

# HANSER



## Leseprobe

zu

## „Grundlagen der Kraftfahrzeugtechnik“

von Karl-Ludwig Haken

ISBN (Buch): 978-3-446-45412-5

ISBN (E-Book): 978-3-446-45570-2

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

## Vorwort

Das Kraftfahrzeug ist über 130 Jahre alt, dennoch kann seine Entwicklung keinesfalls als abgeschlossen betrachtet werden. Es gilt nach wie vor, die Sicherheit und die Umweltverträglichkeit weiter zu steigern. Hierbei ergeben sich durch die immer noch wachsenden Möglichkeiten der Elektronik auf der einen Seite und durch die Entwicklung neuer Materialien auf der anderen Seite ständig weitere Entwicklungsmöglichkeiten. Der Beruf der Fahrzeugingenieure bleibt daher spannend.

Dennoch können die Ingenieure die neuen Möglichkeiten nur nutzen, wenn sie die Grundlagen des Kraftfahrzeugs beherrschen. Mit einem Beispiel möchte ich dies verdeutlichen: Durch den Einsatz einer Unterbodenverkleidung lässt sich der Luftwiderstand reduzieren, auf der anderen Seite erhöht sich hierdurch die Fahrzeugmasse. Ein geringerer Luftwiderstand führt zu einer Verbrauchsreduzierung, eine Erhöhung der Fahrzeugmasse hingegen zu einer Vergrößerung des Verbrauchs. Möchte man nun bereits während der Entwicklung des Fahrzeugs die Auswirkung dieser Maßnahme auf den Verbrauch richtig abschätzen, muss man den Fahrwiderstand in Abhängigkeit vom Fahrzustand berechnen können. Hieraus lässt sich dann die jeweils erforderliche Motorleistung bestimmen. Je nach gewählter Übersetzung von Achs- und Schaltgetriebe ergeben sich eine andere Motordrehzahl, damit ein anderer Betriebspunkt im Motorkennfeld und auch ein anderer Streckenverbrauch. Ich denke, dieses Beispiel zeigt deutlich, dass man die Zusammenhänge verstehen muss, um diese Aufgabe erfolgreich lösen zu können. Daher werden bei der Ausbildung von Fahrzeugingenieuren nach wie vor die Grundlagen des Kraftfahrzeugs ausgiebig behandelt.

Als Dozent werde ich häufig nach Büchern zu den Grundlagen des Kraftfahrzeugs gefragt. Meine Empfehlungen diverser Bücher zum Thema Kraftfahrzeug stellten meine Studierenden nicht immer voll zufrieden. Entweder waren ihnen die Bücher zu spezifisch auf einzelne Spezialgebiete ausgerichtet oder erschienen ihnen zu theoretisch. So entstand dieses vorliegende Buch, das sich in erster Linie an Studierende richtet, aber sicherlich auch im späteren Berufsleben noch öfters hilfreich sein dürfte. Dem Wunsch, unterschiedlichen Ansprüchen gerecht zu werden, soll dadurch Rechnung getragen werden, dass vereinfachte und wissenschaftlich möglichst exakte Betrachtungen in jeweils separaten Unterkapiteln zusammengefasst sind.

Herzlich bedanken möchte ich mich bei allen, die zum Gelingen dieses Buches beigetragen haben. Dies sind alle genannten und nicht genannten Firmen und die dahinter stehenden Personen, die mir geeignete Bilder und technische Beschreibungen zur Verfügung gestellt haben. Besonderer Dank gilt dem Carl Hanser Verlag, vertreten durch *Ute Eckardt* und *Katrin Wulst*, die mich mit Geduld, Rat und Tat bei der Gestaltung des Buches unterstützt haben. Bedanken möchte ich mich auch bei meinem Kollegen und Mitherausgeber *Werner Klement* und bei meinen Studierenden, die mich ermutigt haben, dieses Buch zu schreiben. Ganz besonders bedanken möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden für die Rücksichtnahme und für die Korrektur meines Manuskripts.

Falls Sie Anregungen zur Verbesserung dieses Buches haben, lassen Sie es mich wissen. Nun wünsche ich Ihnen viel Spaß beim Lesen!

Esslingen, im Dezember 2017      *Karl-Ludwig Haken*

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	9			
<b>2</b>	<b>Gesamtfahrzeug</b> .....	11			
	2.1 Koordinatensysteme .....	11			
	2.2 Wichtige Maße .....	12			
	2.3 Aufteilung in Baugruppen .....	14			
<b>3</b>	<b>Antrieb</b> .....	15			
	3.1 Antriebskonzepte.....	15			
	3.2 Ausführungen und Kombinationen von Antriebsmaschinen.....	18			
	3.3 Speicherung der Antriebsenergie ....	22			
	3.4 Antriebsstrang, Kennungswandler für Verbrennungsmotoren.....	24			
	3.4.1 Anordnung, Aufbau, Funktion .....	24			
	3.4.2 Ausführungen von Kupp- lungen und Wandlern.....	26			
	3.4.3 Ausführungen von Getrieben	29			
	3.4.4 Ausführung des Differenzials	34			
<b>4</b>	<b>Fahrwerk</b> .....	36			
	4.1 Räder und Reifen .....	36			
	4.1.1 Anforderungen an den Reifen	36			
	4.1.2 Reifenaufbau .....	37			
	4.1.3 Reifenabmessungen und Reifenkennzeichnungen .....	38			
	4.1.4 Räder .....	42			
	4.1.5 Eigenschaften des Reifens bezüglich des Kraftschlusses	43			
	4.1.6 Reifenverhalten bei reiner Längs- oder Seitenkraft .....	46			
	4.1.7 Reifenverhalten bei Über- lagerung von Längs- und Seitenkraft .....	56			
	4.1.8 Dynamisches Reifenverhalten	58			
	4.1.9 Federeigenschaften des Reifens .....	60			
	4.2 Bremsen .....	61			
	4.2.1 Einteilung .....	61			
	4.2.2 Aufgaben der Bremsanlage ..	64			
	4.2.3 Aufbau der Bremsanlage .....	64			
	4.2.4 Bauarten von Brems- anlagen .....	69			
	4.3 Radführungen.....	77			
	4.3.1 Aufbau von Radführungen ..	78			
	4.3.2 Bauarten von Radführungen	78			
	4.3.3 Achskinematik .....	87			
	4.3.4 Achselastokinematik .....	95			
	4.4 Lenkung .....	97			
	4.4.1 Anforderungen an die Lenkung.....	97			
	4.4.2 Aufbau der Lenkung.....	98			
	4.4.3 Hilfskraftlenkung.....	103			
	4.4.4 Lenkungen mit variabler Übersetzung .....	107			
	4.5 Federung und Dämpfung .....	109			
	4.5.1 Aufgaben der Federung .....	109			
	4.5.2 Bauarten von Federn.....	111			
	4.5.3 Schwingungsdämpfer .....	121			
<b>5</b>	<b>Aufbau/Karosserie</b> .....	127			
	5.1 Bezeichnungen der einzelnen Bauteile einer Pkw-Karosserie .....	127			
	5.2 Aufbaukonzepte.....	127			
	5.3 Aufbauvarianten .....	132			
<b>6</b>	<b>Elektrik/Elektronik</b> .....	133			
	6.1 Bordelektrik .....	133			
	6.2 Elektronik-Bussysteme .....	133			
<b>7</b>	<b>Fahrwiderstand</b> .....	137			
	7.1 Radwiderstand.....	137			
	7.1.1 Rollwiderstand .....	137			
	7.1.2 Schwallwiderstand .....	142			
	7.1.3 Lagerreibung .....	142			
	7.1.4 Vorspurwiderstand .....	144			
	7.1.5 Kurvenwiderstand .....	145			
	7.1.6 Federungswiderstand .....	148			
	7.1.7 Gesamter Radwiderstand.....	149			
	7.2 Luftwiderstand .....	150			
	7.2.1 Fahrzeugumströmung .....	150			

