

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.

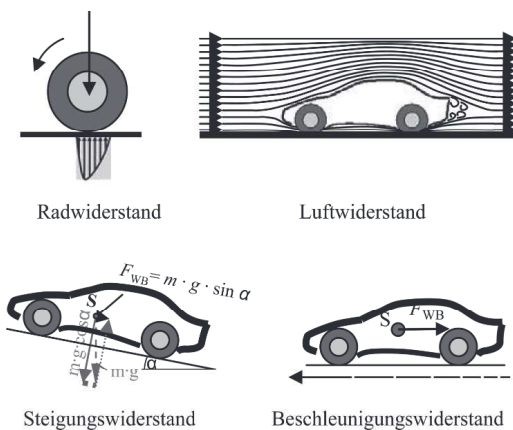


Bild 7.1: Klassische Aufteilung des Fahrwiderstands beim Kraftfahrzeug

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

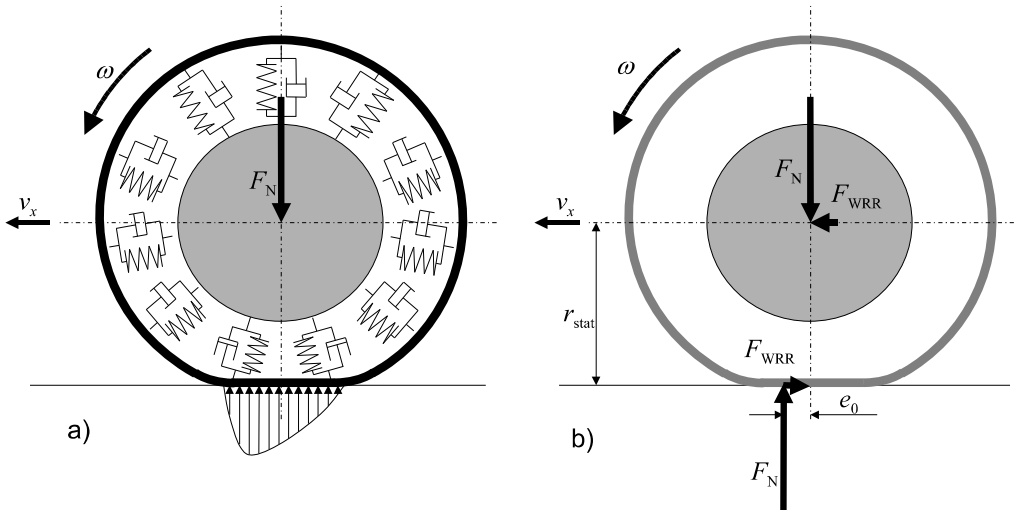


Bild 7.2: Einfaches Reifenersatzmodell zur Erläuterung der Entstehung des Rollwiderstands.
a) physikalisches Ersatzmodell (Längskräfte nicht dargestellt), b) aus der Flächenpressung resultierende Kräfte

(**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 entgegengesetzt 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:

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

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:

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

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

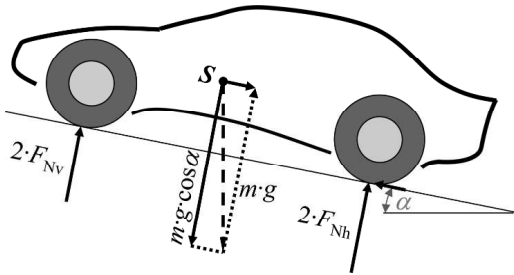


Bild 7.3: Summe der Radlasten in der Steigung bei Vernachlässigung von aerodynamischem Auftrieb

