .	45
2	Der Reibungskoeffizient <i>Coefficient of Friction</i> . . . . .	48
3	Der Stabilisator als Mittel zur Beeinflussung des Gewichtstransfers <i>Stabilizer as a Means for influencing Weight Transfer</i> . . . . .	51
4	Der „Kamm’sche Kreis“ – oder genauer: die Kräfte-Ellipse <i>Kamm’s Circle – or more precisely, the Force Ellipse</i> . . . . .	57
5	Der Einfluss des Reifendrucks und der -temperatur <i>Influence of Tire Pressure and Temperature</i> . . . . .	64
6	Diagonal- versus Radialreifen <i>Diagonal versus Radial Tires</i> . . . . .	76
7	Interpretation der Reifenabnutzung <i>Interpretation of Tire Wear</i> . . . . .	77
	Literatur <i>References</i> . . . . .	79
<b>D</b>	<b>Schwingungsdämpfer <i>Dampers/Shock Absorbers</i></b> . . . . .	81
1	Das Fahrzeug als schwingendes System <i>The Vehicle as an oscillating System</i> . . . . .	81
2	Dämpferbauarten <i>Damper Types</i> . . . . .	84
3	Dämpferkennlinien <i>Damper Characteristics</i> . . . . .	89
4	Das Fahrzeug als reduziertes Viertelfahrzeug-Modell <i>The Vehicle as a reduced Quarter-Vehicle Model</i> . . . . .	91
5	Beurteilungen der Dämpferwirkung im Rennbetrieb <i>Assessment of the Dampers under Racing Condition</i> . . . . .	99
	Literatur <i>References</i> . . . . .	103
<b>E</b>	<b>Geometrie <i>Geometry</i></b> . . . . .	105
1	Die Fahrwerksgeometrie und ihre Bedeutung <i>Suspension Geometry and its Significance</i> . . . . .	105
2	Spreizung und Nachlauf <i>Kingpin Inclination and Caster</i> . . . . .	106
3	Vorspur und Nachspur <i>Toe-in and Toe-out</i> . . . . .	111
4	Rollzentrum und Nickzentrum <i>Roll Centre and Pitch Centre</i> . . . . .	112
5	Geometrie, ein faszinierender Kompromiss <i>Geometry, a fascinating Compromise</i> . . . . .	113
6	Das Kräftespiel in der Radaufhängung <i>Effect of Forces in the Suspension</i> . . . . .	117
7	Das Ackermann-Prinzip <i>Ackermann’s Principle</i> . . . . .	129

8	Analytische Ermittlung der Bewegung einer Doppelquerlenker-Radaufhängung <i>Analytical Determination of the Motion of a Double-Wishbone Suspension</i> . . . . .	137
	Literatur <i>References</i> . . . . .	141
<b>F</b>	<b>Federung <i>Springs</i></b> . . . . .	143
1	Gründe für Federung <i>Reasons for Springs in Suspension</i> . . . . .	143
2	Federrate und Federarten <i>Spring Rate and Spring Types</i> . . . . .	144
3	Berechnung der Federung <i>Calculation of Springs</i> . . . . .	152
4	Roll- und Nickwiderstand <i>Roll and Pitch Resistances</i> . . . . .	163
5	Wiegen <i>Weighing</i> . . . . .	169
	Literatur <i>References</i> . . . . .	173
<b>G</b>	<b>Differenziale (Ausgleichsgetriebe) <i>Differentials</i></b> . . . . .	175
1	Notwendigkeit für Differenziale bei Kurvenfahrt <i>Need for Differentials while Cornering</i> . . . . .	175
2	Sperrdifferenziale versus offene Differenziale <i>Torque Bias/locked Differentials versus open Differentials</i> . . . . .	177
2.1	Allgemeines <i>General Information</i> . . . . .	177
2.2	Nachteile offener Differenziale <i>Disadvantages of open Differentials</i> . . . . .	178
2.3	Sperrdifferenziale <i>Torque Bias/Locked Differentials</i> . . . . .	179
3	Analyse der Wirkung von Sperrdifferenzialen <i>Analysis of the Effect of Torque Bias/Locked Differentials</i> . . . . .	181
	Literatur <i>References</i> . . . . .	195
<b>H</b>	<b>Aerodynamik <i>Aerodynamics</i></b> . . . . .	197
1	Mehr Abtrieb durch aerodynamische Maßnahmen <i>More Downforce by Aerodynamic Measures</i> . . . . .	198
2	Strömungstechnische Grundlagen <i>Basics in Fluid Technology</i> . . . . .	199
2.1	Energie- und Massenerhaltung der Strömung <i>Energy and Mass Conservation during Flow</i> . . . . .	200
2.2	Laminare und turbulente Strömung sowie Grenzschicht <i>Laminar and turbulent Flow and boundary Layer</i> . . . . .	201
3	Luftwiderstand und Abtrieb <i>Drag and Downforce</i> . . . . .	204
4	Maßnahmen zur Erzeugung von Abtrieb <i>Measures for Generating Downforce</i> . . . . .	210
4.1	Tragflügel, Gurney-Flaps und Winglets <i>Wings, Gurney Flaps and Winglets</i> . . . . .	211
4.2	Beschleunigung der Strömung unter dem Fahrzeug und Diffusor <i>Acceleration of the Flow under the Vehicle Floor and Diffusor</i> . . . . .	221
4.3	Vortex-Generatoren (Turbulatoren, Canard-Flaps) und Golfball-Effekt <i>Vortex Generators (Turbulators, Canard Flaps) and the Golf Ball Effect</i> . . . . .	223

5	Optimale aerodynamische Balance <i>Optimum in Aerodynamic Balance</i> . . . . .	226
6	Bewertung von Abtrieb und Luftwiderstand aus aufgezeichneten Analyse- daten während des Rennens <i>Assessment of Downforce and Drag from Race Data Acquisition</i> . . . . .	231
6.1	Analyse der dynamischen Fahrthöhen an Vorder- und Hinterachse <i>Analysis of the dynamic Ride Heights at front and rear Axles</i> . . . . .	232
6.2	Analyse der Bewegung der Radaufhängung an Vorder- und Hinter- achse <i>Analysis of the Movement of Suspensions at front and rear Axles</i> . . . . .	234
6.3	Erstellung von Aero-Maps aus Konstantfahrt-Test <i>Creation of Aero Maps from Constant Drive Test</i> . . . . .	238
7	Nutzung von CFD-Software (Computational Fluid Dynamics) <i>Application of Computational Fluid Dynamics</i> . . . . .	243
	Literatur <i>References</i> . . . . .	245
<b>I</b>	<b>Testfahrten <i>Test Drives</i></b> . . . . .	247
1	Die Theorie ist verinnerlicht – nun folgt die Praxis <i>The Theory is internalized – now Practice follows</i> . . . . .	247
2	Die fünf charakteristischen Phasen einer Kurve im Überblick <i>The five characteristic Phases of a Curve at a Glance</i> . . . . .	252
3	Definitionen unterschiedlicher Tests <i>Definitions of different Tests</i> . . . . .	253
4	Gezielte Tests <i>Specific targeted Tests</i> . . . . .	255
4.1	Dämpfer-Charakteristik <i>Damper Characteristics</i> . . . . .	255
4.2	Gewichtstransfer <i>Weight Transfer</i> . . . . .	258
4.3	Verteilung des Widerstands gegen Rollen auf Vorder-/Hinterachse <i>Distribution of Chassis Rollresistance on front/rear Axles</i> . . . . .	260
4.4	Gewichtsverteilung & Balance <i>Weight Distribution and Balance</i> . . . . .	261
4.5	Aerodynamik <i>Aerodynamics</i> . . . . .	266
5	Reifentests <i>Tire Tests</i> . . . . .	269
5.1	Grundlegende Reifenparameter <i>Basic Tire Parameters</i> . . . . .	270
5.2	Tyre Modelling (Reifenmodell-Erstellung) <i>Tire Modeling (Developing Tire Model)</i> . . . . .	270
6	Tests für Amateur-Teams <i>Tests for Amateur Teams</i> . . . . .	273
	Literatur <i>References</i> . . . . .	274
	<b>Umrechnungstabellen <i>Conversion Tables</i></b> . . . . .	275
	<b>Anhang – Glossar <i>Glossary</i></b> . . . . .	279
	<b>Sachwortverzeichnis <i>Index</i></b> . . . . .	297