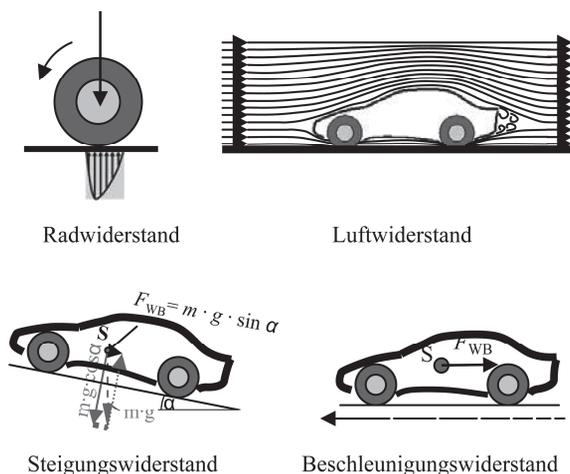
7.2.2	Luftwiderstand bei Wind- stille .....	151	9.3	Beschleunigungsfähigkeit .....	195
7.2.3	Luftwiderstand bei natürlichem Wind .....	153	9.4	Sonderfall: Motor im Schubetrieb..	197
7.3	Steigungswiderstand .....	155	9.5	Genauere Betrachtung .....	199
7.4	Beschleunigungswiderstand.....	156	<b>10</b>	<b>Kraftstoffverbrauch .....</b>	<b>203</b>
7.5	Zughakenwiderstand.....	158	10.1	Kenngößen .....	203
7.6	Gesamtfahrwiderstand .....	160	10.2	Normverbrauch .....	205
7.7	Fahrwiderstandsleistung .....	160	10.3	Berechnung des Streckenverbrauchs	207
7.8	Experimentelle Ermittlung des Fahrwiderstands .....	162	10.4	Verbrauchsgünstige Übersetzung und Fahrweise .....	209
7.8.1	Ermittlung des Radwiderstands mittels Prüfvorrichtung .....	162	<b>11</b>	<b>Fahrdynamik – Fahrleistungen begrenzt durch Kraftschluss .....</b>	<b>214</b>
7.8.2	Ermittlung des Luftwider- stands im Windkanal.....	163	11.1	Längsdynamik .....	214
7.8.3	Ermittlung des Steigungs- widerstands.....	166	11.1.1	Dynamische Radlasten beim Beschleunigen, Bremsen, Steigungs- und Gefällefahrt .....	214
7.8.4	Ermittlung des Beschleuni- gungswiderstands.....	167	11.1.2	Bestimmung des Nick- winkels .....	218
7.8.5	Ermittlung des Fahrwider- stands und einzelner Anteile mit dem Fahrzeug auf der Teststrecke .....	167	11.1.3	Maximale Beschleunigungs- und Steigfähigkeit auf- grund des Kraftschlusses ..	219
<b>8</b>	<b>Antriebskennfeld.....</b>	<b>170</b>	11.1.4	Erforderlicher Kraftschluss beim Antreiben .....	222
8.1	Erforderliche Antriebskraft und Antriebsleistung an den Antriebs- rädern .....	170	11.1.5	Bremsverhalten .....	223
8.2	Ideale Antriebskennung .....	170	11.1.5.1	Ideale Bremskraftvertei- lung/idealer Allrad- antrieb.....	223
8.3	Reale Kennfelder von Fahrzeug- motoren .....	172	11.1.5.2	Auslegung der installierten Bremskraftverteilung.....	227
8.4	Annäherung des Antriebskennfelds an das ideale Kennfeld mittels Anfahrkupplung und Stufengetriebe	176	11.1.5.3	Das Antiblockiersystem (ABS), Bremskraftminderer und die elektronische Bremskraftverteilung.....	229
8.5	Leistungsfluss mit Verlusten .....	180	11.1.5.4	Erforderlicher Kraftschluss beim Bremsen .....	236
8.6	Getriebeabstufung.....	182	11.1.5.5	Mögliche Abbremsung ohne blockierte Räder bzw. ohne aktives ABS .....	237
8.7	Beispiel.....	186	11.1.5.6	Brems- und Anhalteweg....	238
8.8	Besonderheiten bei der Verwendung eines Drehmomentwandlers beim Anfahren .....	188	11.1.5.7	Zusammenhang zwischen Bremskraft und Fußkraft...	243
<b>9</b>	<b>Fahrleistungen, begrenzt durch Motorleistung.....</b>	<b>191</b>	11.1.5.8	Bremsleistung und Brems- energie .....	<b>245</b>
9.1	Höchstgeschwindigkeit.....	191			
9.2	Steigfähigkeit .....	193			

11.2	Querdynamik .....	245	<b>12</b>	<b>Übungsaufgaben</b> .....	281
11.2.1	Eigenlenkverhalten .....	248	12.1	Beispielfahrzeuge.....	281
11.2.2	Wankwinkel bei stationärer Kurvenfahrt .....	254	12.2	Aufgaben.....	285
11.2.3	Dynamische Radlasten beim Vierradfahrzeug bei stationärer Kurvenfahrt .....	259	12.2.1	Aufgaben zum Fahrwider- stand.....	285
11.2.4	Auswirkungen der Radlast- änderungen bei Kurven- fahrt auf die übertrag- baren Seitenkräfte.....	262	12.2.2	Aufgaben zur Höchst- geschwindigkeit .....	286
11.2.5	Möglichkeiten zur Beein- flussung des Eigenlenk- verhaltens beim Vierrad- fahrzeug .....	264	12.2.3	Aufgaben zur Steig- und Beschleunigungsfähigkeit ..	287
11.2.6	Querdynamik bei Nutzfahr- zeugen .....	268	12.2.4	Aufgaben zum Kraftstoff- verbrauch.....	292
11.3	Vertikaldynamik.....	270	12.2.5	Aufgaben zum Brems- verhalten .....	293
11.4	Fahrdynamikregelsysteme.....	275	12.3	Lösungen.....	297
			<b>13</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	305
			<b>14</b>	<b>Formelzeichenverzeichnis</b> .....	306
			<b>15</b>	<b>Sachwortverzeichnis</b> .....	310

## 7 Fahrwiderstand

Bereits als Kind haben wir gespürt, dass wir beim Fahrrad fahren einen Fahrwiderstand überwinden müssen. Beim Befahren von Steigungen oder beim Beschleunigen mussten wir eine entsprechend größere Kraft aufbringen.

Der **Fahrwiderstand** ist eine der Fahrzeugbewegung entgegen gerichtete Kraft und wird in diesem Buch mit  $F_w$  bezeichnet. Üblicherweise teilt man den Fahrwiderstand beim Kraftfahrzeug entsprechend Bild 7.1 auf. Hierbei wandeln **Rad-** und **Luftwiderstand** kinetische Energie in Wärme um, die an die Umgebung abgegeben wird. **Steigungs-** und **Beschleunigungswiderstand** sind hingegen kinetische Energien, die im Fahrzeug gespeichert sind und nur dann in Wärme umgewandelt werden, wenn beim Fahrzeug mit der Betriebsbremse oder dem Verbrennungsmotor gebremst wird (Ausnahme: Energie wird beim Bremsen z. B. in der Batterie gespeichert). Aus der Fahrpraxis wissen wir, dass wir ohne Motorleistung bergab fahren können. Die im Fahrzeug gespeicherte Energie wird zum Überwinden von Rad- und Luftwiderstand verwendet. Im Folgenden werden die einzelnen Fahrwiderstandsanteile aus Bild 7.1 genauer betrachtet.



**Bild 7.1:** Klassische Aufteilung des Fahrwiderstands beim Kraftfahrzeug

### 7.1 Radwiderstand

Der **Radwiderstand**  $F_{WR}$  hat verschiedene Ursachen. Dementsprechend wird er in weitere Fahrwiderstandsanteile aufgeteilt:

- Rollwiderstand  $F_{WRR}$
- Schwallwiderstand  $F_{WRS}$
- Lagerwiderstand  $F_{WRL}$
- Vorspurwiderstand  $F_{WRV}$
- Kurvenwiderstand  $F_{WRK}$
- Federungswiderstand  $F_{WRF}$

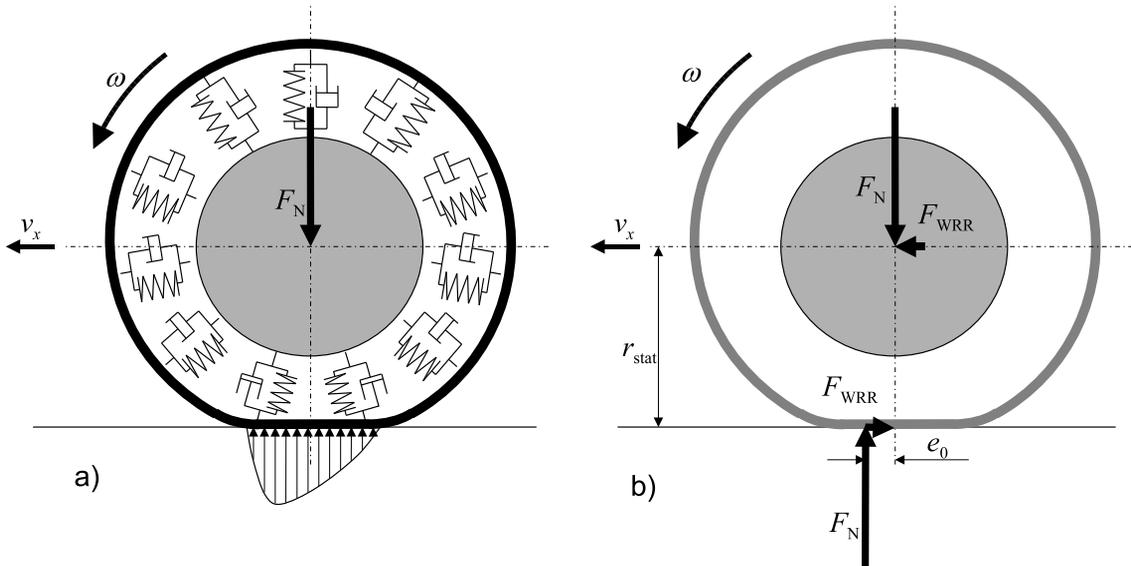
Den am Rad ebenfalls auftretenden **Lüfterwiderstand** rechnen wir dem Luftwiderstand zu. Damit gilt für den Radwiderstand:

$$F_{WR} = F_{WRR} + F_{WRS} + F_{WRL} + F_{WRV} + F_{WRK} + F_{WRF} \quad (\text{Gl. 7.1})$$

