

# Untersuchung rollwiderstandsarmer Pkw-Reifen

Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Fahrzeugtechnik Heft F 13

**bast**



# Untersuchung rollwiderstandsarmer Pkw-Reifen

von

Klaus Sander

Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Fahrzeugtechnik Heft F 13

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

- A – Allgemeines
- B – Brücken- und Ingenieurbau
- F – Fahrzeugtechnik
- M – Mensch und Sicherheit
- S – Straßenbau
- V – Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, daß die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Am Alten Hafen 113 – 115, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 4 60 93 – 95, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

## Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt 94531:**  
Untersuchung des Rollwiderstandes von rollwiderstandsarmen Pkw-Reifen

**Herausgeber:**

Bundesanstalt für Straßenwesen  
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach  
Telefon (0 22 04) 43 – 0  
Telefax (0 22 04) 43 – 8 32

**Redaktion:**

Referat Öffentlichkeitsarbeit

**Druck und Verlag:**

Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven  
Telefon (04 71) 4 60 93 – 95  
Telefax (04 71) 4 27 65

ISSN 0943-9307

ISBN 3-89429-925-8

Bergisch Gladbach, Dezember 1995

## Kurzfassung - Abstract - Résumé

### Untersuchung rollwiderstandsarmer Pkw-Reifen

Das Auto gerät zunehmend in das Spannungsfeld zwischen dem Bedürfnis nach Mobilität und dem Umweltschutz. Viele Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Schadstoffemission wurden bereits ergriffen. Nunmehr wird auch dem Rollwiderstand der Bereifung Beachtung geschenkt. Dem Autofahrer werden von mehreren Reifenherstellern sogenannte „rollwiderstandsarme“ Reifen angeboten. In den Werbeaussagen der Hersteller wird eine Reduzierung des Rollwiderstandes mit bis zu 30% angegeben und eine Kraftstoffersparnis von bis zu 5% versprochen.

Durch eine Untersuchung der Bundesanstalt für Straßenwesen sollte diese Aussage überprüft werden. Dabei wurden im Prüfstand Fahrzeug/Fahrbahn insgesamt jeweils drei Reifen von drei Herstellern in zwei Reifengrößen (175/70 R13 T und 195/65 R15 H/V) als Normalversion und als rollwiderstandsarme Ausführung bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten getestet.

Gemessen an den Werbeaussagen konnte lediglich bei einem Reifenhersteller das gesteckte Ziel annähernd erreicht werden.

### Investigation Into the Rolling Resistance of Low-resistance Tyres

Cars increasingly fall prey to the conflict of aims between the need for mobility and the call for environmental protection. Many fuel consumption and exhaust emission reduction measures have already been implemented. Now attention is also being focused on the rolling resistance of tyres. Several tyre manufacturers offer motorists so-called "low-resistance" tyres. In their advertisements the manufacturers propagate tyres with a rolling resistance down by up to 30 % and promising fuel savings of up to 5 %.

Research has been performed by the Federal Highway Research Institute (BASt) to check these statements. At the Wheel-Pavement Surface Interaction Facility a total of three tyres each in two sizes (175/70 R13 T and 195/65 R15 H/V) and two versions, i.e., the standard and low-resistance version, from three manufacturers were tested at different speeds.

Compared with the promises of the advertisements, the tyres of only one manufacturer were found to have approximately attained the stated aim.

### Etude de la résistance au roulement de pneus peu résistants

Le véhicule se trouve de plus en plus au centre des conflits entre les besoins de mobilité et la sauvegarde de l'environnement. Nombre de mesures ont déjà été prises dans le but de réduire la consommation de carburant et l'émission de substances polluantes. Désormais, c'est la résistance au roulement des pneus qui éveille de plus en plus d'intérêt. Des soi-disant „pneus à résistance réduite“ font déjà partie de l'offre de plusieurs fabricants. Selon la publicité des producteurs, la réduction de la résistance au roulement est de 30% et l'on promet aux conducteurs des économies de carburant de jusqu'à 5%.

Une étude effectuée par l'Institut fédéral de recherches routières (BASt) avait pour but de vérifier ces indications. A cet effet, un essai fut réalisé sur le manège d'essai pneumatique/revêtement, mettant à l'épreuve trois pneus de trois fabricants chacun. Les pneus de deux dimensions différentes (175/70 R 13 T et 195/65 R 15 H/V), furent testés en version normale et en version à résistance réduite, à des vitesses différentes.

Comparés aux affirmations de la publicité, les résultats des essais ont fait ressortir que les pneus d'un seul fabricant parviennent approximativement au but aspiré.



## Inhalt

<b>1</b>	<b>Problemstellung .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Zum Rollwiderstand .....</b>	<b>7</b>
2.1	Allgemeine Definition .....	7
2.2	Rollwiderstand und Energiebedarf .....	7
2.3	Reduzierung des Rollwiderstandes ..	11
<b>3</b>	<b>Der Prüfstand</b>	
	<b>Fahrzeug/Fahrbahn .....</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>Versuchsgestaltung .....</b>	<b>15</b>
4.1	Auswahl der Reifen .....	15
4.2	Versuchsfahrbahn .....	15
4.3	Meßmechanik .....	16
4.4	Meßmethode .....	18
4.5	Versuchsdurchführung .....	20
4.5.1	Einlaufbedingungen .....	20
4.5.2	Rollwiderstandsmessung .....	20
<b>5</b>	<b>Versuchsergebnisse .....</b>	<b>22</b>
5.1	Hersteller A .....	22
5.2	Hersteller B .....	25
5.3	Hersteller C .....	26
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	
	<b>und Bewertung .....</b>	<b>29</b>
6.1	Rollwiderstand .....	29
6.2	Energiereduzierung .....	30
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>30</b>
<b>Literatur</b>	<b>.....</b>	<b>31</b>
<b>Anhang</b>	<b>.....</b>	<b>31</b>



## 1 Problemstellung

Das Automobil und der damit verbundene Individualverkehr geraten in zunehmendem Maße in das Spannungsfeld zwischen Mobilität und Umweltschutz. Die Emissionen der immer weiter zunehmenden Anzahl von Pkw und Lkw bei wachsenden Verkehrsleistungen - ein Zuwachs von 19 % beim Pkw und 46 % beim Lkw für das Jahr 2010 in Deutschland in Relation zu 1991 wird prognostiziert [1] - tragen im hohen Maße zur Belastung der Umwelt, insbesondere durch Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) zum Treibhauseffekt, bei. Es ist jedoch festzustellen, daß in letzter Zeit dem Umweltschutz eine größere Bedeutung zugemessen wird.

Viele Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauches und der Schadstoffemission wurden von allen beteiligten Seiten - Gesetzgeber, Automobilindustrie und Autofahrern - ergriffen. Der Gesetzgeber erließ Vorschriften zur Abgasreinigung. Die Automobilindustrie entwickelte kraftstoffsparende Motoren und reduzierte das Gewicht der Fahrzeuge. Die Autofahrer wurden zu umweltbewußtem Verhalten und Fahren mit angemessenen Geschwindigkeiten aufgefordert. Im Rahmen der möglichen Maßnahmen wird nunmehr auch dem Fahrwiderstand der Fahrzeuge - und hier im besonderen dem Rollwiderstand der Bereifung - mehr denn je Beachtung geschenkt. In der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) wurden mehrere Verfahren und Meßeinrichtungen zur Rollwiderstandsmessung von Pkw-Reifen in Prüfständen und auf der Straße entwickelt [2]. Neben den fahrbahnspezifischen Aspekten aus Sicht des Straßenbauers - wie z.B. der Einfluß der Texturgestaltung von Fahrbahnoberflächen auf Rollgeräusch und Rollwiderstand [3] - interessiert hierbei insbesondere der reifenspezifische Aspekt aus dem Blickwinkel der Reifenhersteller. Zwischenzeitlich werden dem Autofahrer von mehreren Reifenherstellern sog. „rollwiderstandsarme“ Reifen als Alternative zum üblichen Normalreifen angeboten und sind bei einigen Fahrzeugherstellern bereits für die Erstausrüstung der Fahrzeuge freigegeben.

Die verwendeten Bezeichnungen der Reifen der neuen Generation reichen vom Zusatz „eco“ als Synonym für Wirtschaftlichkeit über „energy“ für besondere Energieschonung bis zu „fuel saver“ als Begriff für Kraftstoffersparnis. Gleichzeitig wird in den Werbeaussagen der Hersteller die Reduzierung des Rollwiderstandes mit bis zu 30 % angegeben und eine Kraftstoffersparnis von bis zu 5 % versprochen.

In der vorliegenden Untersuchung sollte daher in Versuchen im Prüfstand Fahrzeug/Fahrbahn der BASt diese Aussage überprüft werden. Im Vordergrund stand die Frage, ob und in welchem Umfang eine Reduzierung des Rollwiderstandes bei den Reifen der neuen Generation zu erwarten ist und wie weit hieraus ein Beitrag zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs resultiert.

## 2 Zum Rollwiderstand

### 2.1 Allgemeine Definition

Beim Vortrieb eines Pkw's in der Ebene muß Energie zur Überwindung von Widerständen und Verlusten bei der Bewegung aufgewendet werden, die allgemein zu einem Fahrwiderstand zusammengefaßt werden. Der Radwiderstand der Gumbibereifung eines Fahrzeugs ist Bestandteil des Fahrwiderstandes und setzt sich aus rad- und fahrbahnseitigen Komponenten zusammen (Bild 2.1).

Der reifenspezifische Rollwiderstand wird hauptsächlich durch die Walkarbeit des Reifengummis verursacht und setzt sich aus Reibungs- und Haftungsverlusten zwischen Reifenlatsch und Fahrbahnoberfläche zusammen [4]. Definitionsgemäß wird der Rollwiderstand als Energieverlust pro Wegeinheit mit Newton mal Meter pro Meter (Nm / m) verwendet und stellt somit eine skalare Größe dar. Vielfach wird jedoch hierfür vereinfachend eine Rollwiderstandskraft in Newton (N) angegeben, da der Energieverlust als Kraft, die der Fortbewegungsrichtung entgegengesetzt ist, gemessen werden kann (Bild 2.2). Wird die Rollwiderstandskraft auf die Radlast bezogen, erhält man den dimensionslosen Rollwiderstandsbeiwert  $c_R$ , der für Radialreifen über einen weiten Bereich der Radlast ohne Korrektur des Reifeninnendruckes als annähernd konstant angenommen werden kann [8].

### 2.2 Rollwiderstand und Energiebedarf

Wie Bild 2.1 zeigt, kann unter idealen Bedingungen - d.h. Bewegung eines Fahrzeugs in der Ebene, fehlende Unebenheiten und konstante Geschwindigkeit - der Fahrwiderstand auf Luft- und Radwiderstand reduziert werden. Mit diesen Voraussetzungen sind am Radwiderstand nunmehr

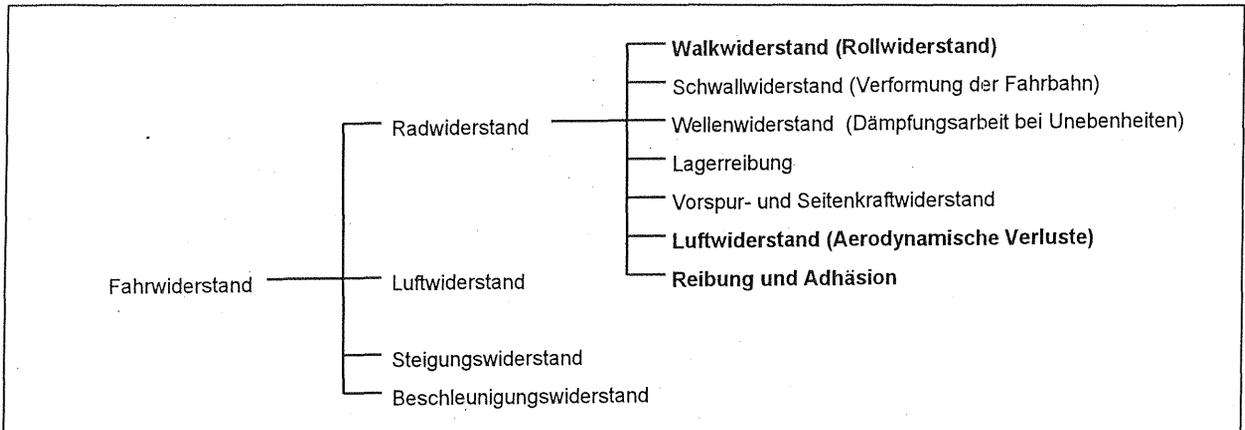


Bild 2.1: Fahr- und Radwiderstände eines Fahrzeugs, reifenspezifische Anteile hervorgehoben

nur noch der reifenspezifische Rollwiderstand und fahrzeugtypische Größen beteiligt.

Aufgrund des geringen Luftwiderstandes heutiger moderner Fahrzeuge beträgt der Anteil des Roll-

widerstandes am Gesamtwiderstand auf ebener Fahrbahn und bei Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit im städtischen Bereich ca. 80 % und selbst bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h noch 50 % [5], (Bild 2.3).

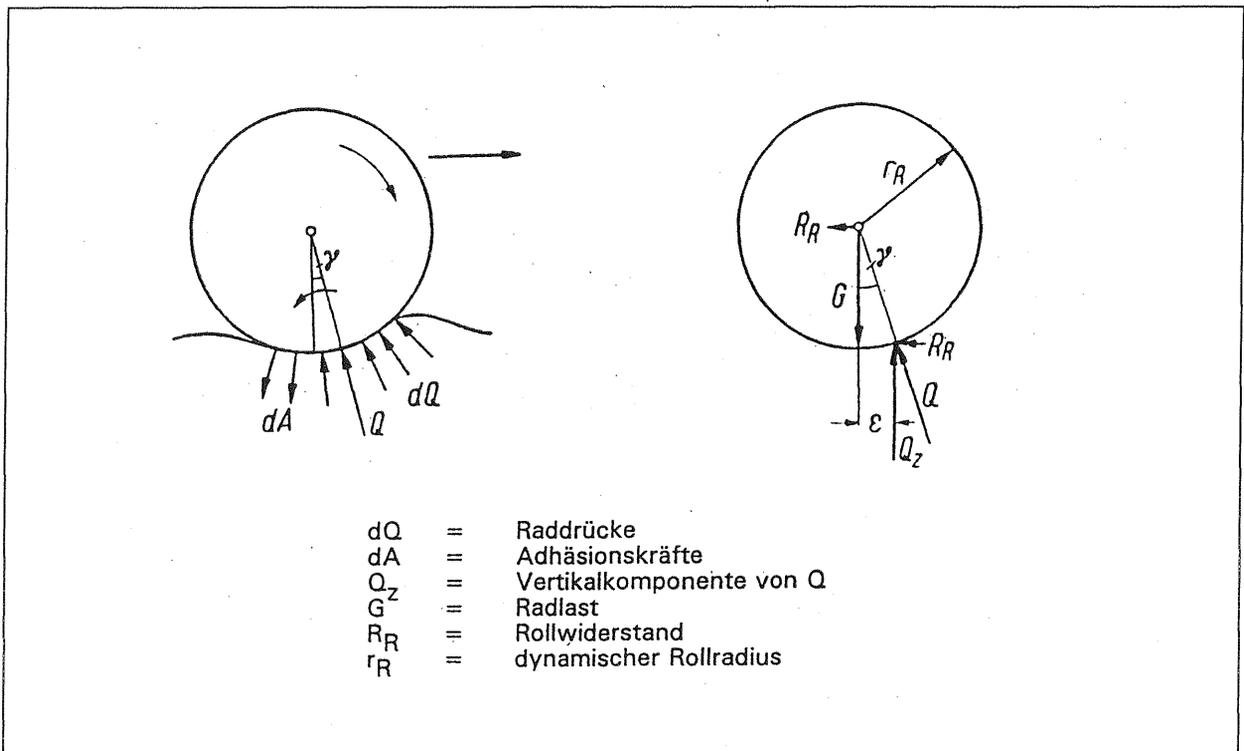


Bild 2.2: Verlustkräfte des rollenden Rades aufgrund von Anlaufwulst und Adhäsion

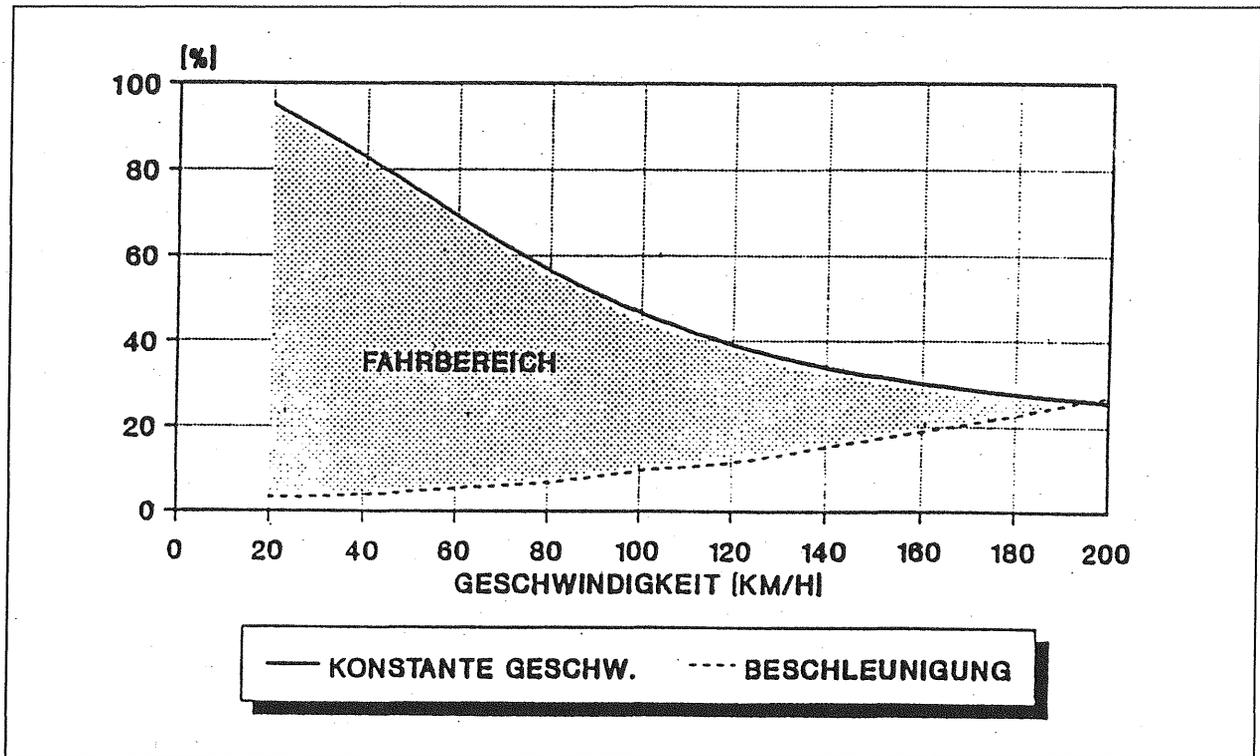


Bild 2.3: Anteil des Rollwiderstandes am Gesamtwiderstand in Abhängigkeit von der Fahrweise

In Tab. 2.1 wird der dominierende Anteil des Rollwiderstandes am Gesamtfahrwiderstand in einer Zusammenstellung des Energiebedarfs eines modernen Pkw's im ECE-Stadtzyklus, bei dem Bedingungen einer typischen Stadtfahrt mit hohen Stillstandszeiten simuliert werden, besonders deutlich [6].

