

Günter Leister

Fahrzeugreifen und Fahrwerkentwicklung

Strategie, Methoden, Tools

PRAXIS




VIEWEG+
TEUBNER

ATZ

Günter Leister

Fahrzeugreifen und Fahrwerkentwicklung

Handbuch Verbrennungsmotor

herausgegeben von R. van Basshuysen und F. Schäfer

Lexikon Motorentechnik

herausgegeben von R. van Basshuysen und F. Schäfer

Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik

herausgegeben von H.-H. Braess und U. Seiffert

Automobildesign und Technik

herausgegeben von H.-H. Braess und U. Seiffert

Bremsenhandbuch

herausgegeben von B. Breuer und K. H. Bill

Mensch und Fahrzeug

von E. Fiala

Umweltschutz in der Automobilindustrie

von D. Gruden

Fahrwerkhandbuch

herausgegeben von B. Heißing und M. Ersoy

Nutzfahrzeugtechnik

herausgegeben von E. Hoepke und S. Breuer

Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen

von F. Kramer

Virtuelle Produktentstehung für Fahrzeug und Antrieb im Kfz

herausgegeben von U. Seiffert und G. Rainer

Motorradtechnik

von J. Stoffregen

Rennwagentechnik

von M. Trzesniowski

Handbuch Kraftfahrzeugelektronik

herausgegeben von H. Wallentowitz und K. Reif

Fachwörterbuch Kraftfahrzeugtechnik

herausgegeben von Robert Bosch GmbH

Kraftfahrtechnisches Taschenbuch

herausgegeben von Robert Bosch GmbH

Günter Leister

Fahrzeugreifen und Fahrwerkentwicklung

Strategie, Methoden, Tools

Mit 208 Abbildungen

PRAXIS | ATZ/MTZ-Fachbuch



VIEWEG+
TEUBNER

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

1. Auflage 2009

Alle Rechte vorbehalten

© Vieweg+Teubner | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2009

Lektorat: Ewald Schmitt | Elisabeth Lange

Vieweg+Teubner ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.

www.viewegteubner.de



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, 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.

Umschlaggestaltung: KünkelLopka Medienentwicklung, Heidelberg

Satz: KLEMENTZ publishing services, Gundelfingen

Druck und buchbinderische Verarbeitung: MercedesDruck, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Printed in Germany

ISBN 978-3-8348-0671-0

Vorwort

Reifen werden vom Reifenhersteller, Fahrzeuge vom Fahrzeughersteller entwickelt. Dennoch gibt es bei jedem Fahrzeughersteller Ingenieure, Techniker und Werkstätten, die sich mit dem Thema Reifen intensiv auseinandersetzen. Das liegt daran, dass ein Reifen kein einfaches Zubehörteil, sondern ein integraler Bestandteil des Fahrwerks ist. Aus diesem Grunde ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Reifen- und Fahrzeugherstellern unabdingbar. Wenn keine klaren Schnittstellen und Vereinbarungen zwischen diesen beiden Entwicklungspartnern getroffen sind, kann die optimale Performance von Fahrwerken nicht erreicht werden, denn die Erfahrung zeigt, dass es kein Fahrwerk gibt, das ungünstige Reifeneigenschaften kompensieren kann.



Handshake zwischen
Fahrzeug- und Reifen-
hersteller

Der Reifen ist zudem eine der wenigen Komponenten im Fahrzeug, die eigenständig intensiv beworben werden. So werden für Reifen regelmäßig Markt- und Performanceuntersuchungen durchgeführt, was dazu führt, dass viele Kunden eine Vorliebe bzgl. Reifenfabrikate haben. Auch das muss ein Fahrzeughersteller bei der Wahl seiner Entwicklungspartner berücksichtigen.

Daher ist es von größter Bedeutung, dass beide Partner die Wechselwirkungen von Reifen, Fahrwerk und Fahrbahn genau kennen. Dieses Buch soll hierzu die notwendigen Hilfestellungen und Anregungen geben.