#### 7.1.1 Rollwiderstand

Die Entstehung des Rollwiderstands  $F_{WRR}$  können wir uns mithilfe eines einfachen physikalischen Ersatzmodells des Luftreifens klarmachen, vgl. Bild 7.2. Der Reifen ist mit einem Gas (Umgebungsluft oder Stickstoff) gefüllt. Da Gas kompressibel ist, hat es federnde Eigenschaften, d. h., im Ersatzmodell stellen wir dieses Gas durch viele Federn dar, die von der Reifenmitte zum Laufstreifen hin gerichtet sind. Beim Belasten dieses Rades durch die Radlast federt der Reifen im Bereich der Kontaktzone mit der Fahrbahn ein. Es bildet sich eine **Aufstandsfläche**. Diese wird auch als **Latsch** bezeichnet. Das Einfedern bewirkt eine Verformung des Laufstreifens und der Seitenwände des Reifens. Da der Reifen zu großen Anteilen aus Gummi besteht (vgl. Kap. 4.1.1) und Gummi starke innere Dämpfung aufweist, bringen wir im Ersatzmodell Dämpferelemente an, die parallel zu den Federn wirken.

Beim Abrollen des Reifens federt der Laufstreifen im vorderen Bereich der Reifenaufstandsfläche



**Bild 7.2:** Einfaches Reifenersatzmodell zur Erläuterung der Entstehung des Rollwiderstands.

a) physikalisches Ersatzmodell (Längskräfte nicht dargestellt), b) aus der Flächenpressung resultierende Kräfte

(**Reifeneinlauf**) ein. Hierbei überwindet er Federkraft und Dämpferkraft. Im hinteren Bereich der Reifenaufstandsfläche (**Reifenauslauf**) federt der Laufstreifen relativ zur Felge aus. Es wirkt die Federkraft abzüglich der Dämpferkraft, da der Dämpfer das Ausfedern des Laufstreifens teilweise verhindert. Es ergibt sich somit eine ungleichmäßige Flächenpressung in der Aufstandsfläche entsprechend Bild 7.2 a. Bildet man eine Resultierende aus der Flächenpressung so erhält man die so genannte **Normalkraft**  $F_N$ , die, in Fahrtrichtung betrachtet, vor der Radmitte angreift, vgl. Bild 7.2 b, und senkrecht zur Fahrbahn gerichtet ist. Der Abstand in Radlängsrichtung zwischen Radmitte und  $F_N$  wird mit  $e_0$  bezeichnet. Die Normalkraft  $F_N$  entspricht der Radlast, auf die in Kap. 11 noch genauer eingegangen wird.

Die Kräfte, welche die Radlast verursachen, wirken in der Radmitte, da ein als ideal reibungsfrei betrachtetes Radlager nur durch die Radachse wirkende Kräfte übertragen kann. Damit ergibt sich ein Kräftepaar, vgl. Bild 7.2 b, das ein der Raddrehbewegung entgegengesetztes gerichtetes Moment bewirkt. Um dieses Moment während des Abrollens

des Rades an einem nicht angetriebenen Rad zu überwinden, ist ein weiteres Kräftepaar erforderlich: Die Radachse muss mit der Kraft  $F_{WRR}$  in Fahrtrichtung geschoben werden. Die entgegengesetzt gerichtete gleich große Reibungskraft, die in der Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahn wirkt, sorgt dafür, dass das Rad abrollt und nicht rutscht (auf Eis mit einem Reibwert von  $\mu = 0,1$  würde z. B. ein nicht angetriebenes Rad mit einem annähernd platten Reifen, der einen Rollwiderstandsbeiwert  $f_R > 0,1$  aufweist, rutschen!). Für den Rollwiderstand gilt:

$$F_{WRR} = \frac{e_0}{r_{stat}} \cdot F_N \quad (\text{Gl. 7.2})$$

Hierbei wird  $e_0$  gern als **Hebelarm der rollenden Reibung** bezeichnet. Den Abstand zwischen Radachse und Fahrbahn bezeichnen wir mit  $r_{stat}$ , vgl. Kap. 2.2. Unter der Annahme,  $e_0$  und  $r_{stat}$  seien konstant, ist damit  $F_{WRR}$  direkt proportional zur Normalkraft  $F_N$ . Daher wird der **Rollwiderstandsbeiwert**  $f_R = e_0/r_{stat}$  eingeführt. Damit gilt:

$$F_{WRR} = f_R \cdot F_N \quad (\text{Gl. 7.3})$$

Bei der Berechnung des Fahrwiderstands ist es üblich, den Rollwiderstandsbeiwert als konstant (und damit auch unabhängig von der Radlast) zu betrachten. Wie weiter unten gezeigt wird, ist dies nur eine Näherung. Mit dieser Näherung gilt für das gesamte Fahrzeug:

$$F_{WRR} = \sum F_N \cdot f_R \quad (\text{Gl. 7.4})$$

Bei Vernachlässigung von aerodynamischen Auf- oder Abtriebskräften (vgl. Kap. 7.2.3) gilt entsprechend Bild 7.3 für die Summe der Radlasten in der Steigung:

$$\sum F_N = m \cdot g \cdot \cos \alpha \quad (\text{Gl. 7.5})$$

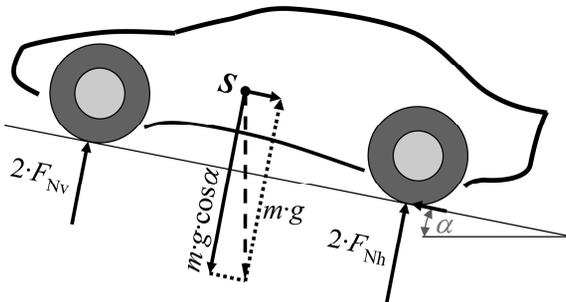
Damit gilt für den Rollwiderstand:

$$F_{WRR} = m \cdot g \cdot f_R \cdot \cos \alpha \quad (\text{Gl. 7.6})$$

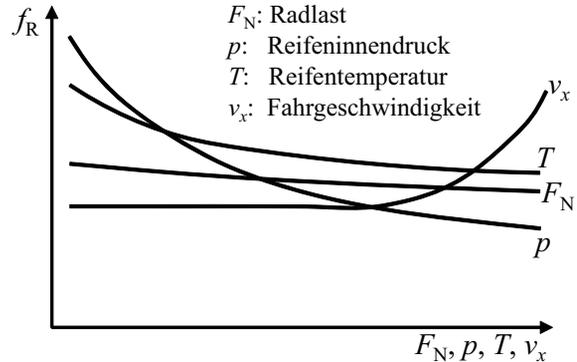
Bei genauerer Betrachtung des Rollwiderstandes zeigt sich, dass der Rollwiderstandsbeiwert keine Konstante ist, sondern von einigen Parametern abhängt, wie in Bild 7.4 qualitativ dargestellt.

Mit zunehmender **Reifentemperatur** sinkt der Rollwiderstand. Die zur Berechnung des Fahrwiderstands angesetzten Beiwerte beziehen sich normalerweise auf den bereits warmgefahrenen Reifen.

Mit steigendem **Reifeninnendruck** reduziert sich der Rollwiderstand, da der Reifen weniger stark abgeplattet ist. Dieser Einfluss lässt sich auch mit dem Ersatzmodell in Bild 7.2a leicht erklären. Erhöhen wir den Reifeninnendruck, werden die Federn im Ersatzmodell härter und damit die Federwege



**Bild 7.3:** Summe der Radlasten in der Steigung bei Vernachlässigung von aerodynamischem Auftrieb



**Bild 7.4:** Einflussfaktoren auf den Rollwiderstand

und Federgeschwindigkeiten beim Abrollen des Reifens geringer. Die Dämpferkräfte, die für den Rollwiderstand verantwortlich sind, nehmen ab. Umgekehrt bedeutet dies, wir riskieren beim Fahren mit hoher Geschwindigkeit und zu geringem Luftdruck eine Überhitzung des Reifens!