---

# Abkürzungen, Formelzeichen und Einheiten

## List of symbols and units

---

### Kapitel A

$l$	Radstand (mm)
$b_f$	Spurweite an der Vorderachse (mm)
$b_r$	Spurweite an der Hinterachse (mm)
$L_t$	Länge über alles (mm)
$B_t$	Breite über alles (mm)
$l_f$	Schwerpunkt Abstand von Vorderachse (mm)
$l_r$	Schwerpunkt Abstand von Hinterachse (mm)
$F_{Z,V,f}$	Normalkraft Vorderachse (mit Fahrer) (N)
$F_{Z,V,r}$	Normalkraft Hinterachse (mit Fahrer) (N)
$F_{Z,V,t}$	Gewichtskraft (mit Fahrer) (N)
$m_{V,f,r}$	Radlast vorne rechts (mit Fahrer) (kg)
$m_{V,f,l}$	Radlast vorne links (mit Fahrer) (kg)
$m_{V,f}$	Vorderachslast (mit Fahrer) (kg)
$m_{V,r,r}$	Radlast hinten rechts (mit Fahrer) (kg)
$m_{V,r,l}$	Radlast hinten links (mit Fahrer) (kg)
$m_{V,r}$	Hinterachslast (mit Fahrer) (kg)
$m_{V,t}$	Gesamtmasse (mit Fahrer) (kg)
$m_{V,0}$	Leergewicht (kg)
$i_m$	Prozentuales Achslastverhältnis vorne/hinten (%)
$Ant_f$	Prozentualer Achslastanteil vorne (%)
$Ant_r$	Prozentualer Achslastanteil hinten (%)
$h_v$	Vertikale Schwerpunkthöhe (mm)
$d_f$	Durchmesser des Vorderrades (mm)
$F_{Z,V,r,a}$	Hinterachslast (Normalkraft) inkl. Fahrer und Tankfüllung für halbe Renndistanz im angehobenen Zustand (N)
$F_{Z,V,r}$	Hinterachslast (Normalkraft) inkl. Fahrer und Tankfüllung für halbe Renndistanz (N) in der Ebene

$F_{Z,V,t}$	Gesamtgewichtskraft des Fahrzeugs inkl. Fahrer und Tankfüllung für halbe Renndistanz (N)
$m_{Z,V,r,r,a}$	Radlast hinten rechts (mit Fahrer), angehoben (kg)
$m_{Z,V,r,l,a}$	Radlast hinten links (mit Fahrer), angehoben (kg)
$m_{Z,V,r,a}$	Hinterachslast (mit Fahrer), angehoben (kg)
$H_a$	Höhe unter Vorderrad, angehoben (Hubhöhe) (mm)
$J_z$	Massenträgheitsmoment um die Hochachse des Fahrzeugs ( $\text{kg m}^2$ )
$T_0$	gemessene Periodendauer der Drehschwingung um die z-Achse (s)
$a, b, c$	Maße gemäß Abb. A.6 (m)
$g$	Erdbeschleunigung ( $\text{m/s}^2$ )
$\varepsilon_{f,r}$	Sturz vorne rechts ( $^\circ$ )
$\varepsilon_{f,l}$	Sturz vorne links ( $^\circ$ )
$\varepsilon_{r,r}$	Sturz hinten rechts ( $^\circ$ )
$\varepsilon_{r,l}$	Sturz hinten links ( $^\circ$ )
$\delta_{V,f}$	Spurwinkel vorne ( $^\circ$ )
$\delta_{V,r}$	Spurwinkel hinten ( $^\circ$ )
$\tau_{f,r}$	Nachlaufwinkel vorne rechts ( $^\circ$ )
$\tau_{f,l}$	Nachlaufwinkel vorne links ( $^\circ$ )
$\sigma$	Spreizungswinkel ( $^\circ$ )
$R_0$	Lenkrollhalbmesser (mm)
$F_W$	Summe der abbremsenden Fahrwiderstände (N)
$F_L$	Luftwiderstand (N)
$F_R$	Rollwiderstand (N)
$F_{St}$	Steigungswiderstand (N)
$f_R$	Rollwiderstandsbeiwert des Fahrzeugs (–)
$m_{Z,V,t}$	Fahrzeugmasse inkl. Fahrer und halber Tankfüllung (je nach Renndistanz) (kg)
$g$	Erdbeschleunigung, $9,81 \text{ m/s}^2$
$\alpha_{St}$	Mittlerer Steigungswinkel der Fahrbahn ( $^\circ$ )
$\rho_L$	Luftdichte ( $\text{kg/m}^3$ ); $1,225 \text{ kg/m}^3$ auf Meereshöhe bei $15^\circ\text{C}$ und $1013 \text{ mbar}$
$c_W$	$c_W$ -Wert des Fahrzeugs (–)
$A$	Anströmfläche des Fahrzeugs ( $\text{m}^2$ )
$v_F$	Fahrzeuggeschwindigkeit (m/s)
$v_0$	Windgeschwindigkeit (m/s); Gegenwind: negativer Wert, Rückenwind: positiver Wert
$k_m$	Drehmassenfaktor (–) zur Berücksichtigung der abzubremenden Rotationsmassen (Räder inkl. Reifen etc.)
$a_x$	Verzögerung des Fahrzeugs aufgrund des Luft-, Roll- und Steigungswiderstands ( $\text{m/s}^2$ )
$h_w$	Mittlere Reifenhöhe aus Vorder-/Hinterachse (mm)
$h_{sp}$	Höhe Heckspoiler (mm)
$s$	Breite Heckspoiler (mm)

---

$h_c$	Projektion Höhe Heckspoiler (mm)
$h_H$	Höhe Hutze (mm)
$s_H$	Max. Breite Hutze (mm)