Der vom Rollwiderstand der vier beteiligten Räder verursachte Energiebedarf beträgt annähernd 50 % der aufzubringenden Gesamtenergie und übertrifft damit die durch den ECE-Test vorgegebenen Anfahr- und Bremsverluste. Bei gleichbleibender Geschwindigkeit ergibt sich ein wesentlich höherer Anteil am Gesamtenergiebedarf von knapp

Luftwiderstand	kWh / 100 km in %	1,3 12,5
Rollwiderstand	kWh / 100 km in %	4,7 46,6
Bremsverluste	kWh / 100 km in %	4,1 40,9
Gesamtenergiebedarf	kWh / 100 km in %	10,1 100
maximaler Leistungsbedarf	kW	11,3

Fahrzeugdaten:

$$m_{\text{Test}} = 1.200 \text{ kg}$$

$$c_w \cdot A = 0,68 \text{ m}^2$$

$$f_R = 0,013$$

$$\eta_{\text{Antriebsstrang}} = 0,9$$

Tab. 2.1: Energiebedarf eines VW Golf im ECE-Stadtzyklus

80 %, wie dies bereits in Bild 2.3 deutlich wurde. Die Energie, die von den Reifen eines Fahrzeugs verbraucht wird, stellt im betrachteten Geschwindigkeitsbereich einen wesentlichen Teil der gesamten vom Fahrzeug verbrauchten Energie dar.

Wird der Verbrauch wie üblich auf die gefahrene Strecke bezogen, so wird die Energie zur Deckung der Rollwiderstandsverluste mit der Annahme, daß sich der Rollwiderstandsbeiwert geschwindigkeitsunabhängig verhält, ebenfalls unabhängig von der Geschwindigkeit. Der Luftwiderstandsbeiwert steigt quadratisch mit der Geschwindigkeit an. Der Antriebswiderstand hängt von der Getriebeübersetzung bzw. von der Gangwahl ab.

Tab. 2.2 zeigt die Verbrauchsanteile für ein in der Ebene mit konstanter Geschwindigkeit fahrendes Fahrzeug [8], [9].

Der Benzinverbrauch für Pkw mit Geschwindigkeiten zwischen 30 und 90 km/h kann nach [10] vereinfacht werden als lineare Beziehung in der Form:

$$F_c = F_{c0} + k \cdot W \cdot c_R$$

mit  $F_c$  = Benzinverbrauch pro Wegstrecke (l/km)

$F_{c0}$  = Benzinverbrauch ohne Rollwiderstand (l/km)

$W$  = Gesamtradlast des Fahrzeugs (kN)

$k$  = fahrzeugspez. Faktor (l/km·kN)

$c_R$  = Rollwiderstandsbeiwert

Der erste Term der Gleichung entspricht in dem vereinfachten Verbrauchsmodell dem theoretisch zu erwartenden Verbrauch ohne Rollwiderstandsverluste und kann bei bekanntem Rollwiderstandsbeiwert zur Abschätzung der möglichen Reduzierung des Benzinverbrauchs herangezogen werden. Die Differentiation liefert die Änderung des Verbrauches bei Änderung des Rollwiderstandsbeiwertes nach:

$$\Delta F_c = k \cdot W \cdot \Delta c_R$$

Mit  $k = 0.09$  l/km·kN,  $W = 16$  kN und  $c_R = 0,012$  (entsprechend 1,2 %) zum Beispiel erhält man eine maximal erzielbare Reduzierung von 1,7 l/100 km bei völligem Wegfall des Rollwiderstandsanteils. Dies entspricht einer Verbrauchsminderung von 17 % bei einem angenommenen typischen Nennverbrauch von 10 l/100 km. Wird hingegen der Rollwiderstandsverlust nur um 30 % reduziert, so ergibt sich für das vorgenannte Beispielfahrzeug eine Minderung im Verbrauch um 0,5 l/100 km entsprechend 5 % bezogen auf den Nennverbrauch.

Zu vergleichbaren Ergebnissen kommt man bei der Berechnung des theoretisch zu erwartenden Ver-

Verbrauch für:		
Benzinverbrauch =	Rollwiderstand +	Luftwiderstand + Antriebswiderstand
B/s	= $\frac{1}{H \cdot \eta}$	$\left( c_R \cdot G + 0.5 \cdot A \cdot c_w \cdot \rho \cdot v^2 + \frac{b \cdot i_{Gj}}{U} \right)$
mit		
B = Benzinmenge	s = Wegstrecke	v = Geschwindigkeit
$c_R$ = Rollwiderstandsbeiwert	G = Gewichtskraft	A = Stirnfläche
$c_w$ = Luftwiderstandsbeiwert	$\rho$ = Dichte der Luft	H = Brennwert Benzin
	$\eta$ = thermischer Wirkungsgrad	b = Reibmoment des Antriebs
	$i_{Gj}$ = Gesamtübersetzung j. Gang	U = Abrollumfang

Tab. 2.2: Verbrauchsmodell für Konstantfahrt auf ebener Strecke

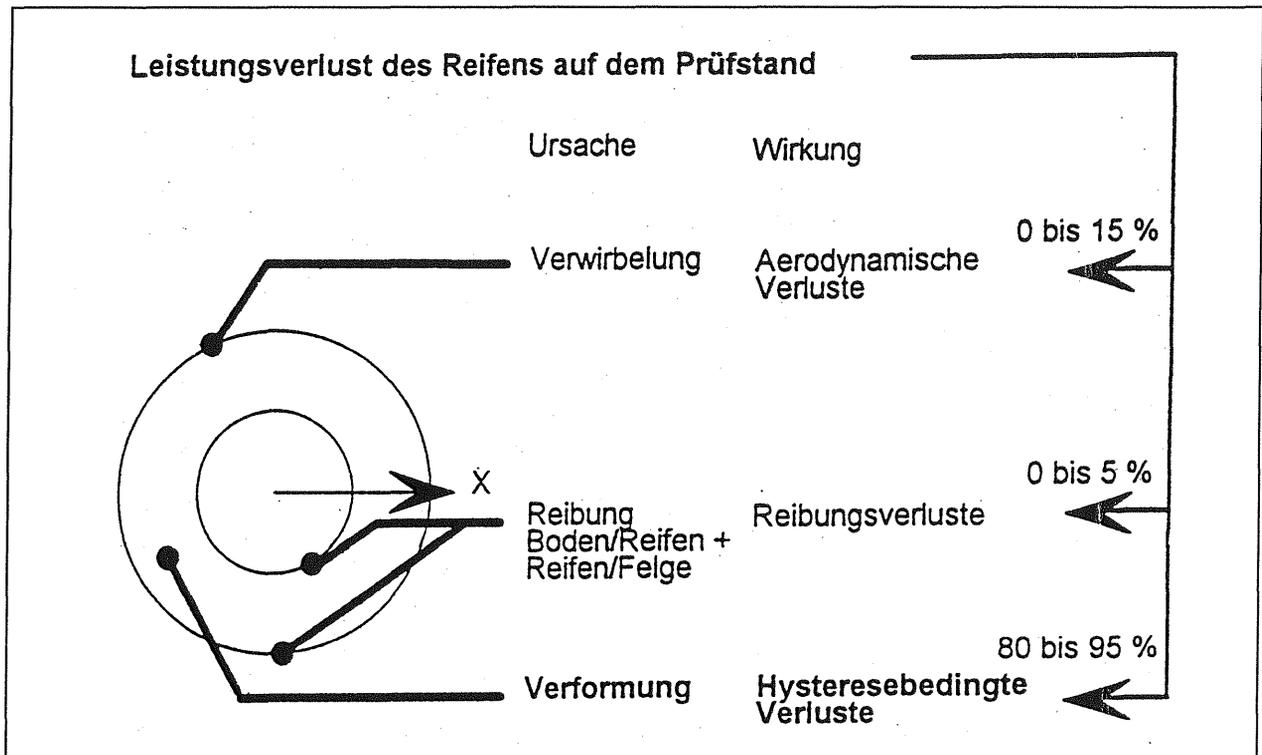


Bild 2.4: Verschiedene Arten des Leistungsverlustes am rollenden Rad

brauchs im ECE-Test nach Tab. 2.1. Der Gesamtenergiebedarf von 10 kWh/100 km ergibt mit einem Brennwert von 9 kWh/l und einem Motorwirkungsgrad von 30 % einen Gesamtverbrauch von 3,7 l/100 km und damit für den Rollwiderstandsanteil einen Wert von 1,7 l/100 km.

### 2.3 Reduzierung des Rollwiderstandes

Die wichtigsten reifenspezifischen Phänomäne, die zum Rollwiderstand eines Reifens beitragen, sind in Bild 2.4 aufgezeigt [7]. Hierbei hat der hysteresebedingte Verlust aufgrund der Verformungsarbeit des Lauffächengummis einen dominierenden Einfluß.

Die wesentlichen Gestaltungsmöglichkeiten von Reifen im Hinblick auf den Rollwiderstand können demnach auf folgende beteiligte Elemente eines Reifens zurückgeführt werden:

- Konstruktion: Karkasse, Gürtel und Fußzone
- Laufflächenprofil: Lamellierung, Negativanteil und Breite
- Gummimischung: Modul und Dämpfung

Eine detaillierte Darstellung aus [8] schlüsselt quantitativ die Anteile der verschiedenen Elemente eines Reifens auf (Bild 2.5). Bei der Verbesserung der Rollwiderstandseigenschaften insbesondere durch Maßnahmen an der Gummimischung der Lauffläche entsteht naturgemäß ein Zielkonflikt, da andere hiermit verknüpfte Eigenschaften - Handling, Komfort, Verschleißfestigkeit sowie Nässegriff und Traktionsvermögen auf Eis und Schnee - zu berücksichtigen sind. Letztendlich darf ein rollwiderstandsarmer Reifen im Hinblick auf die Gesamtheit aller Reifeneigenschaften keine wesentliche Verschlechterung erfahren, wenn diese neue Reifengeneration vom Markt angenommen werden soll.

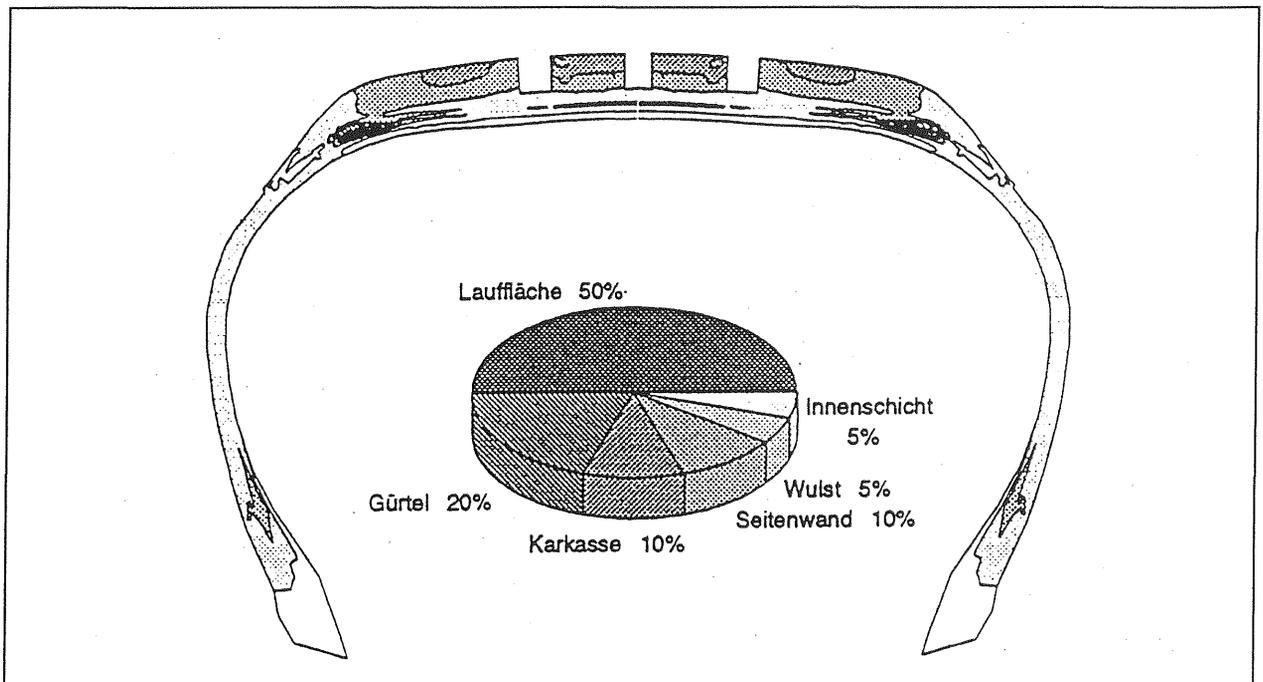


Bild 2.5: Verteilung der Energiedichten im rollenden Reifen unter Last

### 3 Der Prüfstand Fahrzeug/ Fahrbahn

Der Prüfstand Fahrzeug/Fahrbahn (PFF) wurde 1990 bei der BAST in Betrieb genommen. Er weist nicht nur aufgrund seiner Größe, sondern vielmehr auch wegen der erstmaligen Anwendung des Magnetlagerungsprinzips eine Sonderstellung unter den vielen bislang realisierten Konstruktionen für einen Prüfstand nach dem Innentrommelprinzip auf (Bild 3.1).

Der beidseitig offene Kreisring mit einem Innendurchmesser von 5,5 m, einer Breite von 0,6 m und einem Gewicht von 18000 kg wird über Elektromagnetgruppen, die an der äußeren Peripherie des Kreisrings angebracht sind und auf eine Reaktionsschiene aus Magnetsonderstahl wirken, berührungsfrei gelagert und geführt (Bild 3.2). Die Hauptkräfte übernehmen dabei die im Tiefpunkt des offenen Kreisrings angeordneten Tragmagnetgruppen. Die Stabilisierung des Ringes in vertikaler und axialer Richtung übernehmen gesonderte Trag- und Führeinheiten, die oberhalb des Drehpunktes des Rings seitlich angreifen.

Die Reaktionsschiene wird auf einen Luftspaltabstand von 5 mm zu den Polen der Magnete geführt. Spaltsensoren erfassen Vertikal- und Axiallage und bewirken zusammen mit einer Regelelektronik eine

definierte Lage des Kreisrings für alle drei Raumachsen, wobei als Bezugspunkt für die Regelung nicht die Drehachse, sondern die Höhe der Kreisringinnenfläche im Tiefpunkt, bezogen auf das Hallenbodenniveau, gewählt wurde. Hierdurch können die durch das Prüfrad eingeleiteten Kräfte besser abgeleitet und ausgeglichen werden. Gleichzeitig tritt eine durch die Fliehkraft bedingte Durchmesseränderung des Rings nur mit reduziertem Anteil auf.