Der Einfluss der **Fahrgeschwindigkeit** ist stark nichtlinear. Bei geringen bis mittleren Geschwindigkeiten bleibt der Rollwiderstand in erster Näherung konstant. Bei hohen Geschwindigkeiten steigt er mit annähernd der 4. Potenz der Geschwindigkeit an. Dies führt zu einer starken Reifenerwärmung. Bei Hochgeschwindigkeitsreifen muss daher durch entsprechende Wahl der Struktur und Materialien dafür gesorgt werden, dass der exponentielle Anstieg des Rollwiderstands erst bei sehr hohen Geschwindigkeiten auftritt. Betrachten wir wieder das Ersatzmodell in Bild 7.2, so bewirkt eine Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit eine Erhöhung der Federgeschwindigkeiten, nicht aber der Federwege. Dies zeigt, dass die Dämpfung nicht geschwindigkeitsproportional sein kann, sondern in erster Linie proportional zum Weg ist.

Mit **zunehmender Radlast** nimmt der Rollwiderstandsbeiwert leicht ab. Dies bedeutet, dass der Rollwiderstand mit zunehmender Radlast nur degressiv zunimmt, da  $F_{WRR} = F_N \cdot f_R$ . Auch dies lässt sich mit dem Reifenmodell erklären, wenn man berücksichtigt, dass die Reifenfederung einer Gasfeder entspricht. Diese hat eine progressive Kennlinie (vgl. Kap. 4.1.5). Bei Verdopplung der Radlast

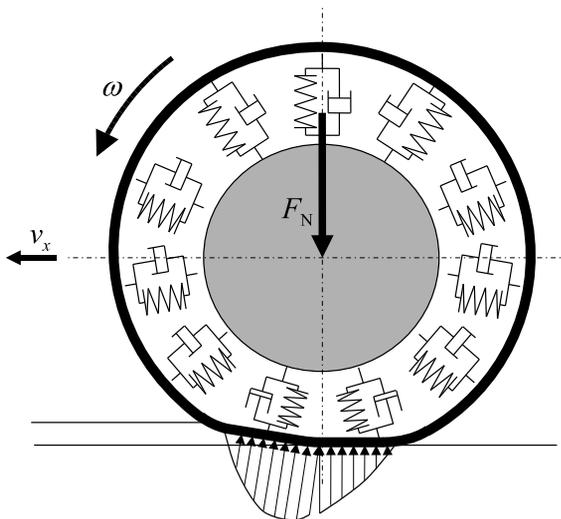
federt der Reifen zwar stärker, aber weniger als doppelt so viel ein. Der Federweg nimmt nur degressiv mit der Radlast zu. Die Reifendämpfung und der Rollwiderstand sind proportional zum Federweg, wie wir bereits bei Betrachtung des Einflusses der Fahrgeschwindigkeit gesehen haben. Damit nimmt der Rollwiderstand nur degressiv mit der Radlast zu. Passt man den Reifendruck an die Beladung an, so würde der Federweg theoretisch konstant bleiben, d. h., auch der Rollwiderstand würde konstant bleiben. In der Praxis zeigt sich aber, dass der Rollwiderstand dennoch minimal zunimmt. Dies hat mit geringem Schlupf zu tun, der sich beim Abrollen des Reifens in der Aufstandsfläche zwischen Reifen und Straße ergibt. Dies können wir mit unserem eindimensionalen Ersatzmodell nicht erfassen.

Der Rollwiderstand hängt zusätzlich von der **Fahrbahn** ab. Hierbei müssen wir zwischen quasi starren Fahrbahnen und Fahrbahnen unterscheiden, die sich elastisch oder plastisch verformen (vgl. Bild 7.5). **Asphalt- und Zementbetonstrecken** können bezüglich des Pkws als quasi starr angesehen werden. In diesem Fall wird der Rollwiderstand lediglich durch die **Oberflächenstruktur** beeinflusst. Werden diese Strecken mit beladenen Lkws

befahren, so können Einfederwege in der Größenordnung von 1 mm gemessen werden, d. h., die Fahrbahn verhält sich elastisch. Mit zunehmender innerer Dämpfung der Fahrbahn nimmt der Rollwiderstand zu. Im Sommer besteht zusätzlich die Gefahr der bleibenden Deformation von Asphaltbetonstrecken, falls das Bindemittel zu weich wird – es bilden sich **Spurrinnen**. Auf feuchten Feld- oder Erdwegen ist dieser Effekt wesentlich ausgeprägter. Hier werden allein durch das Fahren eines Fahrzeugs starke Spurrinnen erzeugt. Die Fahrbahn verhält sich nahezu nur noch plastisch. Die Kraft zur Deformation der Fahrbahn wird im Reifeneinlauf aufgebracht. Es ergibt sich eine Kraftkomponente schräg von vorne, vgl. Bild 7.5. Im Reifenauslauf ergeben sich, da die Fahrbahn kaum zurückfedert, ähnliche Verhältnisse wie auf einer quasi starren Fahrbahn. Die resultierende Normalkraft greift damit sehr weit vor der Radmitte an. Daraus resultiert ein extrem großer Rollwiderstand.

Ähnliche Verhältnisse haben wir auch bei **Tiefschnee**. Bei Benutzung von Schneeketten ist es denkbar, dass zwar der Kraftschluss für ein Vorwärtskommen ausreichen würde, nicht aber das Antriebsmoment zum Überwinden des hohen Fahrwiderstands, der zum Komprimieren des Schnees notwendig ist. Näherungswerte für den Rollwiderstand auf unterschiedlichen Fahrbahnbelägen können der Tabelle 7.1 entnommen werden.

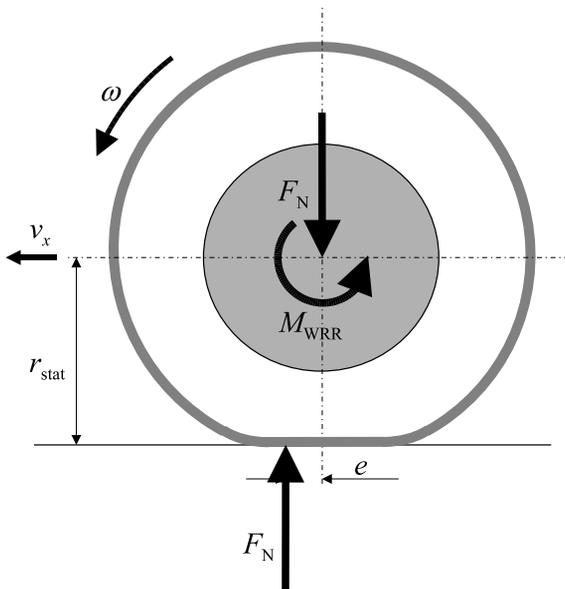
Beim **angetriebenen Rad** wirkt (annähernd) der gleiche Rollwiderstand, allerdings wird der Rollwiderstand direkt durch das Antriebsmoment aufge-



**Bild 7.5:** Einfluss der Plastizität der Fahrbahn auf den Rollwiderstand

**Tabelle 7.1:** Näherungswerte für den Rollwiderstand auf verschiedenen Fahrbahnoberflächen

Fahrbahnbelag	Rollwiderstandsbeiwert
Stahloberfläche	0,006 ... 0,008
feinrauer Asphaltbeton	0,007 ... 0,009
grobrauer Zementbeton	0,008 ... 0,010
Teer	0,015 ... 0,020
Erdweg	0,030 ... 0,070
Acker, Sand, loser Schnee	0,100 ... 0,350



**Bild 7.6:** Kräfte und Momente bei Überwindung des Rollwiderstands durch ein Antriebsmoment

bracht, vgl. Bild 7.6. Dies ist bei der Betrachtung des erforderlichen Kraftschlusses von Bedeutung, wie in Kap. 11 behandelt wird.

Das erforderliche Antriebsmoment  $M_{\text{WRR}}$  zur Überwindung des Rollwiderstands erhalten wir aus der **Rollwiderstandsleistung**. Da der Schlupf in diesem Fall vernachlässigbar ist, erhalten wir mit

$$P_{\text{WRR}} = F_{\text{WRR}} \cdot v_x = M_{\text{WRR}} \cdot \omega_R :$$

$$M_{\text{WRR}} = F_{\text{WRR}} \cdot \frac{v_x}{\omega_R} \quad (\text{Gl. 7.7})$$

$$= F_{\text{WRR}} \cdot r_A = f_R \cdot r_A \cdot F_N$$

Damit entsprechend Bild 7.6 das Momentengleichgewicht gegeben ist, muss gelten:

$$M_{\text{WRR}} = e \cdot F_N \quad (\text{Gl. 7.8})$$

Lösen wir nun die beiden oberen Gl. 7.7 und 7.8 unter Verwendung der Gl. 7.2 nach  $e$  auf, so erhalten wir:

$$e = f_R \cdot r_A = \frac{e_0 \cdot r_A}{r_{\text{stat}}} \quad (\text{Gl. 7.9})$$

Wie wir in Reifentabellen leicht nachsehen können (vgl. auch Kap. 2.2), ist  $r_A$  größer als  $r_{\text{stat}}$ , d. h., es gilt  $e > e_0$ .