Es werden bewusst die Grundlagen der Reifentechnik weitgehend ausgespart. Hierzu gibt es sehr gute Fachbücher. Schwerpunkt sind vielmehr die Prozesse, die sich um die Reifenentwicklung herum abspielen. Nur die physikalischen Zusammenhänge, die für diese Prozesse eine wesentliche Rolle spielen, sind aufgeführt.

Ich möchte mich an dieser Stelle bei Herrn Dipl.-Ing. Gerd Runtsch, der bis Ende 2006 die Abteilung Räder und Reifen der Daimler AG geleitet hat, für die Gestaltungsmöglichkeiten bedanken, die er mir während meiner Tätigkeit als Leiter der Entwicklung Reifen übertragen hat. Bei meinen damaligen Mitarbeitern möchte ich mich bedanken, für die vielen Jahre der gemeinsamen Arbeit und für die Beiträge, die auch in diesem Buch Einzug gefunden haben. Besonders erwähnen möchte ich die Studenten, die mit ihren Arbeiten ebenfalls einen wichtigen Beitrag geleistet haben.

Nicht zuletzt gilt mein Dank den Reifenfirmen Bridgestone, Continental, Dunlop, Goodyear, Michelin und Pirelli für die Zusammenarbeit und die vielen Ideen, die in diesem Rahmen entstanden sind. Ferner gilt mein Dank allen Firmen, die mich bei diesem Buchprojekt unterstützt haben und die ich auch als kompetente Entwicklungspartner schätzen gelernt habe.

Die Leser dieses Buches werden gebeten, ihre Anregungen, Verbesserungs- und Ergänzungsvorschläge unter der Email-Adresse fahrzeugreifen@guenter-leister.de mitzuteilen, damit diese bei der weiteren Entwicklung dieses Buches berücksichtigt werden können.

Schwaigern, im November 2008

Günter Leister

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 2 | Der Reifen | 5 |
| 2.1 | Reifenfertigung | 8 |
| 2.2 | Mischung | 8 |
| 2.3 | Innenschicht | 8 |
| 2.4 | Einlage | 11 |
| 2.5 | Kern und Apex | 11 |
| 2.6 | Gürtel | 13 |
| 2.7 | Laufstreifen | 13 |
| 2.8 | Zusammenbau | 15 |
| 2.9 | Vulkanisation | 16 |
| 2.10 | Qualitätsprüfung | 16 |
| 3 | Geometrie und Tragfähigkeit | 19 |
| 4 | Reifenlastenheft | 25 |
| 5 | Mobilitätsstrategie | 33 |
| 5.1 | Vollwertige Ersatzreifen | 35 |
| 5.2 | Notlaufsonderreifen Minispare und Faltrad | 36 |
| 5.3 | Tirefit und Self-Sealing-Reifen | 37 |
| 5.4 | Seriensonderreifen, Sonderfelgen, Stützelemente | 38 |
| 5.5 | Runflat-Reifen | 41 |
| 6 | Projektmanagement | 53 |
| 6.1 | Kosten | 55 |
| 6.2 | Gewicht | 57 |
| 6.3 | Termine | 58 |
| 6.4 | Reifendatenbank und Dokumentation | 59 |
| 7 | Reifenprüfungen | 63 |
| 7.1 | Verschleiß-Dauerlauf | 66 |
| 7.2 | Nässeigenschaften | 72 |
| 7.3 | Federpresse | 74 |
| 7.4 | Flatspot | 79 |
| 7.5 | Reifenkontur | 83 |
| 7.6 | Rollwiderstand/Abrollumfang | 85 |
| 7.7 | Queraquaplaning | 91 |
| 7.8 | Reifengleichförmigkeit | 94 |
| 7.9 | Unwucht | 95 |
| 7.10 | Kräfte und Momente | 97 |
| 7.11 | Raumaschine | 100 |