Zum Antrieb des Kreisrings wird ein mehrpolig ausgelegter Linearmotor mit einer Gesamtleistung von 200 kW eingesetzt, der eine maximale Geschwindigkeit von 260 km/h erlaubt.

Das Prüfrad wird durch eine verfahrbare Radstation geführt. Elektrische Stellzylinder mit weitem Stellbereich erlauben die dynamische Verstellung des Schräglauf-, Sturz- und Nachlaufwinkels am Prüfrad.

Die Radlast wird durch eine pneumatisch geregelte Doppelluftfedereinheit aufgebracht; sämtliche am Rad wirkenden Kräfte können über eine oberhalb der Radführung integrierte Dreikomponenten-Kraftmeßeinheit gemessen werden (Bild 3.3). Der Antrieb des Rades erfolgt über einen mit einer Gelenkwelle verbundenen und in der Drehzahl stufenlos einstellbaren Asynchronmotor mit einer Leistung von 50 kW.

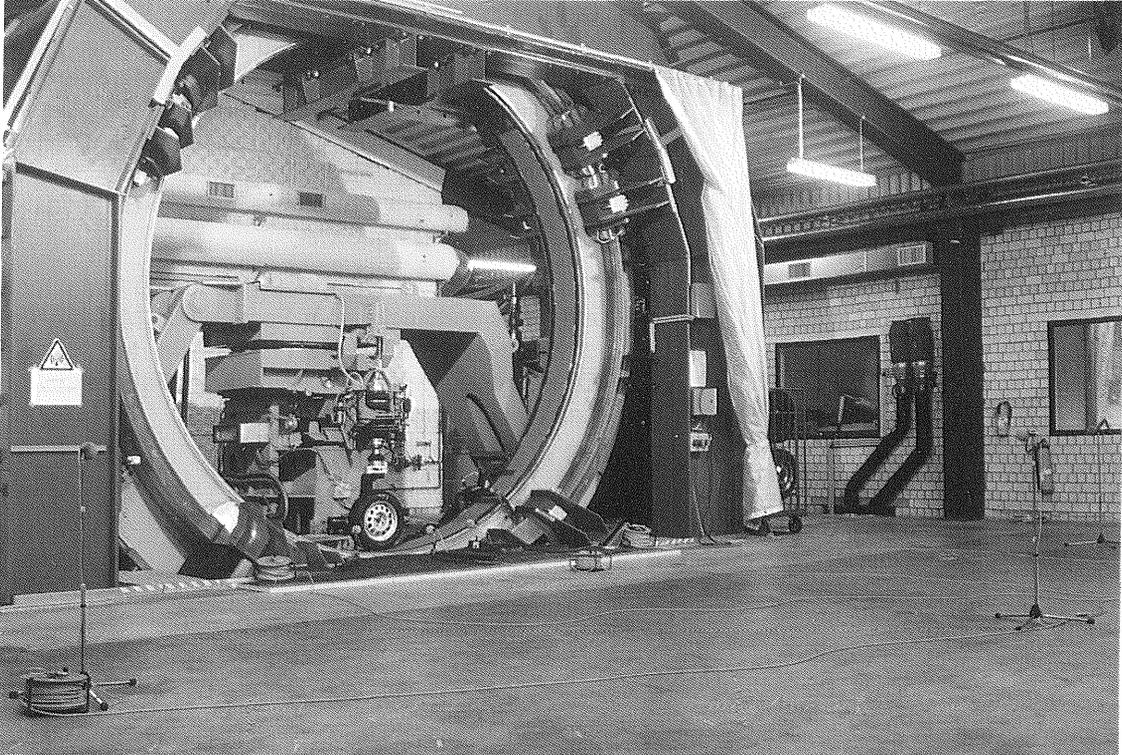


Bild 3.1: Ansicht des Prüfstandes Fahrzeug/Fahrbahn

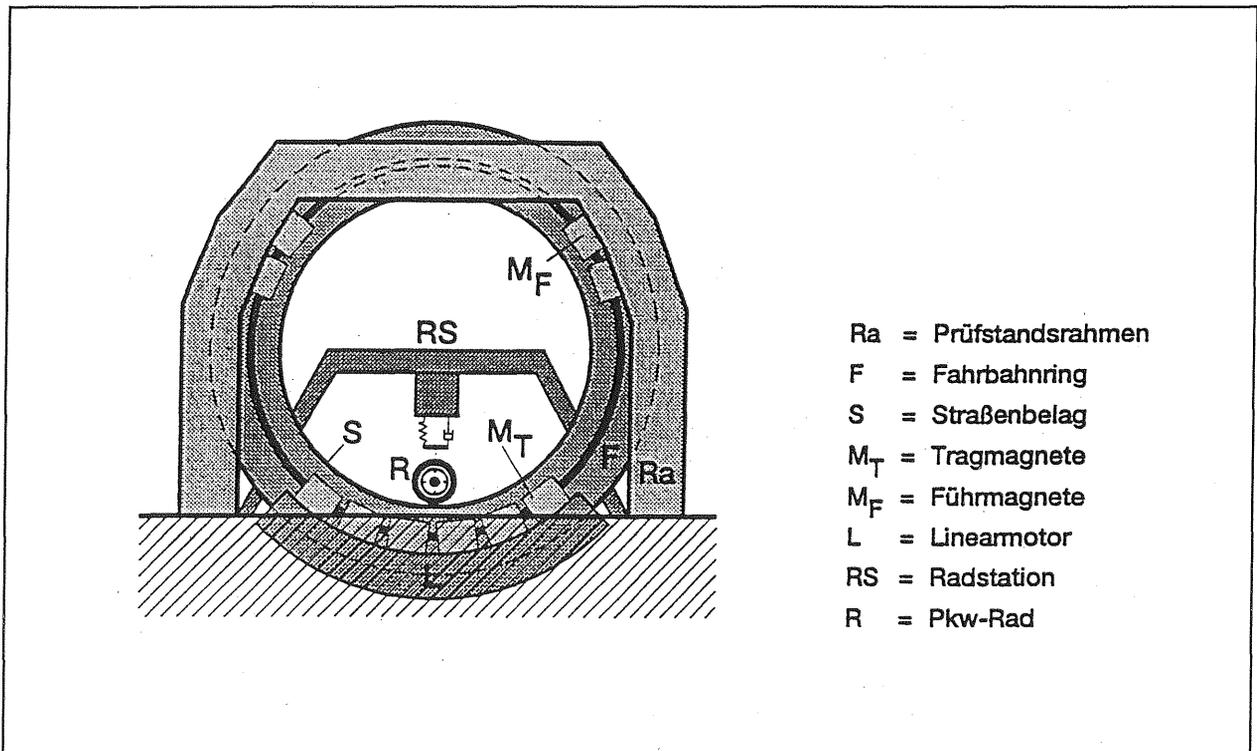
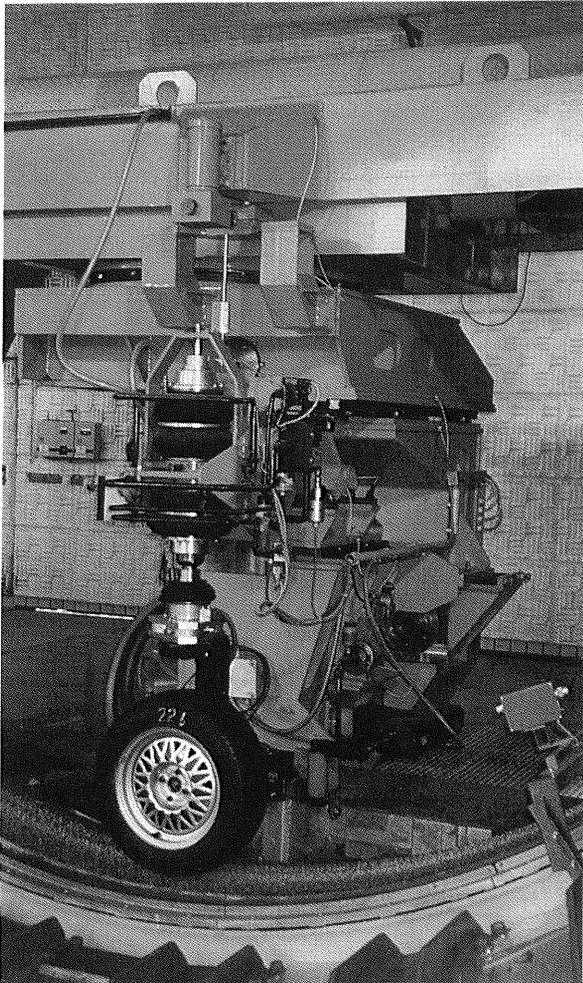


Bild 3.2: Schematischer Aufbau des PFF



**Bild 3.3:** Radstation des PFF mit Radträger, Kraftmeßsystem und pneumatischer Doppelluftfeder zur Radbelastung

Die frei zugängliche Innenfläche des Kreisring mit einem Umfang von ca. 18 m kann mit einer Fahrbahn versehen werden. Diese wird von 18 einzeln mit einem Spezialverfahren befüllten Belagskassetten mit natürlicher Materialzusammensetzung - Zement- und Asphaltbeton bis zu einem Größtkorn von 16 mm mit ca. 40 mm Belagsdicke sind realisierbar - gebildet.

Die gesamte Steuerung des Prüfstands übernimmt ein Prüfstandsrechner in Form eines Multiprozessorsystems. In Tab. 3.1 sind die technischen Daten des Prüfstands Fahrzeug/Fahrbahn zusammengestellt.

Innendurchmesser des Fahrbahnringes:	5,50 m
Breite der Fahrbahn:	0,50 m
Dicke des Fahrbahnbelages:	40 mm
Dimensionen der Pkw-Räder:	4 x 13 ... 7 x 15
Fahrgeschwindigkeit:	0 ... ± 260 km/h
Schlupf:	0 ... ± 100 %
Radlast:	0 ... 10 kN
Rollspur:	0 ... ± 200 mm
Schräglaufwinkel:	0 ... ± 30° (... -75°)
Sturzwinkel:	0 ... ± 6°
Nachlaufwinkel:	0 ... ± 6°
Leistungsaufnahme der Magnetlagerung:	16 kW
Antriebsleistung der Trommel:	200 kW
Antriebsleistung des Rades:	50 kW

**Tab. 3.1:** Technische Daten des Prüfstands Fahrzeug/Fahrbahn

## 4 Versuchsgestaltung

### 4.1 Auswahl der Reifen

Zum Zeitpunkt der Vorbereitung der Versuchsreihe Ende 1994 waren rollwiderstandsreduzierte Reifen bereits von zwei Herstellern lieferbar. Ein dritter Hersteller hatte eine Markteinführung für das Frühjahr 1995 angekündigt.

Um eine möglichst allgemeingültige Aussage zum Verhalten der rollwiderstandsreduzierten Reifen zu erhalten, war die Prüfung von zwei Reifengrößen und damit verknüpft von zwei Geschwindigkeitsklassen vorgesehen. Wie sich bei vorangegangenen Untersuchungen zum Rollwiderstand [2] zeigte, wird der Rollwiderstandsbeiwert - neben dem Einfluß durch die Betriebsparameter Radlast und Luftdruck - nicht unwesentlich von der Reifengröße und Geschwindigkeitsklasse (Speed-Symbol SSY) bestimmt.

Von zwei Herstellern wurden Reifen sowohl für die T-Kategorie (maximal zulässige Geschwindigkeit 190 km/h) als auch für die H- bzw. V-Kategorie (210 bzw. 240 km/h) angeboten. Von einem dritten Hersteller konnte gegen Ende des Versuchsprogramms nur T-Reifen geliefert werden. Um jedoch eine Aussage zum Verhalten in der größeren Reifendimension zu erhalten, wurden zusätzlich H-Reifen in der Normalausführung beschafft, da deren neue Gummimischung nach Aussagen des Herstellers einen geringeren Rollwiderstand in Bezug zu vorhergehenden Typen aufweisen sollte.

Als Reifengröße wurde diejenige Dimension festgelegt, die innerhalb der vorgesehenen Geschwindigkeitsklasse (T- bzw. H/V-Kategorie) am häufigsten verbreitet war. Diese Bedingungen erfüllen die Größen 175/70 R 13 T und 195/65 R 15 H/V, da sie weitgehend zur Erstausrüstung bzw. der Standardausstattung eines Fahrzeugs der unteren bzw. der oberen Mittelklasse mit entsprechend hohen Marktanteilen - VW Golf oder Opel Astra bzw. Audi 100 und Mercedes-Benz W124 - gehören.

Als Normal- bzw. Bezugsreifen wurden die Reifentypen gewählt, die innerhalb der jeweiligen Größe und Kategorie vor und nach Einführung der rollwiderstandsreduzierten Typen als Reifen mit konventioneller Bauart und Gummimischung erhältlich sind. Um auch Einflüsse durch unterschiedliche Laufflächengeometrien zu minimieren, wurden für beide Gruppen entweder identische oder ver-

gleichbare Profile verwendet. Für jede Gruppe und zu jedem Reifentyp wurden Exemplare mit annähernd gleicher Produktionswoche (DOT-Nummer) beschafft, um auch alterungsbedingte Einflüsse zu minimieren. Dies gelang nicht in allen Fällen; auf diesbezügliche Beeinflussung der Messungen wird in Kapitel 5 näher eingegangen.

Als Felgengröße wurde die zur jeweiligen Reifengröße gehörende übliche Dimension gewählt. Die Reifen der Größe 175/70 wurden auf 5.5Jx13-Felgen, die Größe 195/65 auf 6Jx15-Felgen aufgezogen. Die einzelnen technischen Daten der Prüfreifen sind zusammen mit den gemessenen Profiltiefen und Shore-Härten im Anhang zusammengestellt.

### 4.2 Versuchsfahrbahn

Ziel der Untersuchung sollte es sein, eine Aussage zum Grad der Minderung des Rollwiderstandes eines rollwiderstandsarmen Reifens in Bezug zu einem Normalreifen zu treffen. Um die Ergebnisse der Prüfstandsversuche auf Verhältnisse auf der Straße übertragen zu können, sind insbesondere für eine vergleichende Rollwiderstandsuntersuchung weitgehend reale und praxisnahe Bedingungen im Prüfstand einzustellen. Ein wesentliches Element der Prüfung stellt daher die verwendete Fahrbahn dar, deren Oberflächenstruktur und -eigenschaften den unter Verkehr liegenden Straßendecken entsprechen sollte.

Als Fahrbahnbelag wurde daher ein im Fernstraßenbau eingesetzter Asphaltbeton 0/11S nach ZTV-bit-Stb 84 (Protokoll der Eignungsprüfung s. Anhang) verwendet. Da fertigungsbedingt die Oberfläche der in den einzelnen Kassetten des Prüfstands gefertigten Belagsabschnitte einen hohen Bindemittelanteil aufweisen, wurden zur Realisierung einer verkehrstypischen Textur die Fahrbahnsegmente unter Zusatz von Sand dampfgestrahlt und der Bindemittelüberschuß an der Oberfläche abgetragen (Bild 4.1). Die gemessenen Oberflächenkennwerte sind in Tab. 4.1 zusammengestellt.

Wie die ermittelten Werte zeigen, erfüllt die Oberfläche der Versuchsfahrbahn nach der Behandlung die Anforderungen (SRT-Wert > 50, Rauhtiefe > 0,5 mm) und entspricht somit hinsichtlich der Textureigenschaften einer typischen Asphaltbetondecke mit mehrjähriger Liegedauer unter Verkehr.



Bild 4.1: Oberfläche der verwendeten Asphaltbetondecke 0/11S

### 4.3 Meßmechanik

Wie bereits in Kapitel 3 ausgeführt, verfügt der Prüfstand Fahrzeug/Fahrbahn (PFF) über eine dynamisch verstellbare Radführung. Bei der konstruktiven Gestaltung der Radaufhängung des Prüfstands wurden bereits die Anforderungen hinsichtlich der Messung von Rollwiderständen berücksichtigt. Die für Versuche mit hohen Umfangs- und Seitenkräften vorgesehene stabile Längs- und Querlenkereinheit wird dabei gegen eine leichte Radanlenkung mit integrierter Kraftmeßdose zu Messung der Längskraft ausgetauscht (Bild 4.2).