---

## Kapitel B

$a_y$	Querbeschleunigung (Zentripetalbeschleunigung) ( $\text{m/s}^2$ )
$F_{T_i,l,f}$	Querkraft am Reifen, links, vorne (N)
$F_{T_i,r,f}$	Querkraft am Reifen, rechts, vorne (N)
$F_{T_i,f,lat}$	Gesamtquerkraft an den Vorderreifen (N)
$F_{T_i,r,lat}$	Gesamtquerkraft an den Hinterreifen (N)
$F_{T_i,tot,v}$	Zentripetalkraft (N)
$\alpha_r$	Schräglaufwinkel rechts ( $^\circ$ )
$\alpha_l$	Schräglaufwinkel links ( $^\circ$ )
$\beta$	Schwimmwinkel ( $^\circ$ )
$g$	Erdbeschleunigung ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )
$l$	Radstand (m)
$R$	Kurvenradius (m)
$v_x$	Geschwindigkeit des Fahrzeugs in Längsrichtung (m/s)
$\delta_{lenk}$	der aktuelle (kinematische) Lenkwinkel (rad)
$\delta_{untersteuern}$	Winkel, der das Maß von Untersteuern angibt (rad)
$\delta_{neutral}$	Neutraler Lenkwinkel (rad)
$\eta$	Untersteuerkoeffizient (–)
$\dot{\psi}_1$	Gierrate des Fahrzeugs um den Kurvenmittelpunkt $M$ (rad/s)
$\dot{\psi}_2$	Gierwinkelgeschwindigkeit (Gierrate) des Fahrzeugs um den Schwerpunkt $S$ (rad/s)

---

## Kapitel C

$F_{W,y}$	Lateralkraft am Reifen (N)
$b_y, c_y, d_y, e_y$	Konstanten (–)
$\alpha$	Schräglaufwinkel des Reifens (rad)
$F_{T_i,lat}$	Lateralkraft am Reifen (N)
$C_{T,\alpha}$	Seitensteifigkeit des Reifens (N/rad)
$r_{\tau,t}$	gesamte Nachlaufstrecke des Rades (m)
$F_{w,z}$	Normalkraft auf das Rad (N)
$A_T$	Aufstandsfläche des Reifens = Reifenlatsch ( $\text{m}^2$ )
$l_{T,A}$	Länge der Aufstandsfläche des Reifens (m)
$b_{T,A}$	Breite der Aufstandsfläche des Reifens (m)
$p_T$	Reifenluftdruck ( $\text{N/m}^2$ ); Umrechnung: 1 bar = $10^5 \text{ N/m}^2$
$C_{T_i}$	Vertikale Federrate (Federsteifigkeit) des Reifens (N/m)

$\varepsilon$	Sturzwinkel ( $^{\circ}$ )
$v_w$	Umfangsgeschwindigkeit des Reifens (m/s)
$r_{\text{dyn}}$	dynamischer Radhalbmesser (m)
$r_{\text{stat}}$	statischer Radhalbmesser (m)
$F_{w,z}$	Normalkraft auf das Rad (N)
$c_S$	Gesamtfedersteifigkeit des Stabilisators (N/mm)
$c_{Ba}$	Federsteifigkeit des Stabilisatorrückens (Torsionsteil) (N/mm)
$c_{Bl}$	Federsteifigkeit der Stabilisatorschenkel (Biegeteile) (N/mm)
$F$	Tordierende und biegende Kraft im Stabilisator (N)
$\delta$	Gesamte Einfederung des Stabilisators aus Verdrehung des Torsionsteils und Biegung beider Schenkel (mm)
$\delta_{Ba}$	Einfederung des Stabilisators aus Verdrehung des Torsionsteils (mm)
$\delta_{Bl}$	Einfederung des Stabilisators aus Biegung eines Schenkels (mm)
$\Phi$	Gesamter Verdrehwinkel des Stabilisators aus Torsion und Biegung (rad)
$G$	Schubmodul (N/mm <sup>2</sup> ) (abhängig vom Material Federstahl; 73.100–82.000 N/mm <sup>2</sup> )
$D$	Außendurchmesser (mm)
$d$	Innendurchmesser (mm)
$L$	Länge des Stabilisator-Rückens (Torsionsteil) (mm)
$R$	Radius zwischen Torsions- und Biegeteil (mm)
$A$	Schenkellänge des Stabilisators (mm)
$\delta_{Ba}$	Einfederung des Stabilisators aus Verdrehung des Torsionsteils (mm)
$E$	Elastizitätsmodul (N/mm <sup>2</sup> )
$TC T_{\text{Radius}}$	Traktionsradius (übertragbare Kraft!) eines Reifens (N)
$F_{W,Z}$	Radlast (N)
$k_{Fr,0}$	anfänglicher Reibungskoeffizient (Startwert) (–)
$k_{Fr,L}$	Koeffizient für die Abnahme des Reibungskoeffizienten unter Radlast (erfolgt linear mit der Radlast) (1/N)
$F_{W,Y,f}$	maximal übertragbare Seitenkraft an der Vorderachse (N)
$F_{W,Y,r}$	maximal übertragbare Seitenkraft an der Hinterachse (N)
$m_{V,dr}$	Masse des betriebsfertigen Rennfahrzeugs inkl. Fahrer (kg)
$m_{V,dr,f}$	Vorderachslast des betriebsfertigen Rennfahrzeugs inkl. Fahrer (kg)
$m_{V,dr,r}$	Hinterachslast des betriebsfertigen Rennfahrzeugs inkl. Fahrer (kg)
$Ant_{V,dr,f}$	Anteilige Vorderachslast des betriebsfertigen Rennfahrzeugs inkl. Fahrer (%)
$v_v$	Fahrzeuggeschwindigkeit in der Kurve (m/s)
$R$	Kurvenradius (m)
$a_y$	Zentripetalbeschleunigung (m/s <sup>2</sup> )
$T_2$	optimale Reifentemperatur im Rennen (K)
$p_1$	Reifenluftdruck im kalten Zustand in der Box ( <i>inklusive</i> Atmosphärendruck) (bar)
$T_1$	Reifentemperatur (= Außentemperatur) im kalten Zustand in der Box (K)