| | | |
|---|---|------------|
| 7.12 | Notlauf und Reifenabwurf | 101 |
| 7.13 | Wintertest | 105 |
| 7.14 | Komfort und Geräusch | 106 |
| 8 | Kräfte und Momente | 108 |
| 8.1 | Messung und mathematische Beschreibung | 115 |
| 8.2 | Linearer Bereich und Kleinsignalverhalten | 131 |
| 8.3 | Nichtlinearer Bereich Reibwerte/Bremsweg | 139 |
| 9 | Geräusche und Schwingungen | 142 |
| 9.1 | Geräusche | 142 |
| 9.2 | Schwingungen | 147 |
| 10 | Reifendruck | 150 |
| 10.1 | Indirekt messende Systeme | 152 |
| 10.2 | Direkt messende Systeme | 154 |
| 11 | Reifenbeurteilung | 157 |
| 12 | Simulation | 173 |
| 13 | Ausblick | 179 |
| Anhang: Hinweise und Bedienungsanleitung | | 180 |
| A1 | Reifen allgemein | 180 |
| A2 | Winterreifen | 182 |
| A3 | Schneeketten | 183 |
| A4 | Luftdruck | 183 |
| A5 | Tirefit | 184 |
| A6 | Plattrollwarner | 184 |
| A7 | Reifendruckkontrolle | 185 |
| A8 | Notlaufreifen | 185 |
| Literaturverzeichnis | | 187 |
| Sachwortverzeichnis | | 189 |

1 Einleitung

Der Entwicklungsprozess Reifen ist ein äußerst komplexer Vorgang. Er beginnt bei einem neuen Fahrzeugmodell mit der Reifenauslegung. Hierbei werden die Reifendimensionen festgelegt, welche primär von Kriterien wie Achslast, Fahrzeughöchstgeschwindigkeit, Bremsenbauraum und Achskonzept aber auch von der Fahrzeugpositionierung abhängig sind.

Die Reifen haben sich in den letzten Jahren rasant weiterentwickelt. Am Beispiel der S-Klasse von Mercedes-Benz wird das deutlich. Während der W116 im Jahre 1972 mit einer Reifenbreite von 185 mm auf 14-Zoll-Felgen ausgeliefert wurde, hat heute die aktuelle S-Klasse W221 als Einstiegsbereifung 235 mm Reifenbreite und eine 17-Zoll-Felge, **Bild 1-1**, **Bild 1-2**, **Bild 1-3** und **Bild 1-4**. Aber auch die Reifenperformance, **Bild 1-5**, hat sich in allen Eigenschaften dramatisch verändert.

Mindestens drei bis vier Jahre vor Markteinführung eines neuen Fahrzeuges werden gemeinsam mit den Entwicklungspartnern aus der Reifenindustrie intensive Untersuchungen mit Musterreifen durchgeführt. Die Reifen werden dabei sowohl beim Reifenhersteller als auch beim Fahrzeughersteller geprüft. Meist sind dabei mehrere Entwicklungsschleifen erforderlich, bis die Lastenheftvorgaben erfüllt werden.

Jeder Fahrzeughersteller setzt eigene Prioritäten bei den technischen Eigenschaften. Zum Beispiel werden Reifen für Mercedes-Benz Fahrzeuge auf höchste fahrzeugspezifische Sicherheit inklusive Fahrstabilität sowie einen ausgeprägten Komfort hin entwickelt. Bei sicherheitsrelevanten Anforderungen gehören dazu beispielsweise Hochgeschwindigkeitstests auf einem Rollenprüfstand mit maximaler Radlast, maximal möglichem fahrzeugspezifischen Sturz und Minderluftdruck. Dabei überschreitet die Prüfgeschwindigkeit den Speed-Index des Reifens um bis zu zwei Stufen, d. h. die Strukturfestigkeit der freigegebenen Reifen muss über viel mehr Reserven verfügen als nach internationalen Normen üblich. Diese Erstausrüstungsreifen sind im Ersatzgeschäft in den Werkstätten der Fahrzeughersteller (OEMs) erhältlich und werden auch eigenständig beworben, **Bild 1-6**.