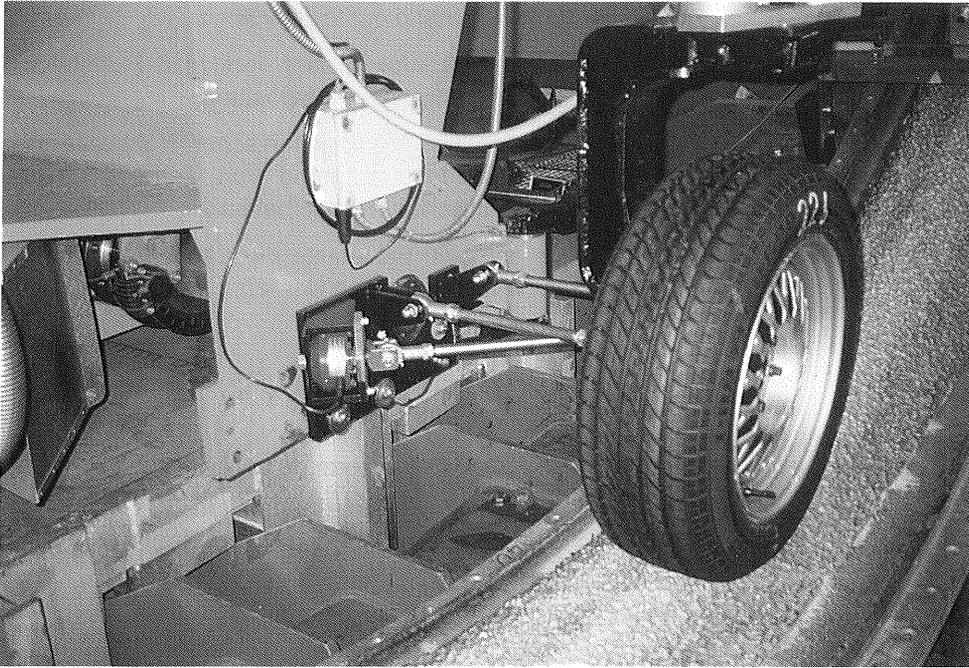
Durch Verwendung von nadelgelagerten Gelenkköpfen mit bauartbedingter geringer Reibung und geringem Spiel - für beide Querlenker und den diagonal angeordneten Meßlenker - wird eine präzise und weitgehend reibungs- und rückwirkungsfreie Führung des Prüfrades erzielt. Ein spezieller DMS-Aufnehmer mit hoher dynamischer Belastbarkeit in Meßrichtung bei gleichzeitig hohen Querkraften (Meßbereich  $\pm 1,25$  kN) ist am prüfstandsseitigen Gelenkpunkt des Meßlenkers angeordnet und erfaßt nur die Horizontalkomponente der Stützkraft (Bild 4.3).

Griffigkeit SRT-Einheit	mittl. Rauhtiefe mm	Fein-Textur <sup>1</sup> mm	Grob-T. mm	Mega-T. mm
59,2	1,1	0,26	0,44	0,45

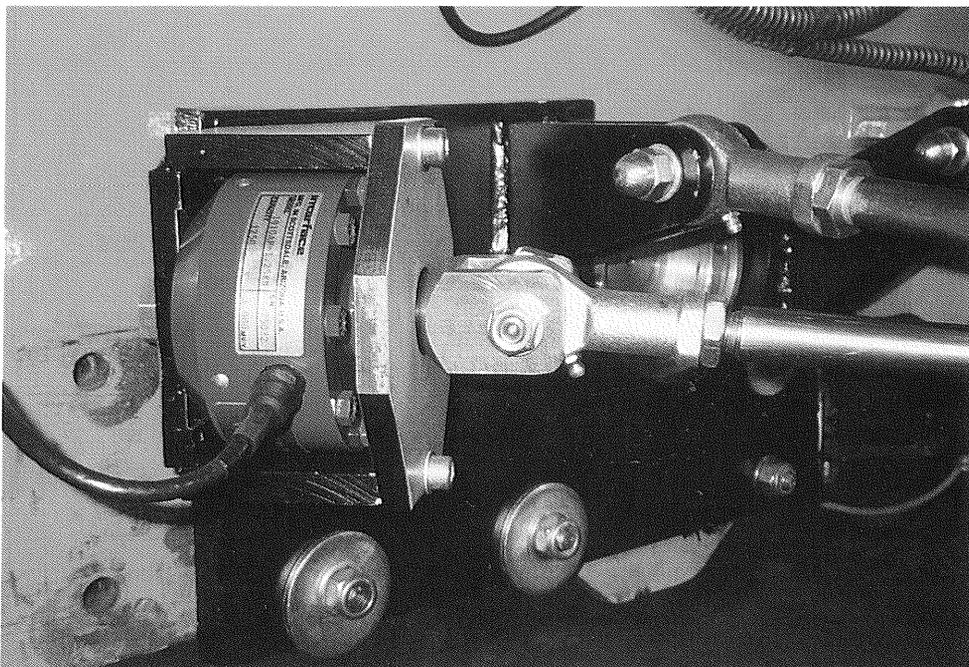
Tab. 4.1: Griffigkeit, Rauhtiefe und Texturkennwerte der Versuchsfahrbahn

<sup>1</sup>Als Texturkennwert wird der Effektivwert (RMS) der Amplituden der Profilhöhen innerhalb eines definierten Wellenlängenbereiches des Längsprofils angegeben.

Für die Wellenlängen gilt: Feintextur: 0,3-10 mm, Grobtextur: 10-100 mm, Megatextur: 100-500 mm



**Bild 4.2:** Radträgereinheit mit Radanlenkung und Rollwiderstandsmeßeinrichtung des Prüfstands Fahrzeug/Fahrbahn



**Bild 4.3:** Anordnung des DMS-Aufnehmers zur Messung der Längskraft

#### 4.4 Meßmethode

Die Rollwiderstandskraft eines Reifens tritt definitionsgemäß als Längskraft im Latsch des Reifens auf. Die Meßmechanik des PFF hingegen erfaßt die auf die Radachse wirkende Kraft. Da die Fahrbahn des PFF eine endliche Krümmung aufweist - nur auf einer ebenen Fahrbahn entspricht die in der Radachse gemessene Kraft der Rollwiderstandskraft im Latsch -, müssen für die Umrechnung der gemessenen Längskraft auf die jeweilige Latschfläche der dynamische Rollradius des Reifens und der wirksame Fahrbahnradius berücksichtigt werden. Der Kräfteplan der Prüfstandsanordnung in Bild 4.4 verdeutlicht den Zusammenhang.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, daß bei einer Längskraftmessung neben dem Rollwiderstand zusätzliche Kräfte auftreten (s. a. Kap. 2.1). Die Ursachen dieser Kräfte sind:

- Lagerreibung
- Strömungsverluste des Prüfrades durch Luftwirbel

- Luftwiderstand durch Fahrtwind
- Längskraft infolge einer vertikalen Fehlstellung der Radführung und -belastung
- elektrischer und mechanischer Nullpunktfehler der Meßdose aufgrund von Temperatur und mechanischer Wechselbelastung

Die allgemeine Beziehung der Längskraftmessung kann damit angegeben werden:

$$F_x = R + F_w + F_L + F_{xz} + F_0$$

- mit  $F_x$  = resultierende Längskraft  
 $R$  = Rollwiderstandskraft  
 $F_w$  = Luftwiderstand und Strömungsverlust  
 $F_L$  = Lagerreibung  
 $F_{xz}$  = Längskraftfehler aufgrund vertikaler Fehlstellung  
 $F_0$  = zusammengefaßter Nullpunktfehler der Meßdose

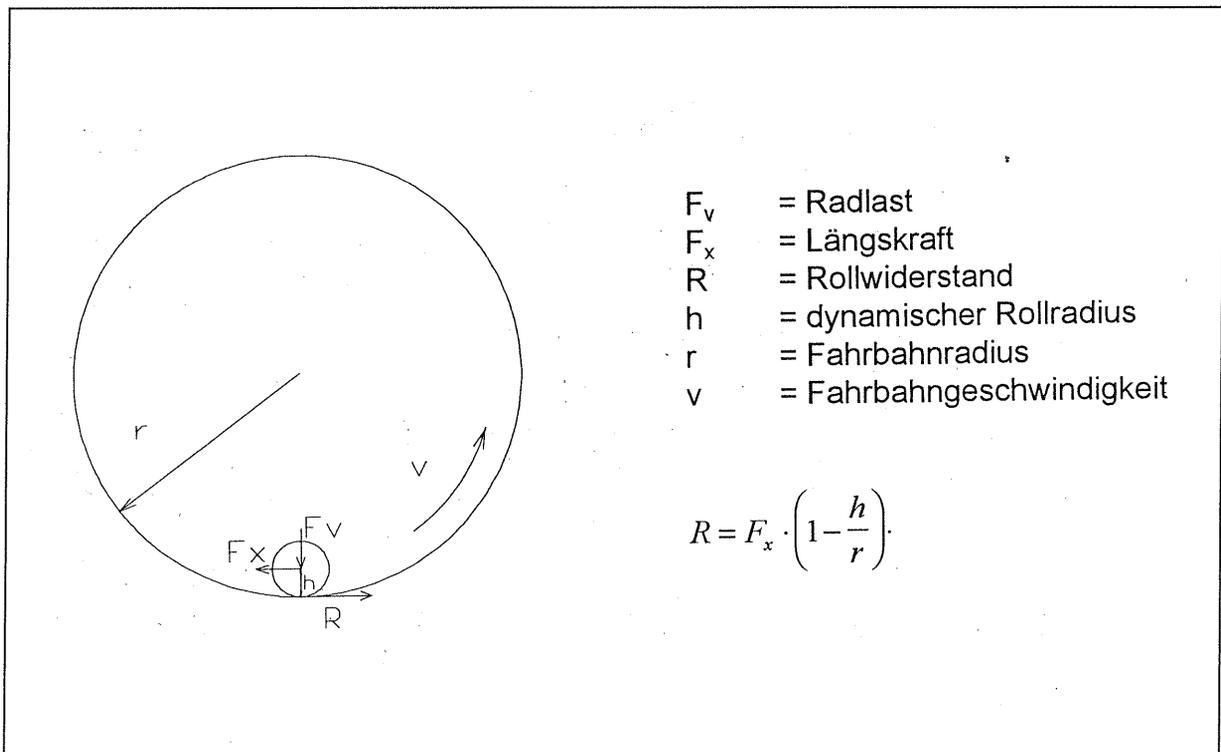


Bild 4.4: Kräfteplan des Reifen/Trommelsystems im PFF

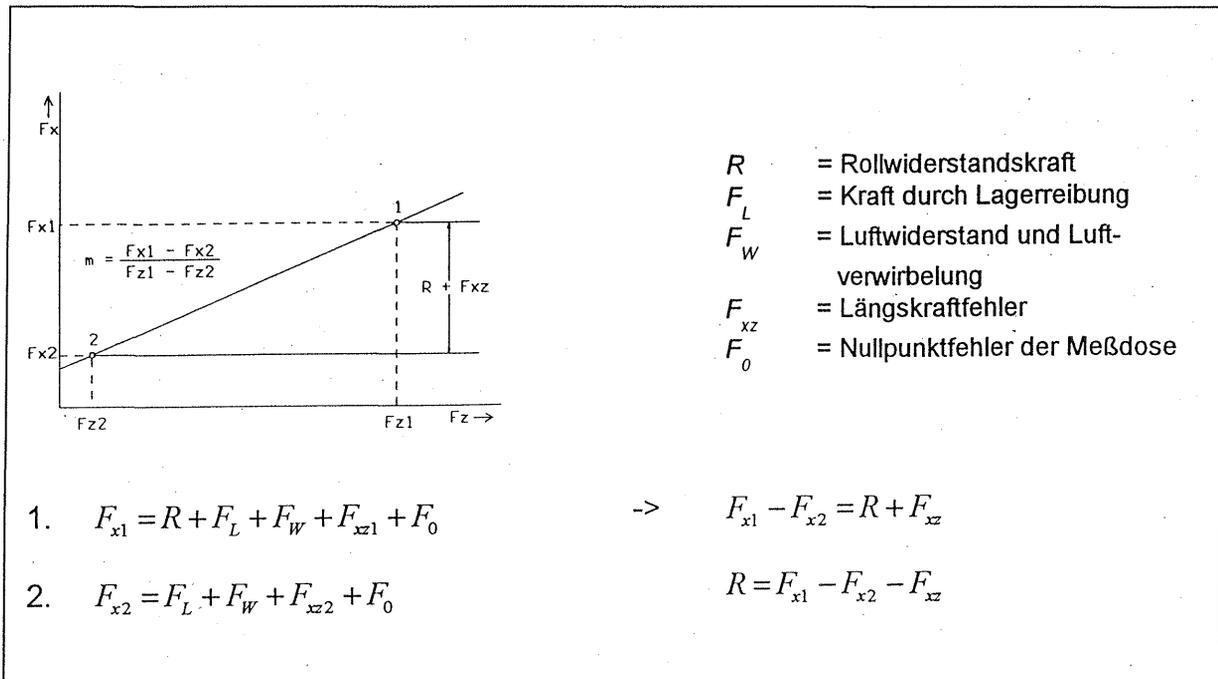


Bild 4.5: Prinzip der Zweipunktmessung

Für die Trennung der einzelnen Komponenten wird eine Methode in Form einer Zweipunktmessung verwandt [2]. Das Prinzip der Meßmethode zeigt Bild 4.5. Unter der Voraussetzung eines linearen Zusammenhangs zwischen der Längskraft  $F_x$  und der Radlast  $F_z$  wird in einer Zweipunktmessung die für jede Reifen/Fahrbahn-Kombination geltende typische Kennlinie bestimmt.

Bei einer idealen vertikalen Ausrichtung der Wirkungslinie der Radlast - der Anteil des Längskraftfehlers  $F_{xz}$  wird zu Null - oder bei weitgehend gleichbleibendem Längskraftfehler als prüfstands-spezifischer Konstante wird der reifenspezifische Rollwiderstand durch die Steigung  $m$  vollständig beschrieben. Durch die Differenzbildung werden additive Kraftanteile, die nicht ursächlich mit dem Rollwiderstand verknüpft sind - Nullpunkt drift der Meßdose, Lagerreibung, Luftwiderstand und strömungsbedingte Verluste am Prüfrad - eliminiert und nur die durch den Prüfreifen aufgrund der Radlast induzierte Rollwiderstandskomponente erfaßt.

Der noch unbestimmte Wert des Längskraftfehlers  $F_{xz}$  wird in einer gesonderten Messung bei geringer Geschwindigkeit der Fahrbahn in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung bestimmt nach

$$F_{xz} = \frac{F_{xv} + F_{xr}}{2}$$

mit  $F_{xv}$  = Längskraft der Vorwärtsmessung  
 $F_{xr}$  = Längskraft der Rückwärtsmessung

Da am Prüfstand keine Konstanthaltung bzw. Regelung der Umgebungstemperatur möglich ist, muß deren Einfluß auf den Rollwiderstand kompensiert werden. Ein Korrekturansatz für Pkw-Reifen nach [10] beseitigt weitgehend den vorhandenen Temperatureinfluß. Für den auf eine Raumtemperatur von 25 °C bezogenen Rollwiderstand  $R_{25}$  erhält man somit:

$$R_{25} = R \cdot \left(1 + K \cdot (T_u - T_b)\right)$$

mit  $R$  = Rollwiderstand in N, gemessen bei Umgebungstemperatur  
 $K$  = Konstante für Pkw-Reifen = 0,01  
 $T_u$  = Umgebungstemperatur in °C  
 $T_b$  = Bezugstemperatur, üblicherweise 25 °C

## 4.5 Versuchsdurchführung

### 4.5.1 Einlaufbedingungen

Die Versuchsreifen wurden vor Beginn der Versuchsreihe in einem sog. Break-In über eine definierte Strecke in einem zweiten, mechanisch gelagerten Innentrommelprüfstand (IPS) der BAST „eingefahren“, um Spannungen abzubauen, die vielfach beim Neureifen nach der Vulkanisation verbleiben. Es wurde somit für alle Reifen eine Voralterung realisiert und eine annähernd vergleichbare Ausgangssituation geschaffen. Die Bedingungen des Einlaufs waren hierbei:

- Einlaufstrecke: 400 km
- Dauer: 4 h
- Geschwindigkeit: 100 km/h
- Radlast: 3 kN
- Umfangskraft: 0,5 kN bremsend
- Bewässerung: 400 l/h d.h. ca. 0,6 mm Wasserfilm
- Versuchsfahrbahn: Asphaltbeton 0/11S
- Rauhtiefe 0,7 mm
- Griffigkeit: ca. 56 SRT-Einheiten

### 4.5.2 Rollwiderstandsmessung

Zur Vereinheitlichung des Versuchablaufs der Rollwiderstandsmessungen wurde die Prüfung nach der Norm zur Rollwiderstandsmessung - DIN ISO 8767 - durchgeführt. Diese sieht für eine geschwindigkeitsabhängige Messung des Rollwiderstandes die Prüfung bei einer Geschwindigkeit von 50, 90 und 120 km/h vor [11]. Die Radlast wurde auf 80 % der maximalen Tragfähigkeit (Load-Index LI) des jeweiligen Reifens eingestellt. Der Fülldruck des Reifens wurde der Herstellertabelle für die zugehörige Radlast entnommen und betrug je nach Tragfähigkeit und Geschwindigkeitsklasse 2,1 oder 2,2 bar. Der Luftdruck wurde zu Beginn des Versuches bei einer Hallentemperatur von im Mittel 18 °C eingestellt und im weiteren Verlauf nicht korrigiert, so daß sich der Reifeninnendruck, wie in der Norm vorgesehen, frei entfalten konnte.