$p_2$	optimaler Betriebsdruck im Rennen (Überdruck über Atmosphärendruck) (bar)
$t_2$	optimale Reifentemperatur im Rennen (°C)
$p_1$	Reifenluftdruck im kalten Zustand in der Box (Überdruck über Atmosphärendruck) (bar)
$t_1$	Reifentemperatur (= Außentemperatur) im kalten Zustand in der Box (°C)
$c_{pTi,f/r}$	spezifische Wärmekapazität des Vorder- bzw. Hinterreifens (J/kg K)
$\rho_{Ti,f/r}$	Dichte der Struktur des Vorder- bzw. Hinterreifens (kg/m <sup>3</sup> )
$k_{Ti}$	Maßstabsfaktor (1/m <sup>3</sup> )
$F_{W,Y,f,r}$	Seitenkraft im Vorder- bzw. Hinterreifen (N)
$F_{W,X,f,r}$	Längskraft im Vorder- bzw. Hinterreifen (N)
$\alpha_{f,r}$	Schräglaufwinkel am Vorder- bzw. Hinterreifen (rad)
$S_{W,X,f,r}$	Schlupf am Vorder- bzw. Hinterreifen (–)
$\alpha_{TiL}$	Wärmeübergangskoeffizient Reifen–Luft (W/K)
$\alpha_{TiTr}$	Wärmeübergangskoeffizient Reifen–Fahrbahn (W/K)
$T_{Ti}$	mittlere Reifentemperatur in der Lauffläche (K)
$T_{Tr}$	Temperatur des Fahrbahnbelags (K)
$T_L$	Temperatur der Umgebungsluft (K)
$T_{Ti\%-i}$	Prozentualer Anteil der Temperatur des Reifens $i$ in Bezug auf die Summe aller Reifentemperaturen (%); mit $i = FR$ (front right), $FL$ (front left), $RR$ (rear right) oder $RL$ (rear left)
$T_{Ti-i}$	Temperatur des Reifens $i$ (K oder °C); mit $i = FR$ (front right), $FL$ (front left), $RR$ (rear right) oder $RL$ (rear left)
$T_{Ti-FR}$	Temperatur des rechten Vorderreifens ( $FR$ ) (K oder °C)
$T_{Ti-FL}$	Temperatur des linken Vorderreifens ( $FL$ ) (K oder °C)
$T_{Ti-RR}$	Temperatur des rechten Hinterreifens ( $RR$ ) (K oder °C)
$T_{Ti-RL}$	Temperatur des linken Hinterreifens ( $RL$ ) (K oder °C)
$DT_{Ti}$	Differenz der Reifentemperatur in Reifenmitte und der gemittelten Reifentemperaturen der inneren und äußeren Reifenflanke (K oder °C)
$T_{Ti,Mitte}$	Reifentemperatur in Reifenmitte (K oder °C)
$T_{Ti,Flanke\ außen}$	Reifentemperatur an der äußeren Flanke (K oder °C)
$T_{Ti,Flanke\ innen}$	Reifentemperatur an der inneren Flanke (K oder °C)
$DT_{Ti,außen-Mitte}$	Differenz der Reifentemperatur in der äußeren Reifenflanke und der Reifenmitte (K oder °C)
$DT_{Ti,innen-Mitte}$	Differenz der Reifentemperatur in der inneren Reifenflanke und der Reifenmitte (K oder °C)
$T_{Ti,Mitte}$	Reifentemperatur in Reifenmitte (K oder °C)
$T_{Ti,Flanke\ außen}$	Reifentemperatur an der äußeren Flanke (K oder °C)
$T_{Ti,Flanke\ innen}$	Reifentemperatur an der inneren Flanke (K oder °C)
$p$	Druck im Reifen (N/m <sup>2</sup> )
$V$	Reifenvolumen (m <sup>3</sup> )
$m$	Luftmasse im Reifen (kg)

---

$T$	Temperatur im Reifen (K)
$R$	Allgemeine Gaskonstante der Luft ( $287 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K}) = 287 \text{ N m}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ )

---

## Kapitel D

$f_e$	Eigenfrequenz (1/s) bzw. (Hz)
$\omega_e$	Eigenkreisfrequenz (1/s)
$c$	Federrate des schwingenden Systems (N/m)
$m$	Masse des schwingenden Systems (kg)
$V$	Fahrzeugschwerpunkt
$\tilde{W}_{i,j}$	Radaufstandspunkte (Indizes: $i = f, r$ (vorne, hinten); $j = r, l$ (rechts, links))
$P_i$	Rollzentrum (Index: $i = f, r$ (vorne, hinten))
$m_{V,t}$	Fahrzeugmasse (inkl. Fahrer) (kg)
$m_{V,i,j}$	gefederte Fahrzeugmasse (Aufbaumasse) je Rad (Indizes: $i = f, r$ (vorne, hinten); $j = r, l$ (rechts, links)) (kg)
$m_{W,i,j}$	ungefederte Fahrzeugmasse je Rad (Indizes: $i = f, r$ (vorne, hinten); $j = r, l$ (rechts, links)) (kg)
$c_{i,j}$	Federrate der Fahrzeugfeder je Rad (Indizes: $i = f, r$ (vorne, hinten); $j = r, l$ (rechts, links)) (N/m)
$c_{T,i,j}$	Vertikale Federsteifigkeit des Reifens (Indizes: $i = f, r$ (vorne, hinten); $j = r, l$ (rechts, links)) (N/m)
$k_{i,j}$	Dämpferrate je Rad (Indizes: $i = f, r$ (vorne, hinten); $j = r, l$ (rechts, links)) (kg/s) bzw. (N s/m)
$F_D$	Dämpferkraft (N)
$\dot{z}$	Geschwindigkeit der Schwingung in Richtung der Dämpferachse (bei aufrecht stehendem Dämpfer: $z$ -Achse) (m/s) oder (mm/s)
$n$	Exponent für Dämpferkennung (-)
$p_1$	Druck vor Ventil bzw. der Drossel (upstream) (N/m <sup>2</sup> )
$p_2$	Druck am Ausgang des Ventils bzw. der Drossel (downstream) (N/m <sup>2</sup> )
$Q$	Volumenstrom (m <sup>3</sup> /s)
$A$	geometrischer Strömungsquerschnitt am Ventil (m <sup>2</sup> )
$\alpha_D$	Durchflussbeiwert (-), gibt an, in wie weit die Strömung an der Blende kontrahiert wird und sich dadurch gegenüber dem geometrischen Strömungsquerschnitt eine Reduzierung ergibt
$\alpha_D \cdot A$	tatsächlicher Strömungsquerschnitt am Ventil (m <sup>2</sup> )
$r$	Radius der Drossel (m)
$l$	Länge der Drossel (m)
$\rho$	Dichte des Hydrauliköls (kg/m <sup>3</sup> )
$\eta$	dynamische Viskosität des Hydrauliköls (N · s/m <sup>2</sup> ) = (Pa · s)
$p_{1G}$	Gasdruck im Expansionsvolumen vor Verdichtung (bar)
$p_{2G}$	Gasdruck im Expansionsvolumen nach Verdichtung (bar)