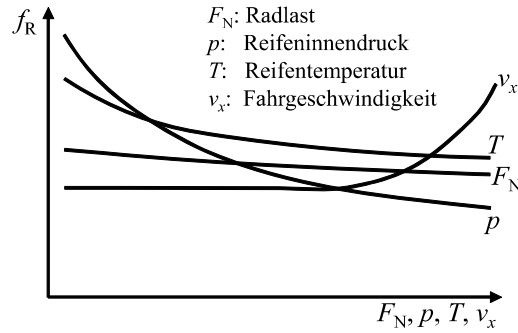


Bild 7.4: Einflussfaktoren auf den Rollwiderstand

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

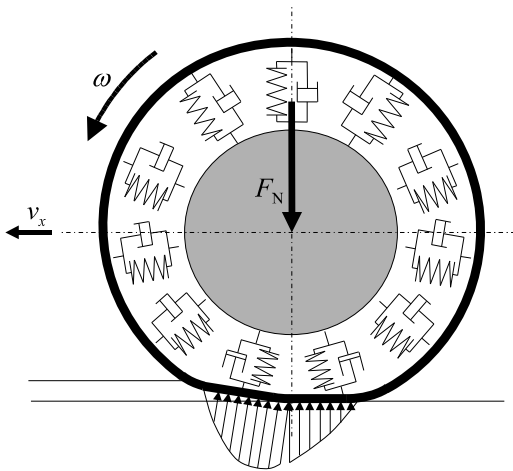


Bild 7.5: Einfluss der Plastizität der Fahrbahn auf den Rollwiderstand

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-

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

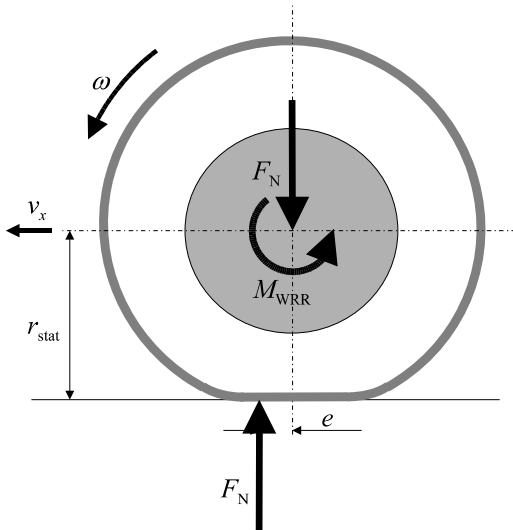


Bild 7.6: Kräfte und Momente bei Überwindung des Rollwiderstands durch ein Antriebsmoment

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_{WRR} zur Überwindung des Rollwiderstands erhalten wir aus der **Rollwiderstandsleistung**. Da der Schlupf in diesem Fall vernachlässigbar ist, erhalten wir mit

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

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

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

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

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

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

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

Wie wir in Reifentabellen leicht nachsehen können (vgl. auch Kap. 2.2), ist r_A größer als r_{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_{WR} reduziert, da dieser bereits intern am rollenden Rad aufgebracht wird. Es gilt:

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

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

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

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

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

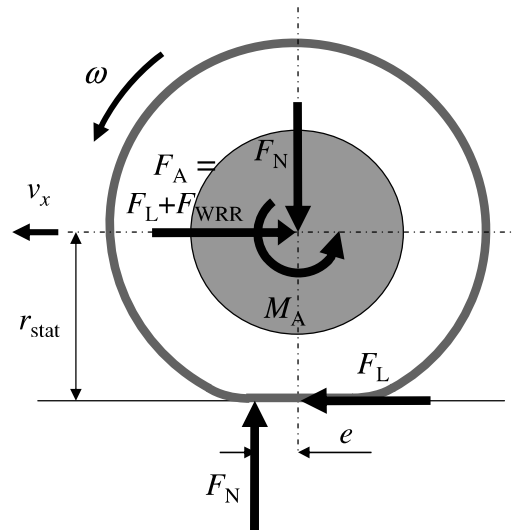


Bild 7.7: Einfluss einer Längskraft auf den Angriffspunkt der Normalkraft

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
 Achselastokinematik 95
 Achsgetriebe 25
 Achsgetriebeübersetzung 183
 Achskinematik 87
 Achskinematik-Prüfstand 121
 Achslast 216
 Achsschenkellenkung 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
 Antriebssschlupf 46, 170, 192
 Antriebssschlupfregelung (ASR) 35, 135
 Antriebsstrang 24, 157, 176, 181
 Antriebswelle
 – homokinetische 25
 Aquaplaning 36
 – partielles 142
 Arbeit
 – spezifische 204
 Arbeitstakt 19, 205
 Aufbaueigenfrequenz 110
 Aufbaufedersteifigkeit 109, 120
 Aufbau-Hubfederkennlinie 119
 Aufbaukonzept 127
 Aufbaumasse 272
 Aufbauvariante 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
 Bedienaufwand 247
 Beharrungsbremsung 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
 Brems Scheibe 62, 72
 Bremsschläuche 69
 Brems Schlupf 46, 245
 Bremsstrommel 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_v -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
 Differenzialsperr 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
 Fahrdynamikregelingriff 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
 Festhaltebremsung 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
 Getriebespreizung 183
 Getriebesprung 183
 Getriebezwischenwellendrehzahl 157
 Gewichtskraft 214
 Giermoment 12
- 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
- Gierratensensor 278
 Gitterrohrrahmen 130, 131
 Gleichung
 – Bernoullische 151
 Gleitbeiwert 51
 Göttinger Bauart 163
 Gough-Diagramm 50
 Grenzschiene 151
 Grenzschieneabsaugung 165
 Gummifederung 113
 Gummimischung 37
 Gummireaktionsscheibe 68
 Gummireibung 45

- K**
- Kammischer Kreis 57
 - Kanal nach Göttinger Bauart 163
 - Kardangelen 25, 80
 - Kardanwelle 25
 - Karkasslage 37
 - Karosserie 14
 - selbsttragende 127
 - Karosseriestruktur 129
 - Katalysator
 - lambdageregelter 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
 - Krafttrad 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
 - Kugelumlauf Lenkung 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
 - Lamellenttechnologie 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
 - Lenkkinematik 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
 - Mehr lenker-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
 Nenndrehzahl 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
 Querspol 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
 Schraublenker 84
- Schubabschaltung 213
 Schubbetrieb 21, 197
 Schwallwiderstand 142
 Schwarz-Weiß-Aufteilung 66
 Schwellzeit 239
 Schwerpunktshöhe 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
 Selbstpumper 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