| W116 / 1972-1979 | W126 / 1979-1991 | W140 / 1991-1998 | W220 / 1998-2005 | W221 / ab 2005 |
|---|---|---|---|--|
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 185/82 R14 H 205/70 R14 H 215/70 R14 V | 195/70 R14 S,H,V 205/70 R14 S,H,V 205/65 R15 H,V,Z 215/65 ZR15 | 225/60 R16 V 235/60 R16 H,V,Z 255/45 ZR18 | 225/60 R16 V,W 225/55 R17 W,Y 245/45 R18 W,Y 265/40 R18 Y | 235/55 R17 W 255/45 R18 Y 275/45 R18 Y 255/40 R19 Y 275/40 R19 Y |

Bild 1-1: Dimensionsentwicklung bei der Mercedes S-Klasse

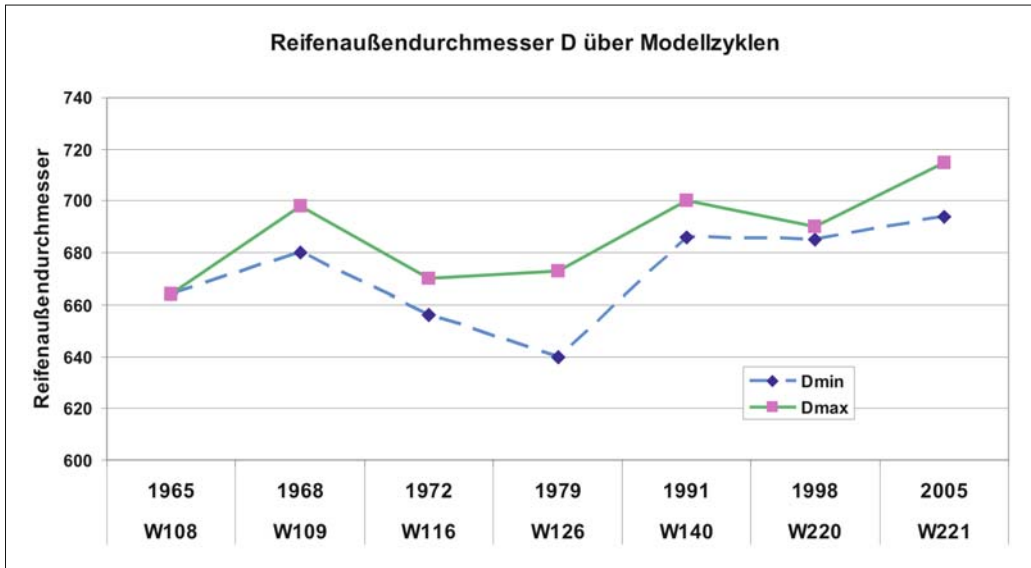


Bild 1-2: Außendurchmesserentwicklung bei der Mercedes S-Klasse

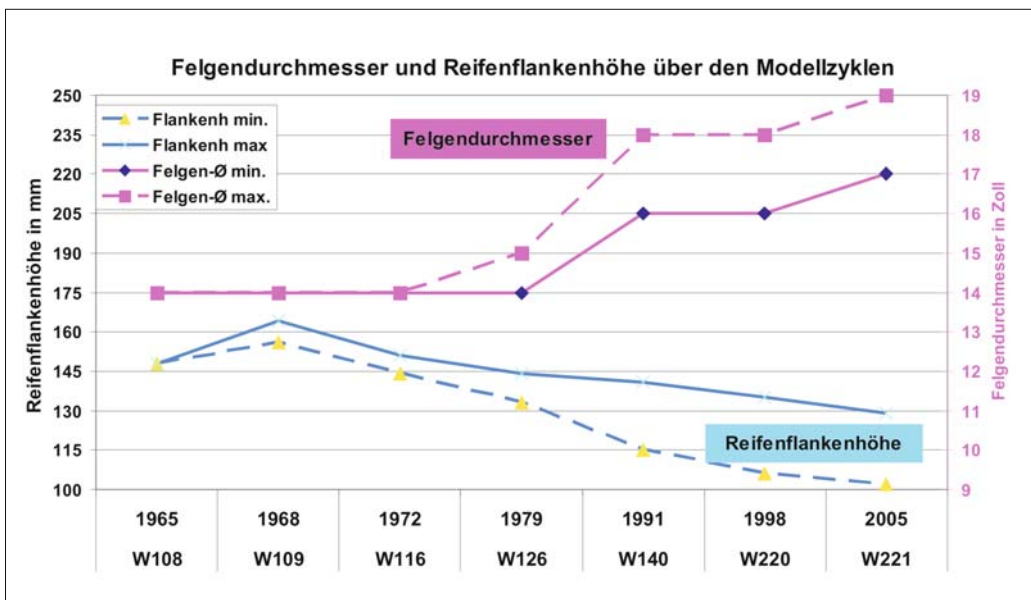


Bild 1-3: Felgendurchmesser und Flankenhöhenentwicklung bei der Mercedes S-Klasse