Der zeitliche Ablauf des Versuches erfolgte nach der Normvorschrift. Diese sieht nach einer Aufwärmphase für den Reifen von 40 Minuten bei der ersten Geschwindigkeit die Messung des Rollwiderstandes vor, wobei nach Erreichen einer neuen Geschwindigkeitsstufe zunächst eine weitere Erwärmungsphase von 20 Minuten erfolgt. Die Längskraftmessung wird als Zweipunktmessung mit einer jeweiligen Dauer von 1 Minute durchge-

führt, bei der jeweils ca. 50 gemittelte Längskraftwerte registriert werden.

Einen typischen Meßschrieb für einen kompletten Versuchslauf über drei Geschwindigkeitsstufen zeigt Bild 4.6. Deutlich ist die Zunahme der Laufflächentemperatur ( $T_r$  - untere Kurve) zu Beginn einer Geschwindigkeitsstufe und die spätere Stabilisierung im weiteren Verlauf zu erkennen. Die Zweipunktmessung wird nach Ablauf der festgelegten Zeit bei der jeweiligen Geschwindigkeitsstufe durchgeführt, erkennbar an der Abnahme der Radlast  $F_z$  (1. Kurve) sowie an der Reduzierung der Schwingungen der Längskraft  $F_x$  (2. Kurve) und an der Abnahme der Laufflächentemperatur. Zu Beginn des Schriebs sind noch die Vorwärts- und Rückwärtsmessung zur Bestimmung des Längskraftfehlers am Vorzeichenwechsel der Längskraft zu erkennen. Aufgrund der Betragsbildung für die Prüfstandsgeschwindigkeit werden in Kurve 3 nur positive Werte angezeigt.

Für die Ablaufsteuerung, Bedienerführung, Visualisierung und Datenerfassung der Prüfstandsmeßwerte wurde ein speziell für Rollwiderstandsuntersuchungen entwickeltes Programm unter Verwendung der Echtzeitbetriebsbibliothek RT-EDAS verwendet [9].

Zusätzlich zur Geschwindigkeit der Fahrbahn werden die Vertikalkraft, die Längskraft und die Umgebungstemperatur am Prüfrad erfaßt. Die Temperatur der Lauffläche des Prüfrades wird mit einem berührungslosen IR-Thermometer registriert. Der dynamische Rollradius der Reifens wird aus der Einfederung der Radaufhängung, die mit einem induktiven Weggeber gemessen wird, und der vertikalen Position des Portals des Prüfstands fortlaufend bestimmt und für die Längskraftberechnung verwendet.

Zu jedem Reifen wurden zwei Versuchsläufe mit identischem zeitlichen Ablauf durchgeführt, so daß insgesamt 6 Rollwiderstandswerte gemessen wurden (2 mal 3 Geschwindigkeiten). Innerhalb der jeweiligen Reifengruppe (normale bzw. reduzierte Ausführung) mit jeweils drei Exemplaren standen somit 18 Rollwiderstandsmeßwerte zur weiteren Auswertung zur Verfügung. In Tab. 4.2 sind die einzelnen Versuchsläufe innerhalb der zugehörigen Reifengruppen und -größen als Versuchsmatrix zusammengefaßt. Eine Zuordnung von Bezeichnungen und Daten der Prüfreifen ist im Anhang aufgeführt.

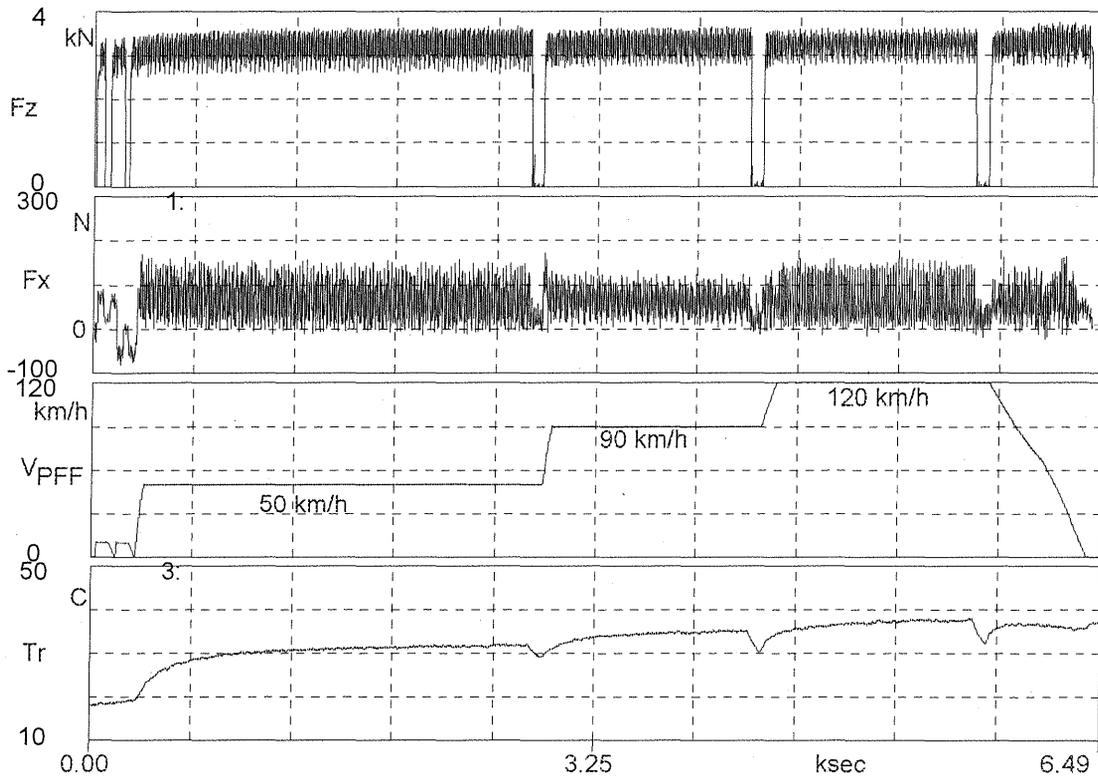


Bild 4.6: Meßschieb eines Rollwiderstand-Versuches im PFF mit drei Geschwindigkeiten (50 km/h, 90 km/h u. 120 km/h),  $F_z$  ungefiltert,  $F_x$  über 2 s gleitend gemittelt

Hersteller:		A				B				C			
Größe:	175/70 R 13 T	195/65 R 15 V		175/70 R 13 T		195/65 R 15.H		175/70 R 13 T		195/65 R 15 H			
Typ:	reduziert	normal	reduziert	normal	reduziert	normal	reduziert	normal	reduziert	normal	reduziert	normal	
Versuch:													
I	A10a	A11a	A12a	A13a	A14a	A15a	A16a	A17a	A18a	A19a	---	A20a	
II	A10a	A11a	A12a	A13a	A14a	A15a	A16a	A17a	A18a	A19a	---	A20a	
I	A10b	A11b	A12b	A13b	A14b	A15b	A16b	A17b	A18b	A19b	---	A20b	
II	A10b	A11b	A12b	A13b	A14b	A15b	A16b	A17b	A18b	A19b	---	A20b	
I	A10c	A11c	A12c	A13c	A14c	A15c	A16c	A17c	A18c	A19c	---	A20c	
II	A10c	A11c	A12c	A13c	A14c	A15c	A16c	A17c	A18c	A19c	---	A20c	

Tab. 4.2: Versuchsmatrix von Versuchsläufen und Prüfreifen

## 5 Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse der einzelnen Versuchsläufe der insgesamt 33 Prüfreifen - drei Hersteller mit vier bzw. drei Reifentypen mit jeweils drei Exemplaren - sind im Anhang zusammengestellt. Die Einzelwerte wurden nach der in Kapitel 4.4 beschriebenen Zweipunktmethode aus den beiden Längskraftwerten berechnet. Unter Einbeziehung der aktuellen Lufttemperatur in der Prüfstandshalle während der Messung wurde anschließend die auf eine Raumtemperatur von 25 °C bezogene Rollwiderstandskraft  $R_{25}$  gebildet. Da die zu jedem Reifen durchgeführten beiden Versuchsläufe eine insgesamt gute Reproduzierbarkeit mit einer maximalen Abweichung von 1,3 N aufweisen, wurden beide Werte zu einem für die jeweilige Geschwindigkeitsstufe geltenden Mittelwert zusammengefaßt. Weiterhin wurde aufgrund des weitgehend konstanten Verhaltens des Rollwiderstandes in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit ein Gesamtmittelwert über drei Geschwindigkeiten gebildet. Der auf eine Raumtemperatur von 25 °C bezogene Rollwiderstandsbeiwert  $c_{R25}$  wurde aus dem Quotienten von gemitteltem Rollwiderstand und der Nennradlast für die jeweilige Reifengröße gebildet.

Die teilweise aufgetretenen hohen Streuungen innerhalb einer Reifengruppe sind auf fertigungsbedingte Einflüsse zurückzuführen. Ein Einfluß der Alterung des Reifens und der Shore-Härte des Laufflächengummis auf den Rollwiderstand ist wegen der Vielzahl der weiteren unbekanntenen Parameter aus den Meßergebnissen nicht eindeutig abzuleiten.

Insgesamt betrachtet bleibt die Gruppenstreuung quantitativ unterhalb der durch die unterschiedliche Reifenausführung bedingten Rollwiderstandsverminderung, so daß in allen Fällen eine signifikante und eindeutige Gruppenzuordnung der Reifen durch die Prüfstandsmessungen bestätigt wird.

### 5.1 Hersteller A

In den Bildern 5.1 und 5.2 sind die Rollwiderstandsbeiwerte der Reifen des Herstellers A - jeweils gemittelt über 6 Meßwerte (3 Exemplare in 2 Versuchsläufen) - einschließlich der Maximal- bzw. Minimalwerte, die die aufgetretenen Exemplarstreuungen innerhalb einer Reifengruppe verdeutlichen, dargestellt. Insgesamt zeigen die Ergebnisse ein weitgehend ausgeglichenes Verhalten des Rollwiderstandsbeiwertes für beide Reifengrößen und Geschwindigkeitsklassen.

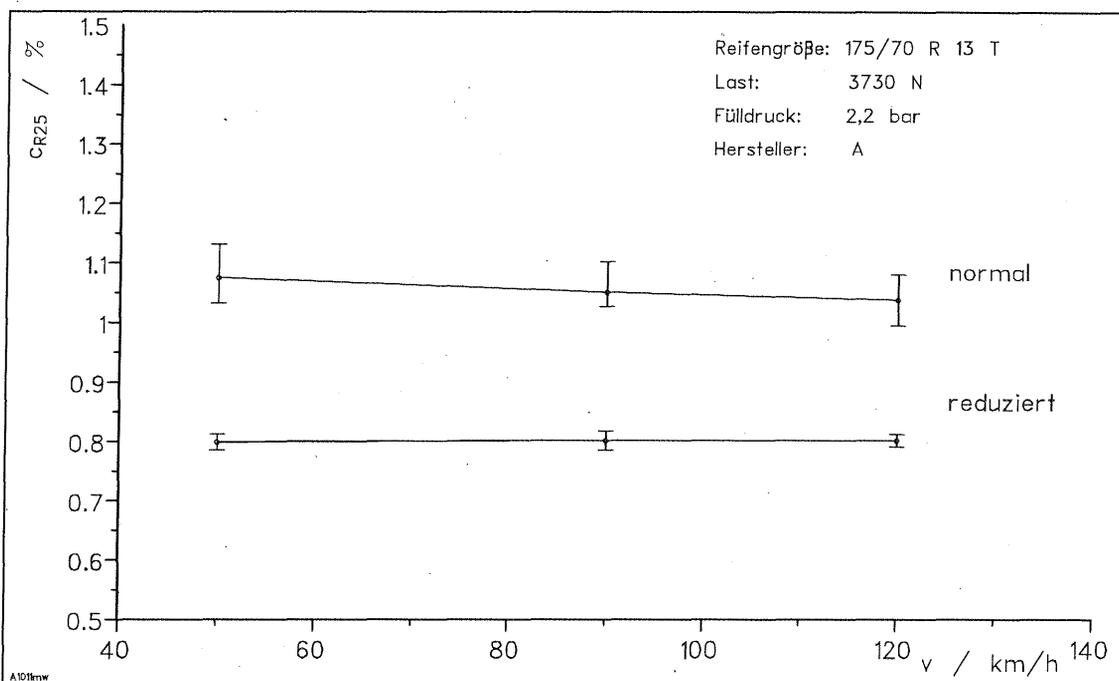


Bild 5.1: Rollwiderstandsbeiwerte als Mittel-, Maximal- und Minimalwerte in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Reifengröße 175/70 R 13 T - Hersteller A

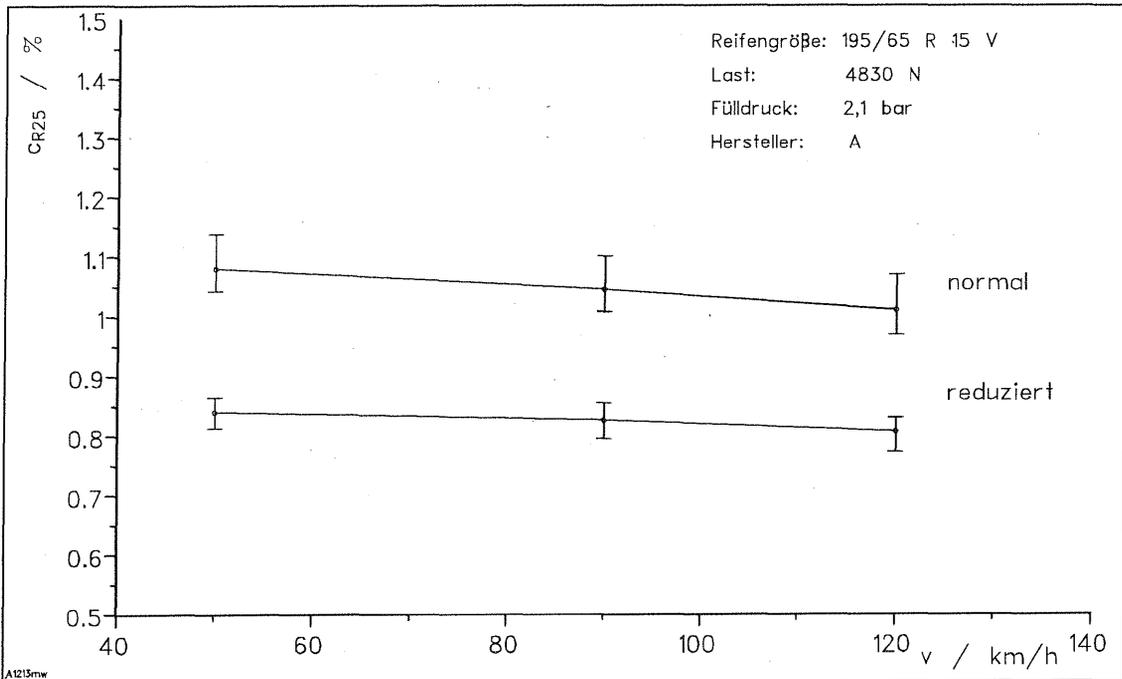


Bild 5.2: Rollwiderstandsbeiwerte als Mittel-, Maximal- und Minimalwerte in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Reifengröße 195/65 R 15 V - Hersteller A

Beiden Darstellungen gemeinsam ist eine ausgeprägte Exemplarstreuung des Beiwertes für den Normalreifen, während die Ergebnisse der rollwiderstandsreduzierten Ausführung in beiden Reifengrößen nur geringfügig voneinander abweichen. Aus den bekannten bzw. zusätzlich gemessenen Eigenschaften der Reifen - Fertigungszeitpunkt bzw. Shore-Härte - können jedoch keine Anhaltspunkte hierfür abgeleitet werden, da sämtliche Reifen bis auf eine Ausnahme (Reifen A11a) innerhalb einer Gruppe aus der gleichen Produktionswoche stammen und identische Shore-Härten aufweisen (s.a. Anhang).

Für den über drei Geschwindigkeiten und für drei Exemplare gemittelten Rollwiderstandsbeiwert

erhält man in der kleineren Reifengröße einen Wert von 1,06 % für den Normalreifen (Tab. 5.1). Der Beiwert der rollwiderstandsarmen Reifen wurde hingegen mit 0,8 % ermittelt, so daß die Minderung für die Gruppe der rollwiderstandsreduzierten Reifen 24 % beträgt. In der größeren Reifendimension werden vergleichbare Beiwerte erzielt. So ergibt sich für den Normalreifen ein Wert von 1,05 % und für die rollwiderstandsarme Ausführung ein Wert von 0,83 %. Die Minderung kann bei Bezug auf den Normalreifen in dieser Reifengröße mit 21 % angegeben werden. Es ergibt sich somit für beide Reifentypen und -größen ein insgesamt ausgeglichenes Ergebnis (Bild 5.3).