$V_{1G}$	Expansionsvolumen vor Verdichtung ( $m^3$ )
$V_{2G}$	Expansionsvolumen nach Verdichtung ( $m^3$ )
$T_{1G}$	Temperatur des Gases im Expansionsvolumen vor Verdichtung (K)
$T_{2G}$	Temperatur des Gases im Expansionsvolumen nach Verdichtung (K)
$\kappa$	Isentropenexponent = 1,4 (-)
$W_{f,r}$	Radaufstandspunkt des rechten Vorderrades
$m_{v,f,r}$	gefederte Fahrzeugmasse (Aufbaumasse) am rechten Vorderrad (kg)
$z_{B,f,r}$	Federweg der gefederten Fahrzeugmasse (Aufbaumasse) am rechten Vorderrad (m) bzw. (mm)
$m_{w,f,r}$	ungefederte Fahrzeugmasse am rechten Vorderrad (kg)
$z_{w,f,r}$	Weg der ungefederten Fahrzeugmasse (Rad- und Aufhängungsmasse) am rechten Vorderrad (m) bzw. (mm)
$c_{f,r}$	Federrate der Fahrzeugfeder am rechten Vorderrad (N/m)
$c_{T,f,r}$	Vertikale Federsteifigkeit des rechten Vorderreifens (N/m)
$k_{f,r}$	Dämpferrate des Dämpfers am rechten Vorderrad (kg/s) bzw. (N s/m)
$m_v$	gefederte Fahrzeugmasse am Rad (1/4-Aufbaumasse!) (kg)
$z_B$	Federweg der gefederten Fahrzeugmasse (1/4-Aufbaumasse!) (m) bzw. (mm)
$m_w$	ungefederte Fahrzeugmasse am Rad (1/4-Aufbaumasse!) (kg)
$z_w$	Weg der ungefederten Fahrzeugmasse (Rad- und Aufhängungsmasse, bezogen auf 1/4-Fahrzeug) (m) bzw. (mm)
$c$	Federrate der Fahrzeugfeder, bezogen auf das Rad (N/m)
$c_T$	Vertikale Reifen-Federsteifigkeit (N/m)
$k_{f,r}$	Dämpferrate, bezogen auf das Rad (kg/s) bzw. (N s/m)
$\omega_e$	Eigenkreisfrequenz, bezogen auf das Rad (1/s)
$k$	Dämpferrate, bezogen auf das Rad (kg/s) bzw. (N s/m)
$k_\zeta$	Dämpfungsmaß, bezogen auf das Rad (-)
$MR$	Motion Ratio, Übersetzungsverhältnis der Radaufhängung vom Rad zum Dämpfer (-); in den übrigen Bänden $i_{Sp}$
$\omega_{e,f}$	Eigenkreisfrequenz, bezogen auf die Feder (1/s)
$k$	Dämpferrate, bezogen auf das Rad (kg/s) bzw. (N s/m)
$k_d$	Dämpferrate, bezogen auf den Dämpfer (kg/s) bzw. (N s/m)
$k_{\zeta,d}$	Dämpfungsmaß, bezogen auf den Dämpfer (-)

---

## Kapitel E

$F_{v,y,re}$	Zentripetalkraft (= Reaktionskraft) (N)
$m_v$	Masse des gesamten Fahrzeugs (Vehicle) (kg)
$a_y$	Querbeschleunigung ( $m/s^2$ )
$v$	Geschwindigkeit des Fahrzeugs in Längsrichtung (m/s)
$R$	Kurvenradius
$h_v$	Schwerpunkthöhe über der Straße (m)

$h_{RZ}$	Höhe Rollzentrum über der Straße (m)
$l$	Radstand (m)
$Ant_{\text{Nick,geo}}$	Der geometrische Anteil des totale Nickwiderstandes
$Ant_{\text{Roll,geo}}$	geometrischer Anteil des Widerstands gegen Rollen (-)
$b_i$	Spurweite einer Achse (m); i = f (front, vorne) oder r (rear, hinten)
$d_{R0}$	Horizontale Distanz zwischen Fahrzeugmitte und Rollzentrum (m)
$F_{B,\text{Reaktion}}$	Reaktionskraft in $S$ auf die Triebkraft (N)
$F_B$	gesamte Bremskraft (= Aktion) (N)
$F_{B,f}, F_{B,r}$	Bremskraft beider Räder an Vorder- bzw. Hinterachse (N)
$F_{B,\text{reaktion}}$	Reaktionskraft in $S$ auf die gesamte Bremskraft (N)
$F_{\text{Jacking}}$	gesamte Hebekraft (Jacking Force) im Rollzentrum (N)
$F_{\text{Traction}}$	Triebkraft beider Hinterräder (N)
$F_{W,y}$	Summe der kurvenäußeren und -inneren Querkraft (N)
$F_{Z,J,i}$	Hebekraft (Jacking Force) am kurveninneren Rad (N)
$F_{Z,J,o}$	Hebekraft (Jacking Force) am kurvenäußeren Rad (N)
$h_{Ni}$	Höhe des Nickzentrums $NZ$ über der Straßenebene (m)
$h_{R0}$	Höhe des Rollzentrums (m)
$l_1$	Länge des unteren Querlenkers (Abstand der Lager $A$ und $A_0$ ) (mm)
$l_2$	Radträger (Abstand der Lager $A$ und $B$ ) (mm)
$l_3$	Länge des oberen Querlenkers (Abstand der Lager $B$ und $B_0$ ) (mm)
$l_4$	Abstand der Lager $A_0$ und $B_0$ am Chassis (mm)
$l_{Ni}$	Nickarm; Distanz zwischen dem Nickzentrum $NZ$ und dem Schwerpunkt $S$ (m)
$l_{R0}$	Rollhebelarm zwischen $RZ$ und $S$ (m)
$M_{Ni}$	Nach vorne drehendes Nickmoment (Nm)
$M_{R0}$	Rollmoment der Zentrifugalkraft um $RZ$ (Nm)
$\Delta F_{V,z}$	Gewichtstransfer einer Achse (N)
$\Delta F_{V,z,\text{ela}}$	Elastischer Gewichtstransfer einer Achse (N)
$\Delta F_{V,z,\text{geo}}$	Geometrischer Gewichtstransfer (N)
$\Delta F_{v,zt}$	gesamter Gewichtstransfer (N)
$\eta$	Winkel zwischen fahrzeugfestem und straßenfestem Koordinatensystem (rad)
$\sigma$	Winkel zwischen Upright und der Verbindung zwischen den Lagerpunkten $A_0$ und $B_0$ (rad)
$\sigma$	Spreizungswinkel ( $^\circ$ )
$\varphi$	Winkel zwischen Chassis und unterem Querlenker (rad)
$\varphi_s$	Winkel zwischen dem unteren Querlenker und der Hilfsgeraden $f$ (rad)
$\varphi_t$	Winkel zwischen der Hilfsgeraden $f$ und dem Upright (rad)
$\psi$	Winkel zwischen Chassis und oberem Querlenker (rad)
$\psi_s$	Winkel zwischen Chassis und der Hilfsgeraden $f$ (rad)
$\psi_t$	Winkel zwischen der Hilfsgeraden $f$ und dem oberen Querlenker (rad)
$\kappa$	Winkel zwischen der Verbindung zwischen den Lagerpunkten $A_0$ und $B_0$ und dem unteren Lagerpunkt $A$ mit dem Radaufstandspunkt $K$ (rad)