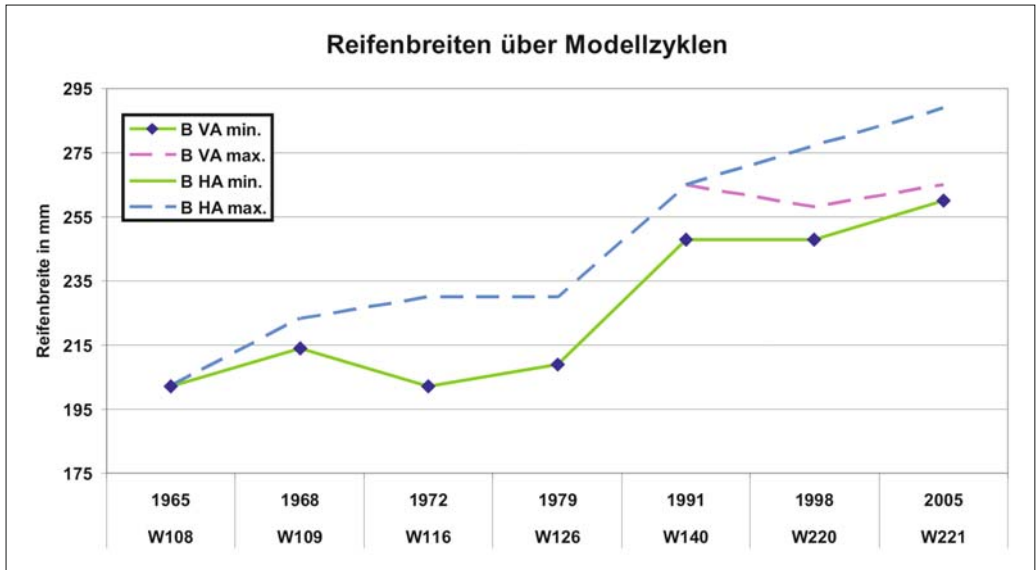


Bild 1-4: Reifenbreitenentwicklung bei der Mercedes S-Klasse

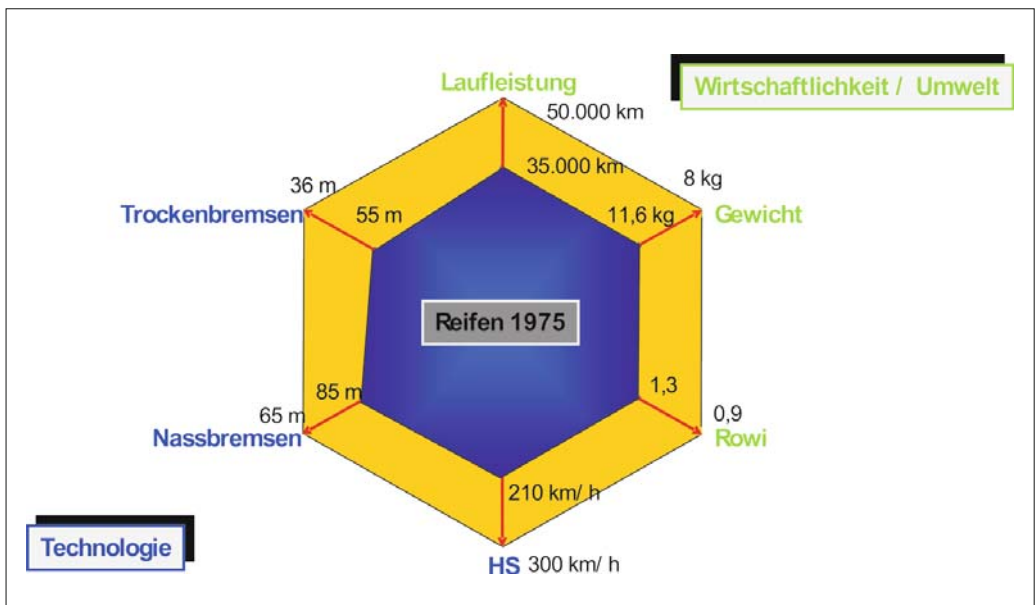


Bild 1-5: Performanceentwicklung von Pkw-Reifen in den letzten 25 Jahren (Quelle: Continental)



Die Sommerreifen von Ihrem Service mit Stern.

Reifen und Felgen von Mercedes-Benz. Für Sicherheit bei jedem Wetter.

Mercedes-Benz

Bild 1-6: Werbung für Erstausrüstungsreifen im Ersatzmarkt beim OEM

Eine typische Prüfliste enthält insgesamt rund 50 Parameter. Dazu gehören beispielsweise die Messung der Nasshaftung, des Rollwiderstandes auf dem Rollenprüfstand, Schnelllaufprüfungen, Untersuchungen des Flatspot-Verhaltens am Fahrzeug und auf dem Prüfstand, Verschleißmessungen, Dauerläufe, Aquaplaningtests und Wintertests. Prüfungen der Uniformity und der Maßhaltigkeit sind ebenfalls unverzichtbar. Auf Testgeländen finden Fahrdynamik-Prüfungen bis in den Grenzbereich statt. Darüber hinaus werden Reifenbeurteilungen auf öffentlichen Straßen gefahren, um den kundennahen Fahrbetrieb abzusichern.

Schwerpunkte in diesem Buch sind die Reifenstrategie, wobei dies die richtige Auslegung und Dimensionierung beinhaltet und die Mobilitätsstrategie. Darüber hinaus werden Methoden und Tools, die in einem effizienten Reifenentwicklungsprozess eine große Bedeutung haben, erläutert.