Hersteller A Reifentyp	175/70 R 13 T		195/65 R 15 V	
	normal	reduziert	normal	reduziert
Beiwert $c_{R25}$ / %	1,06	0,8	1,05	0,83
Minderung / %		24		21

Tab. 5.1: Rollwiderstandsbeiwerte, gemittelt über drei Geschwindigkeiten und relative Minderung bei Bezug auf den Normalreifen

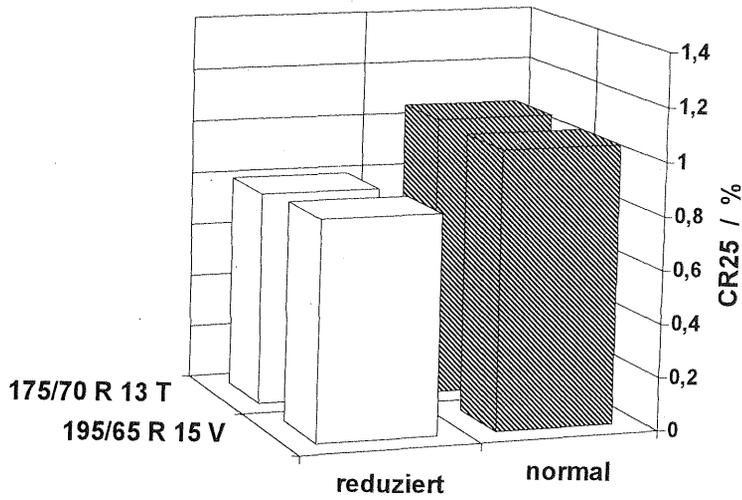


Bild 5.3: Mittlere Beiwerte der beiden Reifengrößen für rollwiderstandreduzierte Reifen und Normalreifen - Hersteller A

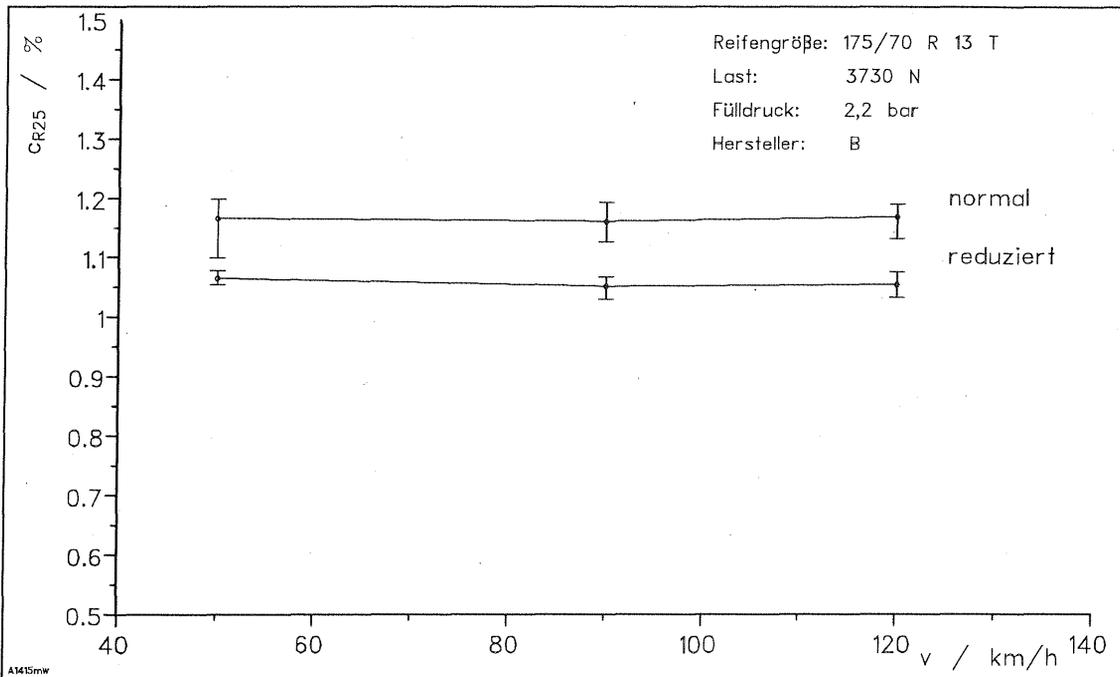


Bild 5.4: Rollwiderstandsbeiwerte als Mittel-, Maximal- und Minimalwerte in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Reifengröße 175/70 R 13 T - Hersteller B

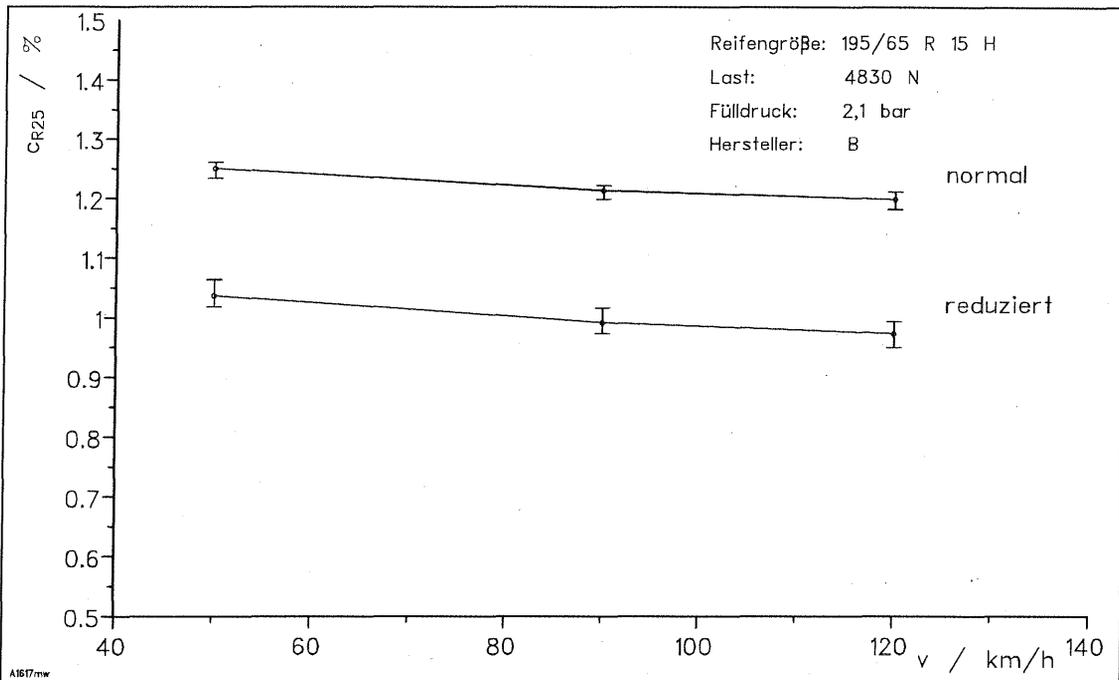


Bild 5.5: Rollwiderstandsbeiwerte als Mittel-, Maximal- und Minimalwerte in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Reifengröße 195/65 R 15 H - Hersteller B

## 5.2 Hersteller B

Bei den Ergebnissen der Versuche mit den Reifen des Herstellers B zeigt sich hinsichtlich der Exemplarstreuung der Meßwerte die bereits bei den Reifen des Herstellers A angetroffene Aufweitung in der Gruppe der Normalreifen. Die Streuung bei den rollwiderstandreduzierten Reifen der kleineren Größe erreicht vergleichbare Werte wie bei Hersteller A (Bild 5.4 und Bild 5.5).

Hinsichtlich der Geschwindigkeitsabhängigkeit ist lediglich in der Gruppe mit der kleineren Größe eine weitgehende Konstanz zu verzeichnen, wo-

hingegen in der größeren Reifendimension für beide Reifentypen eine leichte Abnahme des Beiwertes in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit festzustellen ist.

Die Reduzierung des Beiwertes mit Bezug auf den Normalreifen ergibt einen Wert von 9,4 % für die Größe 175/70 und 18 % für die Größe 195/65 (Tab. 5.2).

Die Absolutwerte zeigen insgesamt betrachtet ein weniger gut ausgeglichenes Verhalten. Die Zuordnung der Beiwerte und deren Minderung veranschaulicht Bild 5.6.

Hersteller B Reifentyp	175/70 R 13 T		195/65 R 15 H	
	normal	reduziert	normal	reduziert
Beiwert $c_{R25}$ / %	1,17	1,06	1,23	1,0
Minderung / %		9,4		18,0

Tab. 5.2: Rollwiderstandsbeiwerte, gemittelt über drei Geschwindigkeiten und relative Minderung bei Bezug auf den Normalreifen

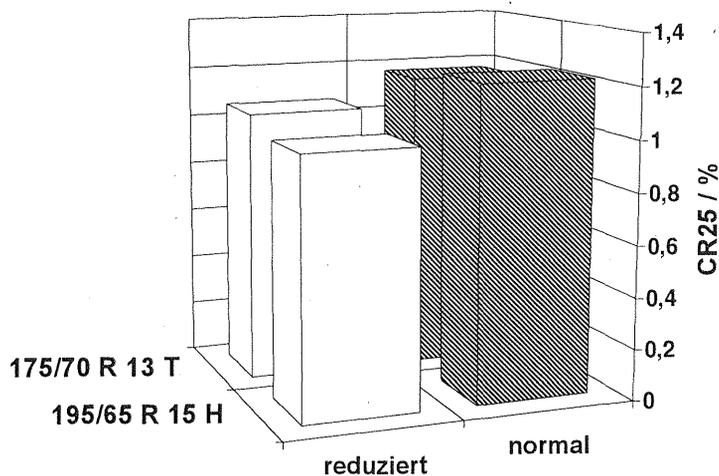


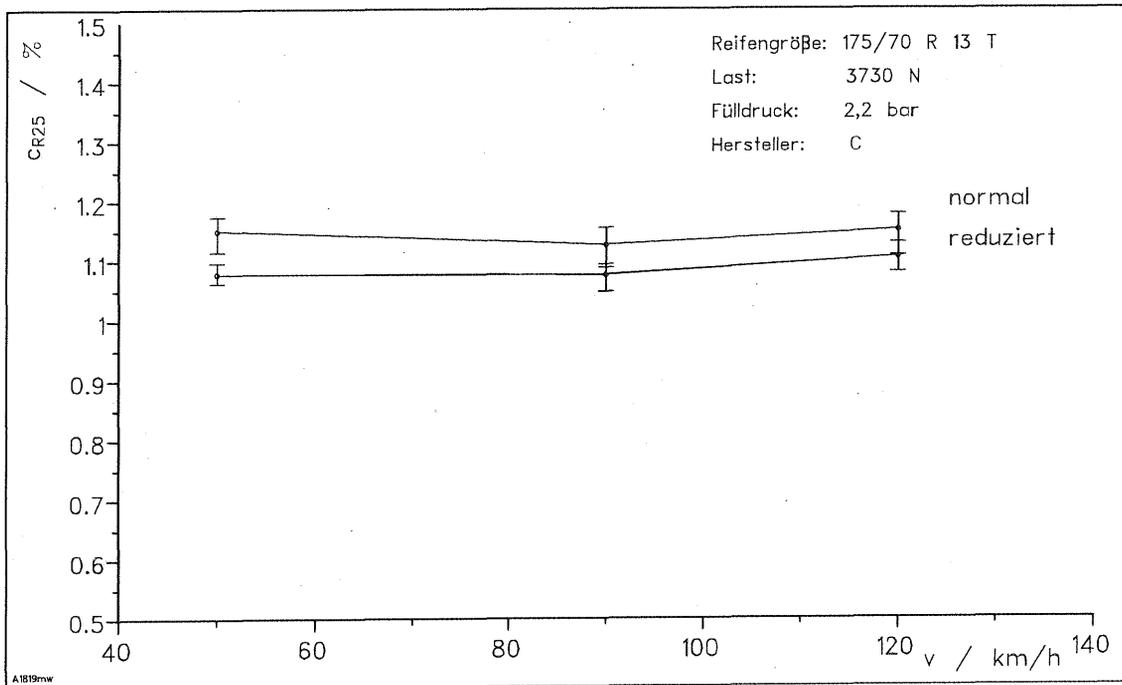
Bild 5.6: Mittlere Beiwerte der beiden Reifengrößen für rollwiderstandreduzierte Reifen und Normalreifen - Hersteller B

Die Unterschiede in der Shore-Härte der jeweiligen Reifengruppe des Herstellers B sind nur gering ausgeprägt. Es muß jedoch, wie bereits anfangs ausgeführt, der mögliche Alterungseinfluß berücksichtigt werden. Der Altersunterschied fällt insbesondere bei den Reifen der kleineren Dimension ins Gewicht. So liegen zwischen den einzelnen Reifen im Extremfall bis zu 71 Wochen entsprechend einer Altersdifferenz von ca. 1 ¼ Jahr. In der Größe 195/65 betrug der Unterschied ca. 16 Wochen. Die Shore-Härte sämtlicher Reifen des Herstellers B betrug 64 bis 67 Einheiten. Einen Sonderfall stellt Reifen A15a dar, der als Normalreifen aus der 38. Woche 1993 lediglich einen Wert von 61 Einheiten aufweist (s.a. Tab. im Anhang). Im Rollwiderstand zeigt sich dies in einer Reduzierung um ca. 2 N im Vergleich zu den Rollwiderstandswerten der anderen Exemplare der Gruppe. Da jedoch mit einer Shore-Härtmessung nur ein Teilaspekt der teilweise komplexen Eigenschaften des Reifengummis erfaßt wird, sind die hieraus abgeleiteten Schlußfolgerungen und Aussagen, auch vor dem Hintergrund der vielen noch ungeklärten Einflüsse der Gummieigenschaften auf den Rollwiderstand, nur bedingt zulässig und bedürfen insgesamt noch einer systematischen Untersuchung.

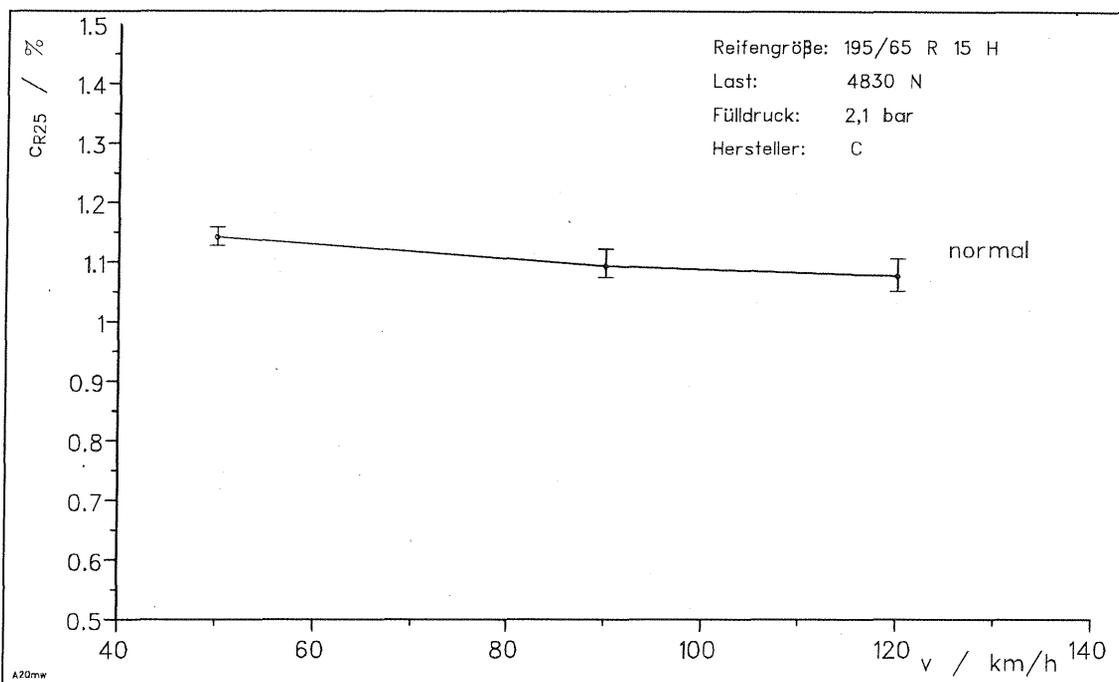
### 5.3 Hersteller C

Wie bereits in Kapitel 4.1 ausgeführt, konnten vom Hersteller C rollwiderstandsreduzierte Reifen nur in der kleinen Größe geliefert werden. Um dennoch eine Abschätzung des Beiwertes in der größeren Dimension zu ermöglichen, wurde hierzu ein Normalreifen mitgeprüft. Die Ergebnisse sind in den Bildern 5.7 und 5.8 dargestellt. In Tab. 5.3 sind die gemittelten Werte zusammengefaßt.