**Kapitel F**

$c_{Ti}$	Federrate des Reifens (N/m)
$l$	Radstand (m)
$h_v$	Schwerpunkthöhe (m)
$a_y$	Querbeschleunigung ( $m/s^2$ )
$a_x$	Bremsverzögerung ( $m/s^2$ )
$a$	radseitiger Hebelarm (mm)
$A$	Schenkellänge (Kraftarms) (mm)
$b$	federseitiger Hebelarm (mm)
$b$	Breite der Blätter (mm)
$B_1 = n_1 \cdot b$	Kennzahl für die durchgehenden Blätter ( $n_1$ ) (mm)
$B_2 = n \cdot b$	Kennzahl für die nicht-durchgehenden Blätter (mm)
$c_F$	Federrate (N/mm)
$c_{F,S}$	Federrate der Schraubenfeder (N/mm)
$c_{F,Rad}$	Federrate der Feder, auf das Rad bezogen (N/mm)
$c_{F,Rad,f}$	radbezogene Federsteifigkeit der Federn der Vorderachse (N/mm)
$c_{F,Rad,i}$	radbezogene Federsteifigkeit der Feder einer Achse (N/mm)
$c_{F,t}$	Federrate der Torsionsfeder (N/mm)
$C_{St,Rad}$	Federrate des Stabilisators, auf das Rad bezogen (N/mm)
$d$	Innendurchmesser Torsionsfeder (mm)
$d$	Drahtdicke Schraubenfeder (mm)
$D$	Durchmesser der Feder (Mitte-zu-Mitte des Drahtes) (mm)
$E$	Elastizitätsmodul ( $N/mm^2$ )
$F_F$	Federkraft = Kraft am federseitigen Hebel $b$ (N)
$f_F$	Federweg an der Feder (Schraubenfeder) (mm)
$f_F$	Federweg der Achse (Blattfeder) (mm)
$f_{F,Rad,i,o}$	Federweg am kurvenäußeren Rad einer Achse (N);
$F_{F,Rad}$	Kraft der Feder am radseitigen Hebel $a$ (N)
$f_{F,Rad}$	Federweg, bezogen auf das Rad (mm)
$f_{F,Rad,f}$	Federweg an den Rädern der Vorderachse (mm)
$f_{Fo}$	Einfederung am kurvenäußeren Rad (mm)
$F_{NW}$	Nickwiderstandskraft an der Vorderachse (N)
$F_{RW f}$	Widerstandskraft gegen Rollen an der Vorderachse (N)
$F_{RW i,o}$	Widerstandskraft gegen Rollen am kurvenäußeren Rad einer Achse (N);
$F_{RW r}$	Widerstandskraft gegen Rollen an der Hinterachse (N)
$F_{V,z,ela}$	Elastischer Gewichtstransfer (folgt aus (E.6)) (N)
$F_Z$	Kraft der Feder aus Achslast (N)
$F_Z = F_f + F_r$	Gesamte Kraft an der Blattfeder (N)
$F_{Z,max}$	maximal zulässige Kraft
$G$	Schubmodul ( $N/mm^2$ )
$h$	Höhe der Blätter (mm)
$k_D$	Dämpferrate des Stoßdämpfers ( $N/(m/s)$ )

$k_{D, \text{Rad}}$	Dämpferrate des Stoßdämpfers, auf das Rad bezogen (N/(m/s))
$L_{\text{Schraubenfeder}}$	Länge der Schraubenfeder (mm)
$L$	Länge des Torsionsstabes (mm)
$l_f/l$	Massenverteilung auf die Hinterachse
$l_{\text{Ni}}$	Nickarm (m)
$l_r/l$	Massenverteilung auf die Vorderachse
$l_{\text{Ro,S}}$	Rollarm im Schwerpunkt (mm)
$M_{\text{Ni}}$	Nickmoment (N m)
$MR$	Motion Ratio (-)
$M_{\text{Ro}}$	Rollmoment (folgt aus (E.5)) (N m)
$m_{\text{V,G}}$	gedeferte Fahrzeugmasse (kg)
$n$	Anzahl der Windungen von Schraubenfedern
$n = n_1 + n_2$	Total Anzahl Blätter ( $n_2$ ) (-)
$n_1$	Anzahl der durchgehenden Blätter (-)
$n_2$	Anzahl der übrigen Blätter ( $= n - n_1$ ) (-)
$R_m$	Zugfestigkeit
$\gamma = f(B_1/B_2)$	Faktor für die Verhältnis zwischen $B_1$ und $B_2$ (-); Siehe die Graphik in Abb. F.7
$\sigma$	maximal zulässige Zugspannung (N/mm <sup>2</sup> )
$\Phi$	Rollwinkel (°)

---

## Kapitel G

$v_{\text{v,r,o}}$	Fahrzeuggeschwindigkeit am kurvenäußeren Rad (hier Index: r = hinten/Heckantrieb) (m/s)
$v_{\text{r,o}}$	Geschwindigkeitskomponente in Fahrzeuginnenrichtung am kurvenäußeren Rad (hier Index: r = hinten/Heckantrieb) (m/s)
$v_{\text{v,r,i}}$	Fahrzeuggeschwindigkeit am kurveninneren Rad (Index: r = hinten) (m/s)
$v_{\text{r,i}}$	Geschwindigkeitskomponente in Fahrzeuginnenrichtung am kurveninneren Rad (hier Index: r = hinten/Heckantrieb) (m/s)
$v_r$	Geschwindigkeitskomponente in Fahrzeuginnenrichtung im Achsmittelpunkt (hier Index: r = hinten/Heckantrieb) (m/s)
$\Delta v$	Geschwindigkeitsdifferenz in Fahrzeuginnenrichtung zwischen dem jeweiligen Rad und dem Achsmittelpunkt (m/s)
$\dot{\psi}_r$	Gierwinkelgeschwindigkeit um den Achsmittelpunkt (Index: r = hinten) (1/s)
$b_r$	Spurweite (hier Index: r = hinten/Heckantrieb) (m)
$F_{\text{Ti,r,o}}$	Resultierende Kraft am kurvenäußeren Reifen (hier Index: r = hinten) (N)

$F_{T_{r,i}}$	Resultierende Kraft am kurveninneren Reifen (hier Index: r = hinten) (N)
$\alpha_{r,o}$	Schräglaufwinkel am kurvenäußeren Reifen (hier Index: r = hinten) (rad)
$\alpha_{r,i}$	Schräglaufwinkel am kurveninneren Reifen (hier Index: r = hinten) (rad)
$T_{PN}$	Antriebsdrehmoment am Triebbling (N m)
$T_1$	Drehmoment an der linken Antriebswelle bzw. am linken Rad (N m)
$T_{rs}$	Drehmoment an der rechten Antriebswelle bzw. am rechten Rad (N m)
$n_{r,o}$	Drehzahl am kurvenäußeren Rad (hier Index: r = hinten/Heckantrieb) (1/min) oder (1/s)
$n_{fast}$	Drehzahl am schnellsten drehenden Rades (1/min) oder (1/s)
$n_{r,i}$	Drehzahl am kurveninneren Rad (hier Index: r = hinten/Heckantrieb) (1/min) oder (1/s)
$n_{fast}$	Drehzahl am langsamsten drehenden Rades (1/min) oder (1/s)
$n_{PN}$	Drehzahl des Triebblings (1/min) oder (1/s)
$n_{RG}$	Drehzahl des Tellerades (1/min) oder (1/s)
$\Delta n$	Drehzahldifferenz zwischen kurvenäußerem und kurveninnerem Rad (1/min) oder (1/s)
$i_{FD}$	Antriebsachsübersetzung (–)
$T_1$	Drehmoment an der linken Achsantriebswelle bzw. am linken Rad (N m)
$T_{rs}$	Drehmoment an der rechten Achsantriebswelle bzw. am rechten Rad (N m)
$T_{slow}$	Drehmoment an der am langsamsten drehenden Achsantriebswelle bzw. am langsamsten drehenden Rad (N m)
$T_{fast}$	Drehmoment an der am schnellsten drehenden Achsantriebswelle bzw. am schnellsten drehenden Rad (N m)
$S$	Sperrwert (%)
$T_{RG}$	Drehmoment am Tellerrad (= Antriebsmoment an der Achse $M_A$ ) (N m)
$M_A$	Antriebsmoment an der Achse (N m)
$M_A$	Antriebsmoment an der angetriebenen Achse (= Drehmoment am Tellerrad) (N m)
$M_M$	Motordrehmoment (N m)
$i_G$	Getriebeübersetzung des jeweiligen Gangs (–)
$i_D$	Übersetzung des Achsantriebs (–)
$\eta_{ges}$	Gesamtwirkungsgrad der Kraftübertragung vom Motor zur Antriebsachse (–)
$F_{W,x,A}$	Zugkraft an der Antriebsachse (Summe aus den Zugkräften an beiden Antriebsrädern bzw. gesamter äußerer Fahrwiderstand) (N)
$r_{dyn}$	dynamischer Radhalbmesser (m); hier für beide Antriebsräder gleich angenommen
$P_e$	effektive Motorleistung (W)