In den Kapiteln 2 und 3 werden der Reifen und dessen geometrische Grundlagen erläutert. Kapitel 3 beschäftigt sich mit dem Reifenlastenheft, das die Grundlage der Reifenentwicklung bildet. Die Mobilitätsstrategien spielen bei der Fahrwerks- und Reifenentwicklung eine wichtige Rolle und werden in Kapitel 5 erläutert. Das Projektmanagement ist in Kapitel 6 beschrieben. Hierbei geht es primär um Termine, Kosten, Gewichte und die Abläufe zwischen Reifen- und Fahrzeughersteller. In Kapitel 7 werden die Reifenprüfungen beschrieben, die ein Fahrzeughersteller in seinem Umfeld einsetzen sollte, um eine Freigabe aussprechen zu können. Die wichtigsten Reifeneigenschaften sind in Kapitel 8 erläutert. Die Themenfelder Geräusche und Schwingungen sind in Kapitel 9 ausgeführt. Kapitel 10 beschäftigt sich mit dem Reifenluftdruck und dessen Kontrolle. In Kapitel 11 wird die für den Entwicklungsprozess extrem wichtige Reifensubjektivbeurteilung erläutert. Kapitel 12 schließt den Themenkomplex Reifen mit den Möglichkeiten zur Simulation der wesentlichen Reifeneigenschaften ab.

2 Der Reifen

Der Reifen ist ein rotationssymmetrischer, nicht isotroper, aus mehreren untereinander verbundenen verschiedenen Gummikomponenten bestehender Verbundwerkstoff, der durch textile- bzw. Stahl-Verstärkungsmaterialien bezüglich seiner Festigkeitseigenschaften bestimmt wird. So lautet die formale Beschreibung eines Reifens in einem Lexikon.