Wie lässt sich dieses Ergebnis deuten? Hierzu betrachten wir das angetriebene Rad in Bild 7.7. Die Längskraft  $F_L$ , die zwischen Reifen und Fahrbahn übertragen wird, ist gegenüber der Antriebskraft  $F_A$  um den Rollwiderstand  $F_{\text{WRR}}$  reduziert, da dieser bereits intern am rollenden Rad aufgebracht wird. Es gilt:

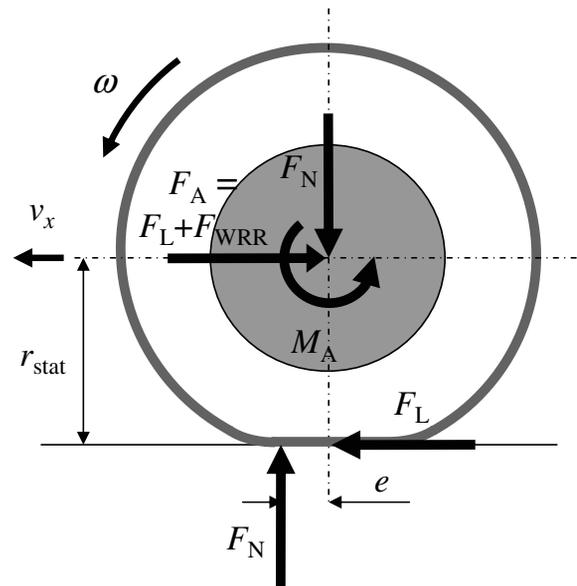
$$F_L = F_A - F_{\text{WRR}} \quad (\text{Gl. 7.10})$$

Damit gilt für das Momentengleichgewicht bei konstanter Drehzahl und Geschwindigkeit unter Verwendung von Gl. 2.4:

$$F_A \cdot r_{\text{stat}} + F_N \cdot e = M_A = F_A \cdot r_A$$

$$= (F_L + F_{\text{WRR}}) \cdot r_A \quad (\text{Gl. 7.11})$$

$$e = \frac{F_{\text{WRR}} \cdot r_A + F_L \cdot (r_A - r_{\text{stat}})}{F_N} \quad (\text{Gl. 7.12})$$



**Bild 7.7:** Einfluss einer Längskraft auf den Angriffspunkt der Normalkraft

# Sachwortverzeichnis

- 2-Takt-Motor 205  
 48-V-Bordnetz 133  
 4-Kanal-ABS 230  
 4-Takt-Motor 18, 205
- A**
- Abbremsung 223, 238  
 – kritische 227, 237  
 Abrollgeräusch 38  
 Abrollumfang 13  
 ABS 229, 232  
 ABS-Anlage 230, 231  
 ABS-Hydraulikaggregat 243  
 ABS-Regelung 65  
 ABS-Steuergerät 65  
 Abstandsradar 279  
 Abstandsregelsystem 279  
 Abstufung  
 – progressive 183  
 Achsbremskraft 244, 245  
 – bezogene 224  
 Achselastkinematik 95  
 Achsgetriebe 25  
 Achsgetriebeübersetzung 183  
 Achskinematik 87  
 Achskinematik-Prüfstand 121  
 Achslast 216  
 Achsschenkelenkung 102  
 Achsschräglaufsteifigkeit 146  
 Ackermann-Lenkwinkel 249  
 active body control 135  
 Adhäsion 44  
 Adhäsionskomponente 44  
 Aeroakustik-Windkanal 165  
 Aerodynamik  
 – numerische 163  
 Ähnlichkeit  
 – geometrische 166  
 – mechanische 166  
 Aktivlenkung 107  
 Allradantrieb 16, 183, 219, 221, 223  
 Anfahren 188  
 Anfahrkupplung 179  
 Anfahrleistung 172  
 Anfahrnickabstützung 199  
 Anfahrnickausgleich 94, 219  
 Anfahrnickausgleichswinkel 94  
 Anfangswandlung 189  
 Angebotskennfeld 191  
 Anhalteweg 238, 239  
 Anhänger 10  
 Anlasser 20  
 – elektrischer 133  
 Anlegezeit 239  
 Ansprechzeit 239  
 Anströmwinkel 153, 154  
 Anti-Ackermann 102  
 Antiblockiersystem (ABS) 229  
 – elektronisch geregeltes 135  
 Antrieb 14, 15  
 Antriebskennfeld 170  
 Antriebskonzept 15, 17  
 Antriebskraft 13, 170  
 Antriebskraftkennfeld 171  
 Antriebskraftschaubild 194, 195, 196  
 Antriebsleistung 170  
 – ideale 171  
 Antriebsmaschine 18  
 Antriebsmoment 13  
 Antriebsmoment-Kennfeld 177  
 Antriebsschlupf 46, 170, 192  
 Antriebsschlupfregelung (ASR) 35, 135  
 Antriebsstrang 24, 157, 176, 181  
 Antriebswelle  
 – homokinetische 25  
 Aquaplaning 36  
 – partielles 142  
 Arbeit  
 – spezifische 204  
 Arbeitstakt 19, 205  
 Aufbau-eigenfrequenz 110  
 Aufbaufedersteifigkeit 109, 120  
 Aufbau-Hubfederkennlinie 119  
 Aufbaukonzept 127  
 Aufbau-masse 272  
 Aufbau-variante 132  
 Auffangtrichter 166  
 Auftrieb  
 – aerodynamischer 154  
 Ausgleichsrad 35  
 Auspuffklappe 63  
 Ausrollversuch 167  
 Ausrücklager 26  
 Ausrückmechanik 27  
 Ausrückmechanismus 26  
 Außenluftkanal 68  
 Außenrad 32  
 Aussteuerpunkt 69  
 Auto-Gas 203  
 Automatikgetriebe 25, 29, 33  
 Axialführung 80
- B**
- Backenführung 70  
 Bahnkurve 278  
 Bandage 38  
 Batterie 23, 133  
 Bauarten von Bremsanlagen 69  
 Baugruppe 14  
 Bedarfskennfeld 191  
 Bedienungsaufwand 247  
 Beharrungsbremse 64  
 Belagreibwert 74  
 Benzin 18, 23, 203  
 Benzineinspritzung  
 – elektronische 133  
 Beschleunigung 156, 197  
 Beschleunigung beim Anfahren 200  
 Beschleunigungsfähigkeit 195  
 Beschleunigungssensor 278  
 Beschleunigungswiderstand 156, 167  
 Beschleunigungswiderstandsleistung 161  
 Betriebsbreite 39  
 Betriebsbremsanlage 61  
 Betriebsdruck 125  
 Blattfeder 81, 111  
 Bleiakku 133  
 Blockierverhinderer (ABV)  
 – automatischer 229  
 Bodensimulation 164  
 Bodenventil 65  
 Body-Panels 130  
 Booster-Betrieb 20, 21  
 Bordelektrik 133  
 Brake by wire 77  
 Bremsanlage 64