$n_M$	Motordrehzahl (1/s) (= Motordrehzahl (1/min)/60)
$F_{W,x,a,l}$	Zugkraft am linken Antriebsrad (N)
$F_{W,x,a,r}$	Zugkraft am rechten Antriebsrad (N)
$n_r$	Drehzahl an der rechten Achsantriebswelle bzw. am rechten Rad (1/s)
$n_l$	Drehzahl an der linken Achsantriebswelle bzw. am linken Rad (1/s)
$v_V$	Fahrzeuggeschwindigkeit (m/s) (= Fahrzeuggeschwindigkeit (km/h) /3,6)
$\Delta F_{\text{Diff}}$	umverteilter Zugkraftanteil je Rad (N)
$F_{W,x,A}$	Zugkraft an der Antriebsachse (Summe aus den Zugkräften an beiden Antriebsrädern bzw. gesamter äußerer Fahrwiderstand) (N)
$v_{\text{fast}}$	Geschwindigkeit in Längsrichtung am schnellsten drehenden Rad (m/s)
$v_{\text{slow}}$	Geschwindigkeit in Längsrichtung am langsamsten drehenden Rad (m/s)
$v_{r,o}$	Geschwindigkeitskomponente in Fahrzeuginnenrichtung am kurvenäußeren Rad (hier Index: r = hinten/Heckantrieb) (m/s)
$v_{r,i}$	Geschwindigkeitskomponente in Fahrzeuginnenrichtung am kurveninneren Rad (hier Index: r = hinten/Heckantrieb) (m/s)
$v_r$	Geschwindigkeitskomponente in Fahrzeuginnenrichtung im Achsmittelpunkt (hier Index: r = hinten/Heckantrieb) (m/s)
$\Delta v$	Geschwindigkeitsdifferenz in Fahrzeuginnenrichtung zwischen dem jeweiligen Rad und dem Achsmittelpunkt (m/s)
$\dot{\psi}_r$	Gierwinkelgeschwindigkeit um den Achsmittelpunkt (Index: r = hinten) (1/s)
$b_r$	Spurweite (hier Index: r = hinten/Heckantrieb) (m)
$a_{y,r}$	Querbeschleunigung des Fahrzeugs im Achsmittelpunkt (hier Index: r = hinten/Heckantrieb) (m/s <sup>2</sup> )
$a_y$	Querbeschleunigung des Fahrzeugs (m/s <sup>2</sup> )
$v_{f,o}$	Geschwindigkeitskomponente in Fahrzeuginnenrichtung am kurvenäußeren Rad (hier Index: f = vorne/Frontantrieb) (m/s)
$v_{f,i}$	Geschwindigkeitskomponente in Fahrzeuginnenrichtung am kurveninneren Rad (hier Index: f = vorne/Frontantrieb) (m/s)
$v_f$	Geschwindigkeitskomponente in Fahrzeuginnenrichtung im Achsmittelpunkt (hier Index: f = vorne/Frontantrieb) (m/s)
$\dot{\psi}_f$	Gierwinkelgeschwindigkeit um den Achsmittelpunkt (Index: f = vorne) (1/s)
$b_f$	Spurweite (hier Index: f = Vorderachse) (m)
$a_{y,f}$	Querbeschleunigung des Fahrzeugs im Achsmittelpunkt (hier Index: f = vorne/Frontantrieb) (m/s <sup>2</sup> )
$F_{T,r,o}$	resultierende am kurvenäußeren Rad übertragene Kraft (hier Index: r = hinten/Heckantrieb) (m/s)
$F_{W,x,r,o}$	am kurvenäußeren Rad übertragene Längskraft (hier Index: r = hinten/Heckantrieb) (m/s)

$F_{w,y,r,o}$	am kurvenäußeren Rad übertragene Querkraft (hier Index: r = hinten/Heckantrieb) (m/s)
$F_{Ti,r,i}$	resultierende am kurveninneren Rad übertragene Kraft (hier Index: r = hinten/Heckantrieb) (m/s)
$F_{w,x,r,i}$	am kurveninneren Rad übertragene Längskraft (hier Index: r = hinten/Heckantrieb) (m/s)
$F_{w,y,r,i}$	am kurveninneren Rad übertragene Querkraft (hier Index: r = hinten/Heckantrieb) (m/s)
$v_r$	Geschwindigkeitskomponente in Fahrzeuginnenrichtung im Achsmittelpunkt (hier Index: r = hinten/Heckantrieb) (m/s)
$\dot{\psi}_r$	Gierwinkelgeschwindigkeit um den Achsmittelpunkt (Index: r = hinten) (1/s)
$b_r$	Spurweite (hier Index: r = hinten/Heckantrieb) (m)
$F_{W,Y,r,o}$	übertragbare Seitenkraft am kurvenäußeren Rad der Hinterachse (N)
$F_{Ti,r,o,max}$	maximal übertragbare Reifenkraft am kurvenäußeren Rad der Hinterachse (N)
$F_{Ti,r,i,max}$	maximal übertragbare Reifenkraft am kurveninneren Rad der Hinterachse (N)
$m_{V,dr,r}$	Hinterachslast des betriebsfertigen Rennfahrzeugs inkl. Fahrer (kg)
$Ant_{V,dr,f}$	Anteilige Vorderachslast des betriebsfertigen Rennfahrzeugs inkl. Fahrer (%)
$R$	Kurvenradius (m)
$TCT_{Radius,r,o}$	maximal übertragbare Reifenkraft am kurvenäußeren Rad der Hinterachse als Ersatzradius des Kamm'schen Kreises (N)
$TCT_{Radius,r,i}$	maximal übertragbare Reifenkraft am kurveninneren Rad der Hinterachse als Ersatzradius des Kamm'schen Kreises (N)
$TCT_{Radius,max}$	maximaler Traktionsradius (maximale übertragbare Kraft!) eines Reifens (N)
$F_{W,Z,opt}$	optimale Radlast zum Erreichen von $TCT_{Radius,max}$ (N)
$k_{Fr,0}$	anfänglicher Reibungskoeffizient (Startwert) (-)
$k_{Fr,L}$	Koeffizient für die Abnahme des Reibungskoeffizienten unter Radlast (erfolgt linear mit der Radlast) (1/N)