Reifen müssen Radlasten aushalten um Fahrzeuge zu tragen, Seitenkräfte aufbringen um Fahrzeuge sicher um die Kurve zu führen, Längskräfte aufbringen um sowohl die Motorleistung als auch die Bremskräfte auf der Straße absetzen zu können. Dabei sollten diese unter allen Witterungsbedingungen eine möglichst große Straßenhaftung aufweisen. Reifen müssen auch Federungs- und Dämpfungseigenschaften haben und sie müssen das Lenkverhalten durch entsprechende Ansprecheigenschaften unterstützen. Der Reifen muss eine gute Laufleistung bei möglichst wenig Rollwiderstand und geringer Geräuschentwicklung haben und muss natürlich über seine Lebensdauer dimensionsstabil, sicher und langlebig d. h. strukturfest sein. Der Reifen selbst darf im Fahrbetrieb nicht von der Felge springen und muss eine entsprechende Robustheit gegen Luftverlust haben.

Da aber alle diese Eigenschaften nicht konfliktfrei sind, ist ein optimaler Kompromiss das Ziel jeder Entwicklung. Die Festlegung des optimalen Kompromisses ist dabei Aufgabe des Fahrzeugherstellers, die technische Umsetzung muss der Reifenhersteller durchführen.

Für moderne Personenkraftwagen werden heute ausschließlich Stahlgürtelreifen eingesetzt. Im grundsätzlichen Aufbau unterscheiden sich Stahlgürtelreifen unterschiedlicher Fabrikate nur unwesentlich, **Bild 2-1**.

Die Innenschicht besteht aus Synthese- und Brombutylkautschuk. Sie dient zum Luftabschluss und ersetzt den früher üblichen Schlauch.

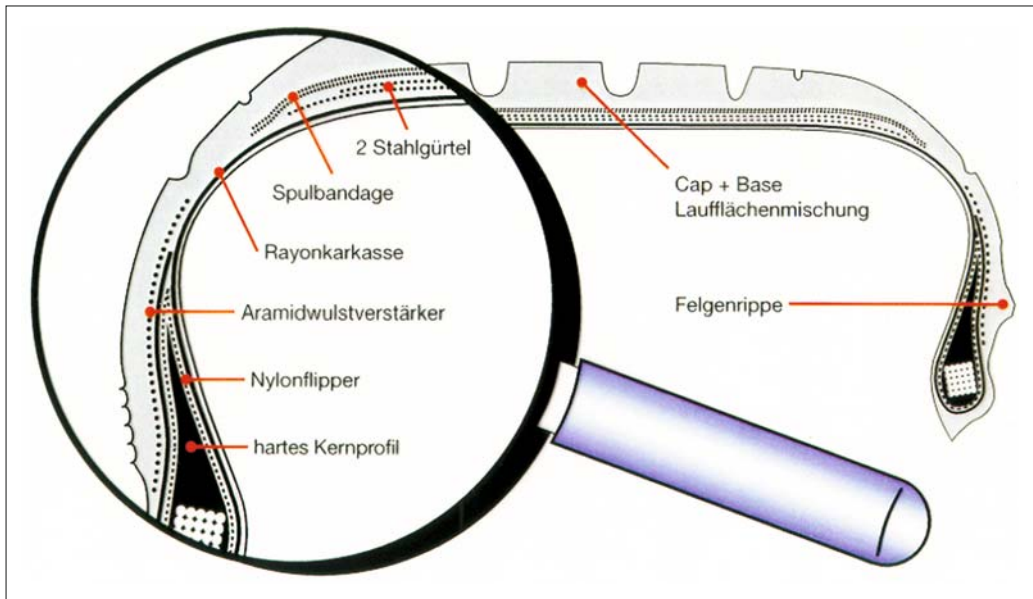


Bild 2-1: Grundsätzlicher Aufbau eines Reifens (Quelle: Continental)