- Bremsanlage (EHB)  
 – elektrohydraulische 77  
 Bremsassistent 77, 239  
 Bremsbacken 70  
 Bremsband 33  
 Bremsbelagverschleiß 61  
 Bremsdruckbegrenzer 243  
 Bremse 61  
 – außenliegende 87  
 – hydraulische 61  
 – innenliegende 87  
 Bremsengriff 275  
 – aktiver 279  
 Bremsen 236  
 Bremsenergie 245  
 Bremsenreibradius 244  
 Bremsflüssigkeit 61, 69  
 Bremsflüssigkeitsbehälter 65  
 Bremskraft 87, 243  
 Bremskraftbegrenzer 235  
 Bremskraftminderer 65, 229  
 Bremskraftverstärker 64, 243  
 Bremskraftverteiler (EBV)  
 – elektronischer 235  
 Bremskraftverteilung 93, 223, 224,  
 227, 229, 232  
 Bremskraftverteilungsdiagramm 225,  
 226  
 Bremsleistung 245  
 Bremsmoment 244  
 Bremsnickausgleich 81, 93  
 Bremsnickausgleichswinkel 93  
 Bremspedal 64  
 Bremsrohrleitungen 69  
 Bremsattel 73  
 Bremsscheibe 62, 72  
 Bremsschläuche 69  
 Bremsschlupf 46, 245  
 Bremstrommel 62, 69  
 Bremsverhalten 223  
 Bremsverzögerung 242  
 Bremsweg 238, 239, 242, 243  
 Brennraum 19  
 Brennstoffzelle 21, 22, 172  
 Bussystem 135
- C**
- Cabriolet 127  
 CAN-Bus 135
- Cardanische Formel 192  
 CDC-Dämpfer 274  
 Crash-Kompatibilität 129  
 $c_w$ -Wert 152
- D**
- Dämpfer 275  
 – hydraulischer 123  
 – pneumatischer 123  
 – variabler 274  
 Dämpferauslegung 273  
 Dämpferbeinachse 86  
 Dämpferhärte 274  
 Dämpferkennlinie 273  
 Dämpferkraft 149  
 Dämpfung 109, 271  
 – harte 273  
 Dämpfungsmaß 274  
 Dauerbremsanlage 62  
 Dauerleistung 172  
 Deichselform 81  
 Dekompressionsbremssystem 63  
 Diagonal-Aufteilung 66  
 Diagonalreifen 40  
 Dichtmanschette 65  
 Diesel 18, 23, 203  
 Dieselmotor 172  
 Differenzial 25, 34  
 Differenzialsperre 35  
 Diffusor 166  
 D-Jetronic 133  
 Doppelhump-Form 43  
 Doppelquerlenkerachse 84  
 Drehbeschleunigung 200  
 Drehgelenk 79  
 Drehmassenzuschlagsfaktor 158,  
 180  
 Drehmomentsensor 106  
 Drehmomentwandler 188  
 Drehmomentwandlung 188  
 Drehschemellenkung 99  
 Drehschieberventil 105  
 Drehzahl  
 – verbrauchsgünstigste 209  
 Drehzahl-Drehmoment-Wandler 181  
 Drehzahl-Geschwindigkeits-Diagramm  
 184, 185  
 Drehzahlsensor 278  
 Drehzahlverhältnis 188
- Dreieckslenker 80  
 Dreirad 9  
 Druck  
 – mittlerer effektiver 205  
 Druckbegrenzer 235  
 Druckminderer 235, 243  
 Druckplatte 26  
 Druckpunkt 12  
 Druckstufe 275  
 Duplex-/Duo-Duplexbremse 71  
 Durchströmungswiderstand 151
- E**
- Eiffel-Kanal 163  
 Eigenfrequenz 109, 272  
 Eigenlenkgradient 252, 264  
 Eigenlenkverhalten 248, 251, 252,  
 264  
 – neutrales 250  
 – übersteuerndes 250  
 – untersteuerndes 250  
 Einachsantrieb 94, 223  
 Einkanal-ABS 229  
 Einlassventil 279  
 Einlaufstrecke 59  
 Ein-Massen-Schwinger 109, 122  
 Einpresstiefe 43  
 Einrohrdämpfer 124, 125  
 Ein-Spur-Modell 146, 147, 228, 248  
 Einzelradführung 78, 83  
 Elastokinematik 95  
 Elektrik/Elektronik 133  
 elektrische Hilfskraftlenkung 106  
 Elektronik-Bussystem 133  
 Energiedichte 22  
 Energieinhalt 121  
 Energiespeicher 23  
 Erdgas 23
- F**
- Fading 75  
 Fahrbahn 140  
 – bewegte 165  
 Fahrbahnunebenheit 45, 199  
 Fahrdynamik 214  
 Fahrdynamikregeleneingriff 275  
 Fahrdynamikregelsystem 275  
 Fahrdynamikregelung 58, 135, 276,  
 277

Fahrdynamikregler 279  
 Fahrdynamiksimulation 246, 247  
 Fahrerleitsystem 207  
 Fahrermaschine 207  
 Fahrermodell 247  
 Fahrerwunsch 278  
 Fahrgastzelle 129  
 Fahrgeschwindigkeit 13, 139, 170  
 Fahrleistung 191  
 Fahrleistungsschaubild 191  
 Fahrleistungstest 197  
 Fahrpedal 27  
 Fahrstabilität 228  
 Fahrweise 209  
 Fahrwerk 14, 36  
 Fahrwiderstand 137, 162, 167  
 Fahrwiderstandskurve 194  
 Fahrwiderstandsleistung 160, 170, 191  
 Fahrzeugaufbau 127, 132  
 Fahrzeugaußenhaut 130  
 Fahrzeugdämpfer 122  
 Fahrzeugkategorie 132  
 Fahrzeugklasse 9  
 Fahrzeugrahmen 127  
 Fahrzeugstirnfläche 151, 153  
 Fahrzeugumströmung 150  
 Fahrzeugwankfedersteifigkeit 255  
 Fahrzyklus 205  
 Faustsattelbremse 73  
 Feder-Dämpfer-System 109  
 Federeigenschaft  
 – des Reifens 60  
 Federkennlinie 111  
 Federrate 117  
 Federübersetzung 118  
 Federübersetzung beim Wanken 120  
 Federung 109, 271  
 – harte 273  
 – hydropneumatische 117  
 Federungswiderstand 148, 149  
 Federweg 254  
 Felge 42  
 Felgendurchmesser 43  
 Felgenhorn 42  
 Felgenmaulweite 42  
 Festbremsdrehzahl 201  
 Festbremspunkt 201  
 Festhaltebremse 64, 75

Festsattelbremse 72, 73  
 Feststellbremsanlage 62  
 Finite-Elemente-Methode (FEM) 121  
 FlexRay-Bussystem 135  
 Fliehkraft 245  
 Flottenverbrauch 205  
 Formwiderstand 151  
 Fremdkraft-Bremsanlage 62  
 Frontantrieb 15, 183, 219, 221  
 Frontmotor 266  
 Fünfbandanordnung 165  
 Fußkraft 243  
 Fußkraft-Bremsanlage 61

## G

gallons 203  
 Gang  
 – direkter 183  
 Ganzstahlkarosserie 128  
 Gas 18  
 Gasfeder 114  
 Gateway 136  
 Gefällefahrt 198, 214  
 Gegenwind 168  
 Generatorbetrieb 21  
 Geradeauslauf 97  
 Gesamtfahrwiderstand 160  
 Gesamtfahrzeug 11  
 Gesamtübersetzung 182  
 Geschwindigkeit  
 – charakteristische 253  
 – kritische 253  
 Geschwindigkeitsindex 39  
 Geschwindigkeitsklasse 36  
 Geschwindigkeitssymbol 40, 41  
 Getriebe (CVT)  
 – stufenloses 33  
 Getriebeabstufung 182  
 – lineare 183  
 – progressive 183  
 Getriebeausgangswelle 29  
 Getriebeausgangswellendrehzahl 157  
 Getriebeeingangswelle 26  
 Getriebeeingangswellendrehzahl 157  
 Getriebebespreizung 183  
 Getriebebesprung 183  
 Getriebezwischenwellendrehzahl 157  
 Gewichtskraft 214  
 Giermoment 12

Gierratensensor 278  
 Gitterrohrrahmen 130, 131  
 Gleichung  
 – Bernoullische 151  
 Gleitbeiwert 51  
 Göttinger Bauart 163  
 Gough-Diagramm 50  
 Grenzschicht 151  
 Grenzschichtabsaugung 165  
 Gummifederung 113  
 Gummimischung 37  
 Gummireaktionsscheibe 68  
 Gummireibung 45

## H

Handschaltgetriebe 29  
 Hardy-Scheibe 25  
 Hauptbremszylinder 61, 64, 243  
 Hebelarm der Fliehkraft 255  
 Heckantrieb 16, 183  
 Heckspoiler 267  
 Heizwert  
 – unterer 203  
 Hilfsbremsanlage 62  
 Hilfskraft-Bremsanlage 62  
 Hilfskraftlenkung 103  
 Hinterradantrieb 16, 219, 221  
 Hochgeschwindigkeitsreifen 36  
 Höchstgeschwindigkeit 170, 191  
 Hohlrad 32  
 Hubraum 204  
 Hump 42  
 Hybridantrieb 19, 21, 133, 172  
 Hydraulik-Bremskraftverstärker 67  
 Hydraulikeinheit 64  
 Hydraulikpumpe 230  
 hydraulische Fußkraft-Bremsanlage 62  
 Hydrid 23  
 Hydropneumatik 115  
 Hysterese Komponente 45

## I

Imperfektfunktion 129  
 Impulsrad 229  
 Innenlenker 128  
 Innenseele 38  
 Innentrommelprüfstand 162