---

## Kapitel H

$F_{V,y}$	Zentripetalkraft (N)
$\mu_{W,y}$	Haftreibungszahl in Querrichtung (-)
$a_y$	Querbeschleunigung (Zentripetalbeschleunigung) (m/s <sup>2</sup> )
$v_v$	Kurvengeschwindigkeit des Fahrzeugs (m/s)
$g$	Erdbeschleunigung = 9,81 (m/s <sup>2</sup> )
$F_{V,z,t}$	Gewichtskraft des betriebsfertigen Gesamtfahrzeugs inkl. Fahrer (N)

$m_{V,t,dr}$	Masse des betriebsfertigen Gesamtfahrzeugs inkl. Fahrer (kg)
$R$	Kurvenradius (m)
$p_{stat}$	Statischer Druck (N/m <sup>2</sup> ) bzw. (bar); 1 bar = 10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup>
$p_{dyn}$	Dynamischer Druck (N/m <sup>2</sup> ) bzw. (bar)
$p_{pot}$	Druck der Lage (N/m <sup>2</sup> ) bzw. (bar)
$p_{ges}$	Gesamtdruck (N/m <sup>2</sup> ) bzw. (bar)
$\rho_L$	Luftdichte (kg/m <sup>3</sup> )
$z$	Höhe zum Bezugssystem (m)
$v_{Ström}$	Strömungsgeschwindigkeit bzw. Anströmgeschwindigkeit (m/s)
$A_{Ström}$	Strömungsquerschnitt (m <sup>2</sup> )
$\dot{m}$	Massenstrom (kg/s)
$Re$	Reynoldszahl (–)
$D$	Charakteristische Länge (m); bei Rohrströmungen z. B. der Rohrdurchmesser, bei Flügeln die Sehnenlänge $c$ (siehe Abb. H.8)
$\nu_L$	Kinematische Viskosität der Luft (m <sup>2</sup> /s) bzw. (St = Stokes); 1 St = 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /s
$F_{L,x}$	Luftwiderstandskraft (N); Drag
$F_{L,z}$	Abtriebskraft (N); Downforce
$c_W$	Luftwiderstandsbeiwert (–)
$c_A$	Abtriebsbeiwert (–)
$v_V$	Fahrzeuggeschwindigkeit (m/s)
$v_L$	Windgeschwindigkeit (m/s)
$A$	Angeströmter Fahrzeugquerschnitt = Projektionsfläche (m <sup>2</sup> ); siehe Kap. A, Abb. A.16 und Tab. A.11
$p_L$	Luftdruck (N/m <sup>2</sup> ); 1 bar = 10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup> = 10 <sup>5</sup> Pa
$V_L$	Luftvolumen (m <sup>3</sup> )
$m_L$	Luftmasse (kg)
$T_L$	Lufttemperatur (K); Umrechnung: $T_L [K] = t_L [°C] + 273,15$
$R_L$	Allgemeine Gaskonstante der trockenen Luft (287 J/(kg · K))
$p_W$	Druck des Wasserdampfes (N/m <sup>2</sup> ); 1 bar = 10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup>
$R_W$	Allgemeine Gaskonstante des Wasserdampfes (461,5 J/(kg · K))
$p_{SW}$	Sättigungsdruck des Wasserdampfes (N/m <sup>2</sup> ) in Abhängigkeit der Temperatur
$r_L$	Relative Luftfeuchte (%)
$Ant_f$	Achslastanteil vorne (–)
$Ant_r$	Achslastanteil hinten (–)
$Ant_{lat,f}$	Anteil der lateralen dynamischen Achslastverlagerung vorne (–)
$Ant_{lat,r}$	Anteil der lateralen dynamischen Achslastverlagerung hinten (–)
$Ant_{A,f}$	Anteil des Abtriebs vorne (–)
$Ant_{A,r}$	Anteil des Abtriebs hinten (–)
$a_y$	Querbeschleunigung (Zentripetalbeschleunigung) (m/s <sup>2</sup> )

$h_V$	Höhe des Fahrzeugschwerpunktes (m)
$b_f$	Spurweite vorne (m)
$b_r$	Spurweite hinten (m)
$c_{A,Fl}$	Abtriebsbeiwert eines Flügels (–)
$c$	Sehnenlänge eines Flügels (m); siehe Abb. H.8
$s$	Spannweite eines Flügels (m)
$AOA$	Anstellwinkel (Angle of attack)
$BHP$	Widerstandsleistung (Brake horse power)
$O_f$	Nickpol der Vorderradaufhängung (= $NZ_f$ )
$O_r$	Nickpol der Hinterradaufhängung (= $NZ_r$ )
$O$	Nickpol des Gesamtfahrzeugs ( $NZ$ )
$W_f$	Reifenaufstandspunkt Vorderachse
$W_r$	Reifenaufstandspunkt Hinterachse
$m_{V,t,dr}$	Gesamtmasse des betriebsfertigen Rennwagens inkl. Fahrer (kg)
$m_{V,t,dr,C}$	gefederte Masse des betriebsfertigen Rennwagens inkl. Fahrer (kg)
$m_{W,f}$	Ungefederte Masse der Vorderachse (kg)
$m_{W,r}$	Ungefederte Masse der Hinterachse (kg)
$F_{L,z,Fl,f}$	Abtriebskraft am Frontflügel (N)
$F_{L,z,Fl,r}$	Abtriebskraft am Heckflügel (N)
$F_{L,z,UB}$	Abtriebskraft am Unterboden (N)
$z$	Weg des Aufbaus (m)
$z_{W,f}$	Weg der ungefederten Massen der Vorderachse (m)
$z_{W,r}$	Weg der ungefederten Massen der Hinterachse (m)
$k_f$	radbezogene Dämpfungsfeder der Vorderachse (kg/s)
$k_r$	radbezogene Dämpfungsfeder der Hinterachse (kg/s)
$c_f$	radbezogene Federrate der Federn der Vorderachse (N/m)
$c_{T,f}$	Federrate der Vorderreifen (N/m)
$c_r$	radbezogene Federrate der Federn der Hinterachse (N/m)
$c_{T,r}$	Federrate der Hinterreifen (N/m)
$\varphi_O$	Nickwinkel (rad)
$FH_{dyn,f}$	(Dynamische) Fahrhöhe an der Vorderachse (m) bzw. (mm)
$FH_{dyn,r}$	(Dynamische) Fahrhöhe an der Hinterachse (m) bzw. (mm)
$l_{S,f}$	Horizontaler Abstand des Sensors vor der Vorderachse (m) bzw. (mm)
$l_{S,r}$	Horizontaler Abstand des Sensors vor der Hinterachse (m) bzw. (mm)
$l$	Radstand (m) bzw. (mm)
$z_{S,f}$	Einbauhöhe des Sensors an der Vorderachse (m) bzw. (mm)
$z_{S,r}$	Einbauhöhe des Sensors an der Hinterachse (m) bzw. (mm)
$b_f$	Spurweite an der Vorderachse (m) bzw. (mm)
$b_r$	Spurweite an der Hinterachse (m) bzw. (mm)
$b_{S,f}$	Lateraler Abstand der Sensoren an der Vorderachse (symmetrisch zur Fahrzeugmitte) (m) bzw. (mm)