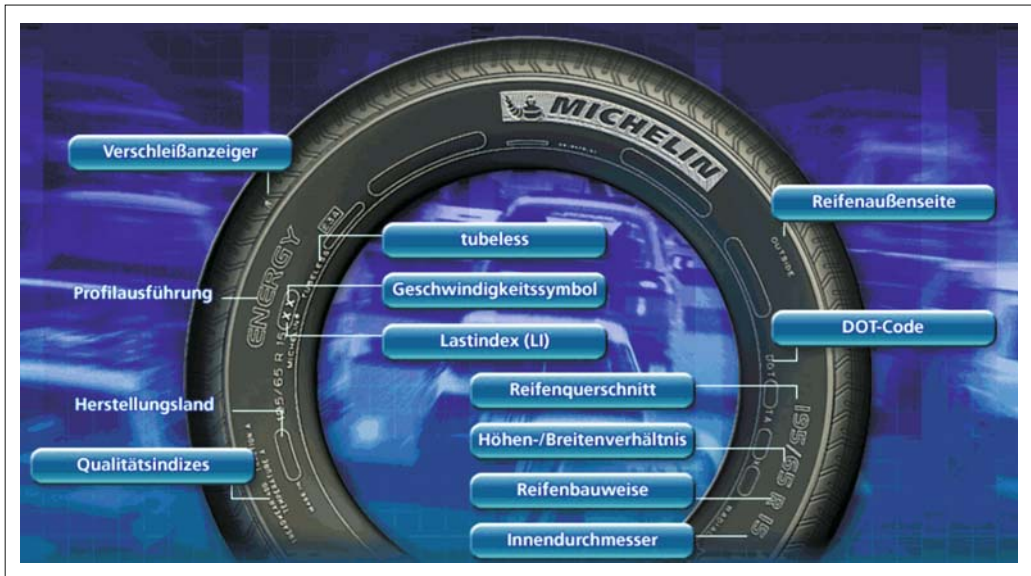


Bild 2-2: Reifenbeschriftung (Quelle: Michelin)

Der Kern sorgt für den festen Sitz des Reifens auf der Felge und besteht in der Regel aus mit Gummi ummanteltem Stahldraht.

Mit dem aus Synthekautschuk hergestellten Kernprofil lassen sich die vertikale Federsteifigkeit und damit der Komfort beeinflussen. Außerdem sorgt das Kernprofil, ebenso wie der Wulstverstärker aus Nylon oder Aramid für Lenkpräzision und Fahrstabilität.

Der Seitengummi ist aus Natur- oder Synthekautschuk und schützt die Karkasse vor seitlichen Beschädigungen und Witterungseinflüssen.

Die aus gummiertem Polyester oder Rayon gefertigte Textilcordkarkasse ist der wesentliche Festigkeitsträger gegenüber dem Reifeninnendruck.

Die Stahlcord-Gürteleinlagen bestehen aus gummiertem Stahlcord und sorgen für Fahrstabilität, verbessern den Rollwiderstand und erhöhen die Laufleistung.

Die Bandage aus Nylon verbessert die Hochgeschwindigkeitstauglichkeit.

Ein Stahlgürtelreifen kann aus über 20 verschiedenen Gummimischungen bestehen. Wichtige Beschreibungsgrößen der Gummimischungen, insbesondere des Laufstreifens sind neben der Meisterkurve und der visko-elastischen Eigenschaften die Shorehärte. Sie ist im Wesentlichen vom Rußtyp, vom Ruß-Weichmacherverhältnis sowie von der Dosierung des Vulkanisationsmittels abhängig.

Der Gürtel, der dem Stahlgürtelreifen seinen Namen gegeben hat, besteht aus mindestens zwei übereinander gelegten Stahlcord-Gürteleinlagen, gefertigt aus verdrehten Stahldrähten, die zum Teil mit Messing überzogen sind. Er befindet sich unter der Lauffläche, durch Nylonbandagen bedeckt. Die Stahlfäden liegen nicht in Laufrichtung, sondern in einem spitzen Winkel dazu. Seitlich sind die Gürteleinlagen entweder gefaltet oder geschnitten.

Die Karkasse besteht in der Regel aus einer oder auch mehreren radialen Lagen Kunstfasern oder Rayon. Die Seitenwand oder auch Reifenflanke dient als Schutz gegen Beschädigung der Karkassfäden z. B. bei Bordsteinüberfahrten. Sie hat aber auch wesentlichen Einfluss auf die Fahreigenschaften und den Komfort. Die Eigenschaften sind auch hier durch Materialbe-