- K**
- Kammischer Kreis 57
  - Kanal nach Göttinger Bauart 163
  - Kardangelenk 25, 80
  - Kardanwelle 25
  - Karkasslage 37
  - Karosserie 14
    - selbsttragende 127
  - Karosseriestruktur 129
  - Katalysator
    - lambda-regelnder 133
  - Kavalierstart 179
  - Kegelrad 35
  - Kennfeldzündung
    - elektronische 133
  - Kennlinie
    - progressive 111
  - Kennlinie des Dämpfers 124
  - Kernprofil 38
  - Kfz-Elektrik 133
  - Knautschzone 129
  - Kolben 19
  - Kolbendichtring 72
  - Kolbenventil 105
  - Kollektor 166
  - Konstantdrossel 63
  - Konstantfahrt 208, 210
  - Kontaktkorrosion 130
  - Koordinatensystem 11
  - Kotflügel 128
  - Kraftfahrzeug 9
  - Kraftrad 9
  - Kraftschluss 222
  - Kraftschlussausnutzung
    - maximale 238
  - Kraftschlussbedarf 237
  - Kraftschlussbeiwert 51, 53
    - maximaler 51
  - Kraftstoffmasse 204
  - Kraftstoffverbrauch 203, 205
  - Kreisfahrttest 251
  - kritische Abbremsung 229
  - Kugelgelenk 80
  - Kugelumlaufbahn 99
  - Kugelumlauf-Lenkgetriebe 99
  - Kugelumlauflenkung 98, 104
  - Kupplung
    - automatisierte 27, 180
    - hydrodynamische 28
    - mechanische 24
  - Kupplungsdrehzahl 176
  - Kupplungspedal 27
  - Kupplungsscheibe 26
  - Kurbelwelle 19
  - Kurvenfahrt 254, 255, 262, 264
    - stationäre 146
  - Kurvengrenzbereich 148
  - Kurvenwiderstand 145
  - Kurvenwiderstandsbeiwert 148
- L**
- Labilisator 120
  - Lagerreibung 142
  - Lagerwiderstandsbeiwert 143
  - Lamellenkupplung 33
  - Lamellentechnologie 37
  - Längsdynamik 214
  - Längsführung 81
  - Längskraft 48
  - Längskraftbeiwert 51, 54
  - Längskraftsteifigkeit 49
    - bezogene 51
  - Längslenkerachse 83
  - Längspol 93, 218
  - Längsschlupf 241
  - Last 172
  - Lastindex 39
  - Latsch 43, 137
  - Laufband 165
  - Laufflächenprofil 38
  - Leistung
    - spezifische 204
  - Leistungsfluss 180
  - Leistungs-Geschwindigkeits-Diagramm 186
  - Leistungshyperbel 178
  - Leistungsverzweigung 32
  - Leiterrahmen 130
  - Leitrad 28
  - Lenkachse 90
  - Lenkeingriff
    - aktiver 107
  - Lenkgestängeanordnung 101
  - Lenkgetriebe 98
  - Lenkgetriebeübersetzung 103
  - Lenkinematik 98
  - Lenkmoment 90
  - Lenkmutter 99
  - Lenkrad 98
  - Lenkrohr 98
  - Lenkrollradius 90
    - negativer 91
  - Lenkrückstellmoment 108
  - Lenkschnecke 99
  - Lenkstockhebel 99
  - Lenkübersetzung 97, 252
  - Lenkung 97
  - Lenkungsauslegung 100
  - Lenkungsdämpfer 97
  - Lenkunterstützung 104
  - Lenkwelle 99
  - Lenkwinkel 250
  - Lenkwinkelsensor 106, 235, 278
  - Lenkzwischenwelle 98
  - LIN-Subsystem (Local Interconnect Network) 135
  - Lkw-Rahmen 269
  - Lochkreisdurchmesser 43
  - Lösestellung 68
  - Luftbereifung 109
  - Lüfterwiderstand 137
  - Luftfederung 81, 116
  - Luftwiderstand 150, 151, 154
    - bei Windstille 151
  - Luftwiderstandsbeiwert 151
  - Luftwiderstandsfläche 159
  - Luftwiderstandsleistung 161, 191
- M**
- Makrorauheit 45
  - Männlein-Weiblein-Modell 44
  - Mantelrohr 98
  - Maß 12
  - Maximaldrehzahl 172
  - Maximalleistung 172
  - McPherson-Achse 84
  - McPherson-Vorderachse 86
  - Megarauheit 45
  - Mehrkanal-ABS 229
  - Mehr-Körper-Simulationsmodelle (MKS) 121
  - Mehrkörpersystem 246
  - Mehrlenker-Hinterachse 96
  - Membranfeder 26
  - Messstrecke
    - geschlossene 164
    - offene 164

- Metallhydrid-Wasserstoffspeicher 23  
 Mikrorauheit 45  
 miles 203  
 miles per gallon 203  
 Mindestdrehzahl 172  
 Mitteldruck  
 – effektiver 205  
 Mittelmotoranordnung 183  
 Mittelmotorkonzept 16  
 Mittenabgriff 101  
 Mittenlochdurchmesser 43  
 Mitternachtsformel 192  
 Modellwindkanal 166  
 Momentanpol 90, 254  
 Momentanpolhöhe 90  
 MOST-Bussystem (Media Oriented Systems Transport) 136  
 Motor  
 – längs eingebauter 217  
 – quer eingebauter 217  
 Motoranordnung 16  
 Motorbremsmoment 198  
 Motorbremssystem 63  
 Motorbremswirkung 197  
 Motordrehzahl 157  
 Motorgehäuse 19  
 Motorleistung 192  
 Motorträgheitsmoment 180  
 Motor-Wirkungsgrad 180  
 Muscheldiagramm 204
- N**
- Nachlaufversatz 92  
 Nachlaufwinkel 92  
 Nachspur 92  
 Nebenverbraucher 181  
 Neidhard-System 113  
 Neigungssensor 166  
 Nennndrehzahl 172  
 Nicken 218  
 Nickwinkel 11, 94, 218  
 Niveauregulierung 115, 116  
 Nockenwelle 19  
 Normalfahrwiderstand 160, 170, 191, 242  
 Normalfahrwiderstandsleistung 161  
 Normalkraft 47, 138  
 Normverbrauch 205  
 Nutzfahrzeug 18, 268
- O**
- Oberflächenwiderstand 151  
 Omnibus-Aufbau 130  
 Omnibuss 18  
 Ottomotor 172
- P**
- Panhard-Stab 82  
 Panschverlust 180  
 Pedalerie 243  
 Pendelachse 83  
 Pkw-Karosserie 127  
 Planetengetriebe 29, 32  
 Planetenrad 32  
 Pleuelstange 19  
 Prandtl-Sonde 164  
 Prandtl-Staurohr 164  
 Primärretarder 63  
 Pulsieren des Bremspedals 231  
 Pumpenmoment 200  
 Pumpenrad 28
- Q**
- Querbeschleunigung 245, 254  
 Querdynamik 245, 268  
 Querführung 81  
 Querneigung 89  
 Querpole 89  
 Querversatz 48  
 Querversatz der Radlast 47
- R**
- Rad 36, 42  
 Radbremsen 61  
 Radbremszylinder 70  
 Raddrehzahl 157  
 Raddrehzahlsensor 65, 229  
 Radeinfederweg 110  
 Radeinschlagwinkel 97  
 Radführung 77, 78, 80  
 Radhalbmesser  
 – dynamischer 13, 245  
 Radialreifen 38, 40  
 Radkreisfrequenz 13  
 Radlagerung 78  
 Radlast 47, 139  
 – dynamische 259, 271  
 Radlaständerung 199, 261, 262, 268, 269  
 Radlastdifferenz 119  
 Radlasterhöhung 259  
 Radlastreduzierung 259  
 Radlastschwankung 149, 270  
 Radnabe 78, 142  
 Radschüssel 42  
 Radstand 12  
 Radträger 78  
 Radumfangsgeschwindigkeit 46, 170  
 Radwiderstand 137, 162, 216, 241  
 – gesamter 149  
 Radwiderstandsleistung 161  
 Rahmenbauweise 127, 128  
 Raumlagerachse 84  
 Reaktionszeit 238  
 Regler  
 – idealer 248  
 Reibkupplung  
 – mechanische 26  
 Reibscheibe 122  
 Reibung  
 – mechanische 180  
 Reibungsdämpfer 122  
 Reibungskuchen 57, 58  
 Reibungskupplung  
 – mechanische 176  
 Reibwertschwankung 76  
 Reichweite 203  
 Reifen 36, 42  
 Reifenabmessung 38  
 Reifenaufbau 37  
 Reifenaufstandsfläche 43  
 Reifenauslauf 138  
 Reifenbreite 13  
 Reifendämpfung 109  
 Reifeneinfederung 13, 60  
 Reifeneinlauf 138  
 Reifenersatzmodell 138  
 Reifenfedersteifigkeit 60, 257  
 Reifeninnendruck 54, 55, 139  
 Reifenkennkurve 52  
 Reifenkennzeichnung 38  
 Reifenmodell 247  
 Reifennachlaufstrecke 47  
 Reifenquerschnittsfläche 57  
 Reifen-Querschnittsverhältnis 39  
 Reifen-Seitenwandkennzeichnung 40  
 Reifentemperatur 139, 254  
 Reifen-Tragfähigkeits-Kennzahl 41