Die Ergebnisse der Rollwiderstandsprüfung zeigen - wie bereits bei den beiden anderen Herstellern - eine weitgehend geringe Geschwindigkeitsabhängigkeit bei der kleinen Reifengröße. In der größeren Dimension tritt auch hier eine Abnahme des Rollwiderstandsbeiwertes mit wachsender Geschwindigkeit auf. Die Shore-Härtewerte liegen mit ca. 65 Einheiten in der kleinen Dimension in vergleichbarer Größenordnung wie bei den Reifen der anderen Hersteller. Hingegen wurden in der Größe 195/70 R 15 H Shorehärtewerte von 71 Einheiten gemessen, die damit um ca. 10 % über den Werten der anderen Reifen liegen.



**Bild 5.7:** Rollwiderstandsbeiwerte als Mittel-, Maximal- und Minimalwerte in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Reifengröße 175/70 R13 T - Hersteller C



**Bild 5.8:** Rollwiderstandsbeiwerte als Mittel-, Maximal- und Minimalwerte in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Reifengröße 195/65 R15 H - Hersteller C

Hersteller C Reifentyp	175/70 R 13 T		195/65 R 15 H	
	normal	reduziert	normal	reduziert
Beiwert $c_R$ / %	1,14	1,09	1,10	---
Minderung / %		4,9		

Tab. 5.3: Rollwiderstandsbeiwerte, gemittelt über drei Geschwindigkeiten und relative Minderung bei Bezug auf den Normalreifen

Die Minderung des Rollwiderstandsbeiwertes in der kleinen Reifengröße fällt mit ca. 5 % relativ gering aus. Der mittlere Beiwert beträgt lediglich 1,09 % in der kleinen Größe; in der großen Dimension wird

ein Beiwert von 1,1 % erzielt. Die Darstellung in Bild 5.9 verdeutlicht die erzielten Absolutwerte und die Minderung.

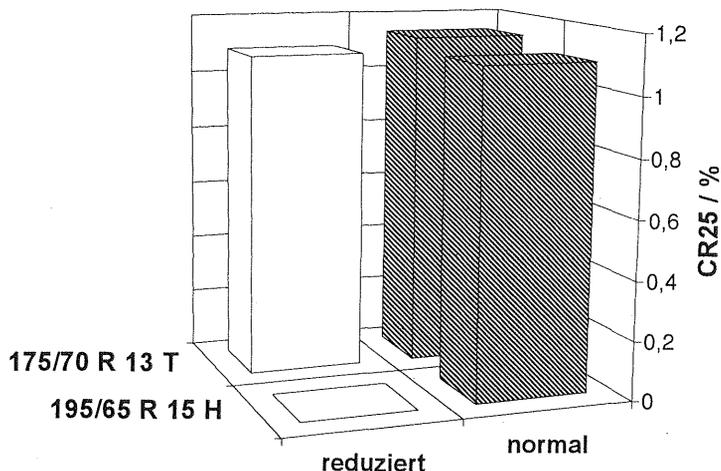


Bild 5.9: Mittlere Beiwerte der beiden Reifengrößen für rollwiderstandreduzierte Reifen und Normalreifen - Hersteller C

## 6 Zusammenfassung und Bewertung

### 6.1 Rollwiderstand

Bei sämtlichen untersuchten rollwiderstandsarmen Reifen wurde eine Reduzierung des Rollwiderstandes in Bezug zum jeweiligen Normalreifen festgestellt. Der Grad der Minderung fällt jedoch je nach Fabrikat unterschiedlich hoch aus und differiert teilweise in den beiden geprüften Reifendimensionen. Eine zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Rollwiderstandsversuche zeigt Bild 6.1. So erreichen die Exemplare des Herstellers A in beiden Reifendimensionen eine annähernd gleichgroße prozentuale Reduzierung des Rollwiderstandes, bezogen auf den Normalreifen, mit Werten zwischen 21 % und 24 %.

Die Reifen des Herstellers B zeigen hingegen weniger gute Ergebnisse in der Reduzierung des Rollwiderstandsverlustes und differieren erheblich bei beiden Reifengrößen. So wird in der Größe 175/70 R 13 T ein Wert von 18 % erzielt, wohingegen für die Größe 195/65 R 15 H lediglich eine Minderung von annähernd 10 % erreicht wird.

Für die Reifen des Herstellers C wurde in der Dimension 175/70 R 13 T eine nur geringe Reduzie-

rung des Rollwiderstandes von ca. 5 % ermittelt. Eine Aussage für die andere Dimension ist nicht möglich, da eine rollwiderstandsarme Ausführung nicht produziert wird. Die geprüfte Normalausführung erreicht geringfügig höhere Werte als die entsprechende Gruppe des Herstellers A und liegt weit unterhalb der ermittelten Beiwerte der Reifen des Herstellers B.

Obwohl ein fabrikatsabhängiger Vergleich nicht Ziel der durchgeführten Untersuchung sein sollte, so zeigt die direkte Gegenüberstellung der erzielten Rollwiderstandsbeiwerte der einzelnen Fabrikate ein unerwartetes Ergebnis.

Besonders auffallend ist, daß innerhalb jeder Gruppe und Reifengröße die Reifen des Herstellers A den geringsten Rollwiderstandsbeiwert aufweisen. Insbesondere die Rollwiderstände der „Normalreifen“ des Herstellers A liegen überwiegend unterhalb der Werte der rollwiderstandsarmen Reifen der beiden anderen Hersteller.

Als generelles Ergebnis der Untersuchung läßt sich feststellen, daß, gemessen an den Werbeaussagen der Reifenhersteller, lediglich von einem Hersteller das gesteckte Ziel - Reduzierung des Rollwiderstandes von bis zu 30 % - annähernd erreicht wird.

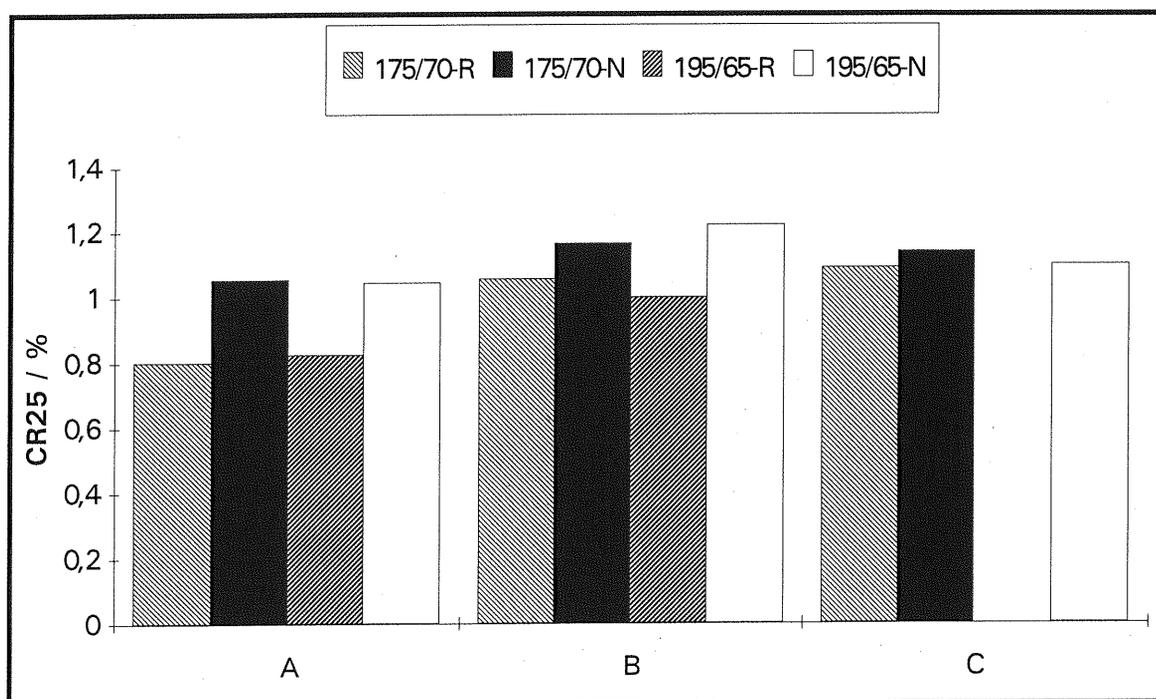


Bild 6.1: Mittlere Rollwiderstandsbeiwerte der geprüften Reifen in zwei Größen und von drei Herstellern im Vergleich (R = rollwiderstandsreduzierte Ausführung N = normale Ausführung)

Es kann davon ausgegangen werden, daß die Entwicklung rollwiderstandsarmer Reifen noch nicht abgeschlossen ist. In den nächsten Jahren wird daher mit einer weiteren Reduzierung des Rollwiderstandsverlustes zu rechnen sein und ein Ausgleich eines möglicherweise noch vorhandenen technischen Vorsprungs bei der Entwicklung rollwiderstandsarmer Reifen stattfinden.

## 6.2 Energiereduzierung

Mit den zuvor festgestellten Ergebnissen für die Reduzierung des Rollwiderstandes von Reifen der neuen Generation läßt sich in Anlehnung an die im Kapitel 2.2 angegebenen Verbrauchsmodelle eine vereinfachte Abschätzung des Energie- und Benzinparpotentials durchführen.

Der Durchschnittsverbrauch aller in Deutschland zugelassenen Pkw beträgt nach [13] annähernd 8 l/100 km. Bezogen auf diesen Durchschnittswert ergibt sich mit der in dieser Untersuchung ermittelten maximalen Minderung des Rollwiderstandsverlustes von 24 % (Hersteller A in der Größe 175/70 R 13 T) unter der Annahme, daß der Rollwiderstand am Gesamtenergiebedarf bei Geschwindigkeiten zwischen 60 km/h und 100 km/h und weitgehender Konstantfahrt mit ca. 40 % angesetzt werden kann, eine Senkung des Benzinverbrauchs von maximal 0,77 l/100 km.

Für Reifen des Herstellers B liegen die Ersparnisse mit maximaler Reduzierung im Beiwert um 18 % bei ca. 0,58 l/100 km. Für die Reifen des Herstellers C ergibt sich für die erzielte Minderung im Rollwiderstand von 5 % eine Reduzierung des Benzinverbrauchs von lediglich 0,16 l/100 km.

Aufgrund der idealen Annahmen sind die Benzinverbrauchsreduzierungen in der Praxis nur mit Schwierigkeiten zu realisieren. Fahrversuche mit einem Fahrzeug der Kompaktklasse ergaben Verbrauchsminderungen bei 20 % geringerem Rollwiderstand von ca. 0,4 l/100 km [8]. In einer früheren Untersuchung zum Einfluß des Rollwiderstandes auf den Benzinverbrauch war eine Einsparung von ca. 2,7 % Kraftstoff bei einer 20 %igen Rollwiderstandsreduzierung angegeben worden [9].

Wie damals so gilt auch heute noch uneingeschränkt die Aussage, daß eine Kraftstoffeinsparung umso größer ausfällt, je geringer Luft-, Beschleunigungs- und Steigungswiderstand sind. Eine nennenswerte Reduzierung im Kraftstoffverbrauch wirkt sich daher vornehmlich bei schweren Nutzfahrzeugen und bei Pkw, die langsam fahren, aus.

## 7 Zusammenfassung

In einer Versuchsreihe im Prüfstand Fahrzeug/Fahrbahn der BAST wurden die Rollwiderstände von Normalreifen und rollwiderstandsarmen Reifen von drei Herstellern in zwei Reifendimensionen mit jeweils hohem Marktanteilen - 175/70 R 13 T und 195/65 R 15 H bzw. V - untersucht. Die Prüfung ergab eine Reduzierung im Rollwiderstand von minimal 5 % und maximal von 24 % bei Bezug auf den jeweiligen Normalreifen. Gleichzeitig wurden bei den beteiligten Fabrikaten erhebliche Unterschiede in der Minderung deutlich.

Da jedoch der Rollwiderstand lediglich nur eine Komponente der wichtigsten Eigenschaften von Reifen - Verschleißfestigkeit, Nässegriff und Rollgeräusch - ist, sind bei einer herstellerabhängigen Beurteilung auch die Gesamteigenschaften zu berücksichtigen. Dies war jedoch nicht Aufgabe dieser Untersuchung.

Hierzu soll in einer weiteren Prüfstandsuntersuchung durch Messung der Kraftschlußkurven auf unterschiedlich feuchten Oberflächen und des Aquaplaningverhaltens bei geschlossenen Wasserfilmen geprüft werden, ob möglicherweise insbesondere der Nässegriff von rollwiderstandsarmen Reifen in Relation zum Normalreifen noch gewährleistet wird.

Die erzielte Rollwiderstandsreduzierung führt unter günstigen Umständen zu einer Verbrauchsminde- rung um 3-5 %. Der Kraftstoffverbrauch stellt einen wichtigen Teil der Betriebskosten von Kraftfahrzeugen dar. Aus betriebs- und besonders aus volkswirtschaftlicher Sicht - aufgrund des hohen Importanteils von Rohöl - ist es nach wie vor erforderlich, den Verbrauch von Kraftstoffen zu reduzieren. Gleichzeitig führt eine Reduzierung des Verbrauchs aus ökologischer Sicht zu einer Schonung der Umwelt durch Reduzierung der Abgasemissionen.

Angesichts des hohen Fahrzeugbestandes und der hohen Fahrleistungen von Pkw und insbesondere von Lkw in Deutschland läßt sich eine erhebliche Einsparung an Energie und Kraftstoff erreichen.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß der Autofahrer mit der Verwendung von im Rollwiderstand reduzierten Reifen einen - wenn auch geringen - Beitrag zur Senkung des Kraftstoffverbrauchs leisten kann. Zusammen mit anderen Maßnahmen zur Verbrauchssenkung heutiger Fahrzeuge kann eine mögliche weitergehende Reduzierung der Abgasemissionen erreicht und damit langfristig zum Abbau des Konfliktes zwischen Mobilität und Umweltschutz beigetragen werden.

## Literatur

- [1] Bundesverkehrswegeplan, Bonn 1993
- [2] SANDER, K.: "Entwicklung und Erprobung von Verfahren zu Rollwiderstandsmessungen von Pkw-Reifen", Schlußbericht zu Projekt 91611 der BAST, Mai 1994
- [3] ULLRICH, S., GLAESER, K.-P. und SANDER, K.: "Der Einfluß der Textur auf Reifen/Fahrbahngeräusch und Rollwiderstand", Schlußbericht zu Projekt 90618/V6 u. 93530/F3, Juni 1995
- [4] BUSCHMANN, H. und KOEßLER, P.: "Handbuch für den Kraftfahrzeugingenieur", Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart 1973
- [5] KREHAN, P. und KÖRPER, W. : "Messung des Rollwiderstandes auf der Straße", ATZ 93 (1991), S. 626-631
- [6] BERNHARDT, W.: "Weiterentwicklung bei Otto- und Dieselmotoren, Motoren-Getriebe-Management", in Appel, H. (Hrsg): "Stadttauto - Mobilität, Ökologie, Ökonomie, Sicherheit", Fortschritte der Fahrzeugtechnik, Band 13, S. 167 ff, Vieweg-Verlag, Braunschweig/Wiesbaden 1995
- [7] LAMOUR, J.P. und DERENBACH, T.: "Reifen der neuen Generation mit geringem Rollwiderstand", 13. VDI-VW-Gemeinschaftstagung, 11/93, Vortragsmanuskript
- [8] SCHULZE, TH.: "Der Rollwiderstand von Reifen und seine Auswirkung auf den Kraftstoffverbrauch von Pkw's", VDI-Berichte Nr. 1099, 1993, S. 177 ff
- [9] RISSE, H.-J.: "Rollwiderstand und Kraftstoffverbrauch", ATZ 88 (1986), S. 383-388
- [10] SCHURING, D.J.: "The rolling loss of pneumatic tires", Rubber chemistry and technology, Vol. 53, p. 600-727
- [11] DIN ISO 8767, Norm-Entwurf v. 23.11.92
- [12] Handbuch zu RT-Edas, Version 2.6, Ingenieurbüro Meier & Heinen, Erfstadt, 1993
- [13] N.N.: "Das Auto -International- in Zahlen", August 1993, Hrsg.: VDA, Frankfurt

## Anhang

	Seite
1 Technische Daten der Prüfreifen.....	32
2 Einzelergebnisse und Mittelwerte Rollwiderstand $R_{25}$ in N und Beiwert $c_{R25}$ in % - Hersteller A, Reifen A10-A13 .....	33
3 Rollwiderstandsbeiwerte als Mittelwert von zwei Versuchsläufen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit - Hersteller A .....	34
4 Einzelergebnisse und Mittelwerte Rollwiderstand $R_{25}$ in N und Beiwert $c_{R25}$ in % - Hersteller B, Reifen A14-A17 .....	35
5 Rollwiderstandsbeiwerte als Mittelwert von zwei Versuchsläufen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit - Hersteller B .....	36
6 Einzelergebnisse und Mittelwerte Rollwiderstand $R_{25}$ in N und Beiwert $c_{R25}$ in % - Hersteller C, Reifen A18-A20 .....	37
7 Rollwiderstandsbeiwerte als Mittelwert von zwei Versuchsläufen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit - Hersteller C .....	38
8 Ergebnisblätter der Kontrolle der Eignungs- prüfung des Fahrbahnbelages Asphaltbe- ton 0/11S, Zentrallabor Hochtief v.1.6.90 ....	39