- Reifenverhalten 46
  - dynamisches 58
- Rekuperation 21
- Relativgeschwindigkeit 150, 153, 154
- Rennfahrzeug 268
- Restbremsmoment 143
- Retarder 63
  - elektrodynamischer 63
  - hydrodynamischer 63
- Reynolds-Zahl 166
- Ritzel 98
- Rollachse 90, 255
- Rollbalg 118
- Rollenprüfstand 205
- Rollmembran 68
- Rollwiderstand 36, 137, 140, 199
- Rollwiderstandsbeiwert 138, 140
- Rollwiderstandsleistung 141, 191
- Rollwiderstandsmessanhänger 162
- Rückenwind 168
- Rückstellmoment 47
  - bezogenes 51
- Rzeppa-Gleichlaufgelenk 26
  
- S**
- Sattelanhänger 10
- Schalenbauweise 128
- Schallgeschwindigkeit 166
- Schaltgabel 29
- Schaltpause 197
- Schaltpunkt 205
- Schärfe 45
- Scheibenbremse 72, 75, 76, 143
- Scheibenrad 42
- Schleppversuch 168
- Schlupf 13, 46, 217
- Schlupfregelung 222
  - automatische 275
- Schnüffelöffnung 65
- Schongang 182
- Schongangauslegung 193
- Schräganströmung 154
- Schräglaufcharakteristik 48
- Schräglaufwinkel 46, 58, 60, 102, 145, 250
- Schrägschulter 42
- Schraubenfeder 26, 112, 113
- Schraubführung 80
- Schraubenlenker 84
- Schubabschaltung 213
- Schubbetrieb 21, 197
- Schwallwiderstand 142
- Schwarz-Weiß-Aufteilung 66
- Schwellzeit 239
- Schwerpunkthöhe 12
- Schwimmrahmen-Sattelbremse 74
- Schwimmwinkel 249, 278
- Schwingungsdämpfer 121, 148
- Schwungscheibe 26
- Sechskomponentenwaage 165
- Segel 213
- Seitenabgriff 101
- Seitenkraft 47, 58
  - aerodynamische 154
- Seitenkraftbeiwert 51
- Seitenkraftsteifigkeit 49, 52, 146
  - bezogene 51
- Seitenwand 38
- Sekundärretarder 63
- Selbstpumpe 115
- Sensor
  - korrelationsoptischer 167
- Servo-/Duo-Servobremse 72
- Servolenkung
  - hydraulische 104
- Servotronic 105
- Sicherheit
  - aktive 9
  - passive 9
- Silica-Mischung 37
- Simplexbremse 71
- Simulation
  - numerische 247
- Sommerreifen 36
- Sonnenrad 32
- Space-Frame-Bauweise 130, 131
- Spannkraft 62, 74, 244
- Spannschraube 122
- Spargang 182, 185
- Spargangauslegung 193
- Speichermasse 22
- Sperrsynchrisierung 31
- Spreizachse 90
- Spreizungswinkel 90
- Spurhebel 98
- Spurrinne 140
- Spurstange 84, 98
- Spurweite 12
- S-Schlag 81
- Stabilisator 119, 267
- Stablenker 80
- Stahlflexleitungen 69
- Stahlgürtel 38
- Stahlgürtelreifen 37, 38
- Standardantrieb 16, 24
- Starrachse 78, 81
- Startergenerator 133
- Staudruck 164
- Steer by wire 107
- Steigfähigkeit 193, 219
  - maximale 193, 195
- Steigung 155, 215
- Steigungsfahrt 214
- Steigungswiderstand 155, 166, 214
- Steigungswiderstandsleistung 161
- Steigungswinkel 155, 193
- Steilschulter 43
- Stirnradgetriebe 29
- Störkrafthebelarm 91
- Stoßfänger 130
- Streckenverbrauch 203, 207, 208
- Strömung
  - turbulente 151
- Stuckern 16
- Stufengetriebe 24
- Stufentandem-Hauptbremszylinder 67
- Stufentandemzylinder 67
- Stundenleistung 172
- Sturz 56, 145
- Sturzverstellung 87
- Sturzwinkel 12, 47, 88, 89
- Stützlast 159
- Synchronisation 31
  
- T**
- Tandem-Hauptbremszylinder 65, 66
- Teilbremsstellung 68
- Teillast 172
- Teillastbereich 20
- Teleskopdämpfer 124
- Tellerrad 35
- Tieferlegen 257
- Tiefschnee 140
- Toleranzband 207
- Toleranzverletzung 207
- Torsionsstabfeder 111, 112

Totwassergebiet 151  
 Tragfähigkeits-Kennzahl 39, 40  
 Trägheitsmoment  
 – reduzierter 156  
 Transaxle-Konzept 16  
 Transaxle-Welle 25  
 Trilok-Wandler 28  
 Trommelbremse 69, 70, 71, 75  
 Trommelkrümmung 206  
 Trommelprüfstand 162  
 Turbinenrad 28

**U**

Überbrückungskupplung 182  
 Überlagerungslenkung 135  
 Überschlag 258  
 Überschusskraft 193, 194  
 Überschussleistung 193  
 Übersetzung  
 – innere 74, 244  
 – variable 107  
 – verbrauchsgünstigste 209  
 Übersteuern 265  
 übersteuernd 276  
 Übertragungsfunktion 271  
 Umfangskraft 244  
 Umschaltventil 279  
 Umschlingungsgetriebe 33, 34  
 Umsetzzeit 239  
 Umströmung 150  
 Unterdruck-Bremskraftverstärker 67,  
 68  
 Untersteuern 264  
 untersteuernd 252, 276

**V**

Vakuum-Superisolation 23  
 Verbrauch

– optimaler 211  
 – spezifischer 204  
 Verbrauchskennfeld 204, 205  
 Verbrennungsmotor 15, 18, 172  
 Verbundlenkerachse 79, 86  
 Vergaser 19  
 Vergrößerungsfaktor 271  
 Verlust im Antriebsstrang 168  
 Verlustleistung 180  
 Vertikalbeschleunigung 270  
 Vertikaldynamik 270  
 Verzögerungsbremung 64  
 Verzögerungsfahrt 198  
 Vierlenkerachse 84  
 Vierlenker-Vorderachse 85  
 Vierradfahrzeug 259  
 Viertel-Fahrzeug 109  
 Viertel-Fahrzeug-Modell 110  
 Vollbremsstellung 69  
 Vollbremsung 238  
 Vollbremszeit 239  
 Vollhybrid 20  
 Volllast 172  
 Volllastkurve 191  
 Vorgelegewelle 29  
 Vorspur 92, 96  
 Vorspurwiderstand 144  
 Vorspurwiderstandsbeiwert 145  
 Vorspurwinkel 92

**W**

Wandlerfaktor 201  
 Wandlerkennlinie 188  
 Wanken 89  
 Wankfedersteifigkeit 120, 255  
 Wankfederung 119  
 Wankmoment 119, 246  
 Wankwinkel 254, 256, 257

Wankwinkelfaktor 258, 259  
 Wankwinkelzuschlagsfaktor 256, 259  
 Wasserfilm 52  
 Wasserfilmdicke 52, 142  
 Wattgestänge 82  
 weißes Rauschen 38  
 Windkanal 163  
 Windschatteneffekt 159, 168  
 Winterreifen 36  
 Wirbelstrombremse 63  
 Wirkungsgrad 172, 180, 182, 203  
 Wirkungsgrad des Antriebsstrangs  
 177  
 Wulstleine 38

**Z**

Zahnsegment 99  
 Zahnstange 98  
 Zahnstangen-Hydrolenkung 105  
 Zahnstangen-Lenkgetriebe 99  
 Zahnstangenlenkung 98  
 Zentralenkerachse 84  
 Zentralventil 65  
 Zughaken 13  
 Zughakenwiderstand 158  
 Zugkraft 219  
 Zugkraftdiagramm nach Jante 194  
 Zugstufe 275  
 Zündanlage 133  
 Zweikreisbremsanlage 65  
 Zweikreis-Bremsanlagen 62  
 Zwei-Massen-Schwinger 123  
 Zweirohrdämpfer 124  
 Zwillingsbereifung 214, 268  
 Zwischenwelle 29  
 Zykluszahl 204  
 Zylinder 19  
 Zylinderkopf 19