Hersteller	BAST-Nr.*	Größe	LI	SSY	DOT-Nr.	Profil/mm	Shore-Härte
A	A10a	175/70 R 13	82	T	504	7,1	66
	A10b				504	7,1	66
	A10c				504	7,1	66
	A11a	175/70 R 13	82	T	045	7,2	69
	A11b				035	7,2	69
	A11c				035	7,2	69
	A12a	195/65 R 15	91	V	344	8	61
	A12b				344	8	61
	A12c				344	8	61
	A13a	195/65 R 15	91	V	514	8,1	66
	A13b				514	8,2	66
	A13c				514	8,2	66
B	A14a	175/70 R 13	82	T	055	7,3	64
	A14b				055	7,4	64
	A14c				055	7,4	64
	A15a	175/70 R 13	82	T	204	8,0	61
	A15b				383	7,8	64
	A15c				383	7,8	66
	A16a	195/65 R 15	91	H	164	7,8	65
	A16b				164	7,8	65
	A16c				154	7,8	65
	A17a	195/65 R 15	91	H	334	8,4	66
	A17b				324	8,3	67
	A17c				314	8,3	66
C	A18a	175/70 R 13	82	T	484	7,3	64
	A18b				514	7,4	66
	A18c				454	7,4	66
	A19a	175/70 R 13	82	T	125	7,1	64
	A19b				125	7,0	64
	A19c				125	7,1	64
	A20a	195/65 R 15	91	H	125	7,8	71
	A20b				125	7,7	71
	A20c				125	7,8	71

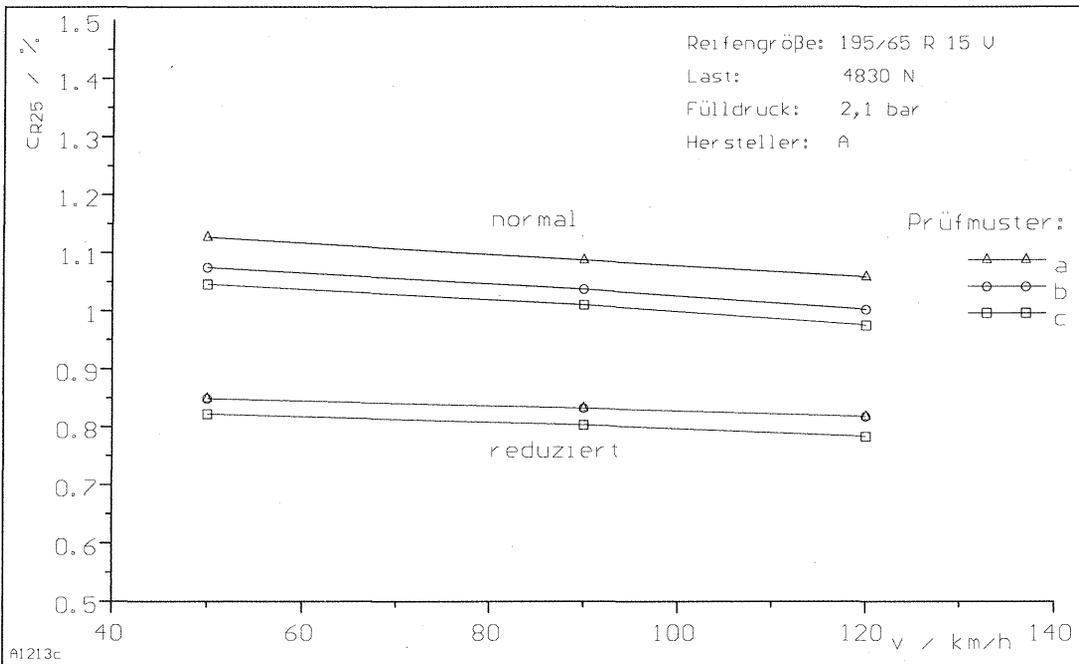
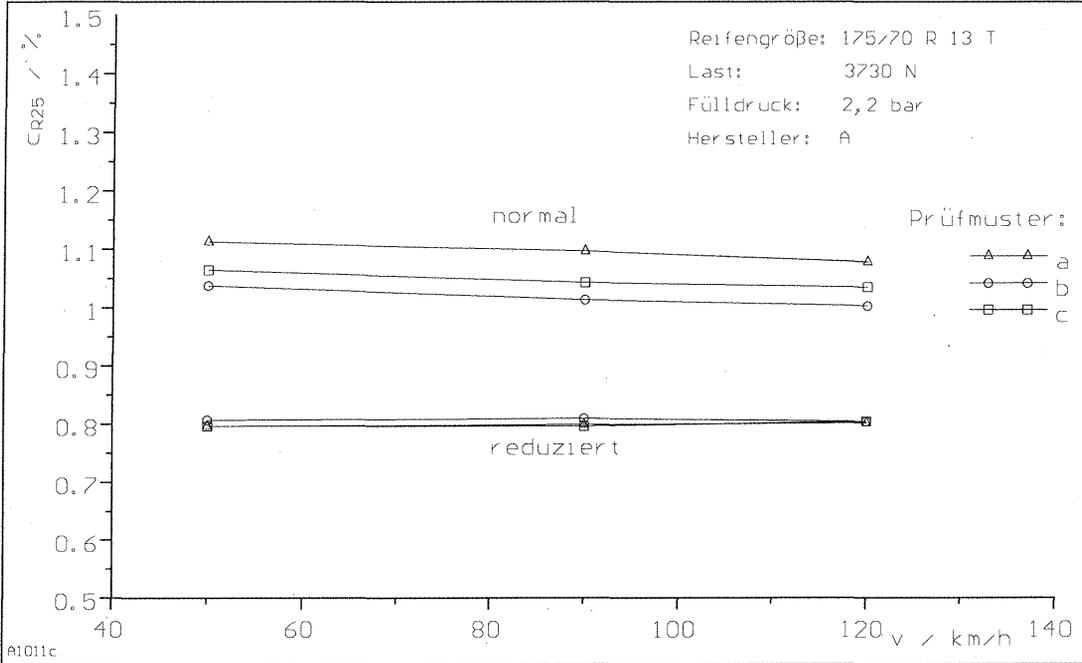
\*) geradzahlige Bezeichnung = rollwiderstandsarme Ausführung - Ausnahme: A20x = Normalausführung  
LI = Load-Index (Tragfähigkeit)  
SSY=Speed-Symbol (Geschwindigkeitsklasse)

Technische Daten der Prüfreifen

		50 km/h	90 km/h	120 km/h	R <sub>25</sub> -Mw	C <sub>R25</sub> -Mw	
A10 175/70 R 13 T 3730 N 2,2 bar	a-I	29,8	30,0	30,2	29,8	0,799	
	a-II	29,6	29,7	29,5			
	Mw-a	29,7	29,9	29,9			
	Mw	29,8	29,9	29,9			
A11 175/70 R 13 T 3730 N 2,2 bar	b-I	30,3	30,5	30,3	30,0	0,804	
	b-II	29,6	29,6	29,7			
	Mw-b	30,0	30,1	30,0			
	Mw	30,0	30,1	30,0			
A12 195/65 R 15 V 4830 N 2,1 bar	c-I	30,1	30,0	29,7	29,8	0,799	
	c-II	29,3	29,3	30,2			
	Mw-c	29,7	29,7	30,0			
	Mw	29,7	29,7	30,0			
A13 195/65 R 15 V 4830 N 2,1 bar	Mw	29,8	29,9	29,9	29,9		
	C <sub>R25</sub>	0,799	0,802	0,802		0,801	-24 %
	a-I	41,8	40,7	40,3	41,0	1,1	
	a-II	42,2	41,1	40,1			
Mw-a	42,0	40,9	40,2				
Mw	40,1	39,2	38,7				
A11 175/70 R 13 T 3730 N 2,2 bar	b-I	38,8	38,2	37,7	38,0	1,019	
	b-II	38,5	37,4	37,1			
	Mw-b	38,7	37,8	37,4			
	Mw	38,7	37,8	37,4			
A12 195/65 R 15 V 4830 N 2,1 bar	c-I	39,7	38,9	38,9	39,1	1,048	
	c-II	39,6	38,8	38,3			
	Mw-c	39,7	38,9	38,6			
	Mw	39,7	38,9	38,6			
A13 195/65 R 15 V 4830 N 2,1 bar	Mw	40,1	39,2	38,7	39,4	1,055	100 %
	C <sub>R25</sub>	1,075	1,051	1,038			
	a-I	41,8	41,3	40,0	40,6	0,841	
	a-II	40,7	40,3	39,2			
Mw-a	41,3	40,8	39,6				
Mw	40,6	39,9	39,0				
A12 195/65 R 15 V 4830 N 2,1 bar	b-I	41,4	40,8	40,1	40,2	0,832	
	b-II	40,6	39,6	38,8			
	Mw-b	41,0	40,2	39,5			
	Mw	41,0	40,2	39,5			
A13 195/65 R 15 V 4830 N 2,1 bar	c-I	40,0	39,2	38,3	38,8	0,803	
	c-II	39,3	38,4	37,3			
	Mw-c	39,7	38,8	37,8			
	Mw	39,7	38,8	37,8			
A11 175/70 R 13 T 3730 N 2,2 bar	Mw	40,6	39,9	39,0	39,9	0,825	-21 %
	C <sub>R25</sub>	0,841	0,826	0,807			
	a-I	55,0	53,2	51,7	52,7	1,091	
	a-II	53,7	51,7	50,5			
Mw-a	54,4	52,5	51,1				
Mw	54,4	52,5	51,1				
A13 195/65 R 15 V 4830 N 2,1 bar	b-I	52,1	50,8	48,8	50,1	1,037	
	b-II	51,7	49,5	47,9			
	Mw-b	51,9	50,1	48,4			
	Mw	51,9	50,1	48,4			
A11 175/70 R 13 T 3730 N 2,2 bar	c-I	50,6	48,9	47,3	48,8	1,01	
	c-II	50,4	48,7	46,8			
	Mw-c	50,5	48,8	47,1			
	Mw	50,5	48,8	47,1			
A13 195/65 R 15 V 4830 N 2,1 bar	Mw	52,2	50,5	48,8	50,5	1,046	100 %
	C <sub>R25</sub>	1,081	1,046	1,011			

#### Einzelergebnisse und Mittelwerte

Rollwiderstand R<sub>25</sub> in N und Beiwert C<sub>R25</sub> in % - Hersteller A, Reifen A10-A13

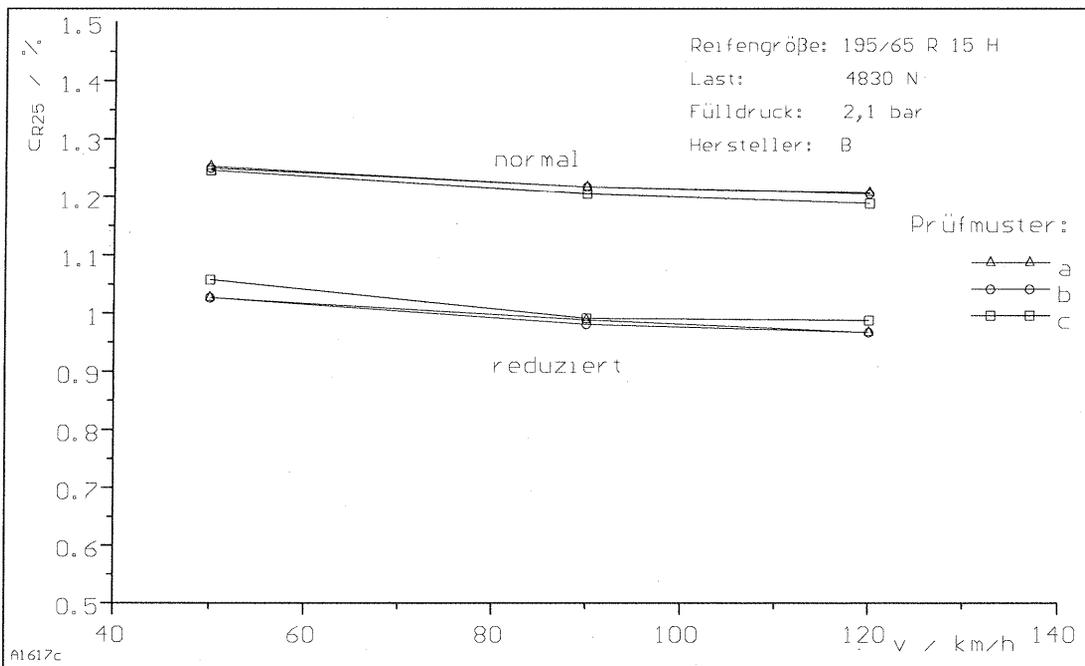
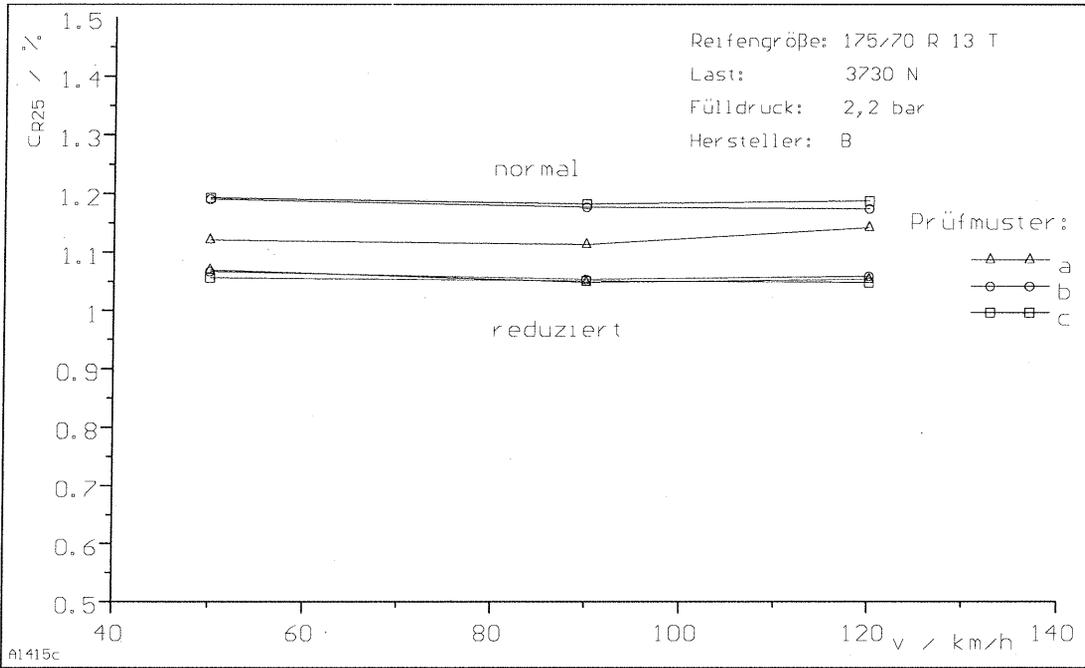


Rollwiderstandsbeiwerte als Mittelwert von zwei Versuchsläufen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit - Hersteller A

		50 km/h	90 km/h	120 km/h	R <sub>25</sub> -Mw	C <sub>R25</sub> -Mw	
A14 175/70 R 13 T 3730 N 2,2 bar	a-I	40,2	39,8	40,0	39,4	1,056	
	a-II	39,6	38,4	38,6			
	Mw-a	39,9	39,1	39,3			
	b-I	40,2	39,7	40,1	39,5	1,059	
b-II	39,3	38,8	38,9				
Mw-b	39,8	39,3	39,5				
c-I	39,4	39,5	39,7	39,2	1,051		
c-II	39,3	38,8	38,5				
Mw-c	39,4	39,2	39,1				
Mw	39,7	39,2	39,3	39,4	1,057	-9,4 %	
C <sub>R25</sub>	1,067	1,051	1,054				
A15 175/70 R 13 T 3730 N 2,2 bar	a-I	42,6	42,1	42,9	42,2	1,131	
	a-II	41,0	42,0	42,2			
	Mw-a	41,8	42,1	42,6			
	b-I	44,7	44,1	44,4	44,0	1,18	
b-II	43,9	43,6	43,2				
Mw-b	44,4	43,9	43,8				
c-I / N	44,6	44,5	44,3	44,3	1,188		
c-II / N	44,3	43,7	44,3				
Mw-c / N	44,5	44,1	44,3				
Mw	43,5	43,3	43,6	43,5	1,165	100 %	
C <sub>R25</sub>	1,166	1,161	1,169				
A16 195/65 R 15 H 4830 N 2,1 bar	a-I	49,9	48,1	47,4	48,0	0,994	
	a-II	49,2	47,4	45,9			
	Mw-a	49,6	47,8	46,7			
	b-I	50,0	47,8	46,8	47,9	0,992	
b-II	49,2	47,0	46,5				
Mw-b	49,6	47,4	46,7				
c-I	51,4	49,1	48,0	49,1	1,016		
c-II	50,7	48,1	47,3				
Mw-c	51,1	48,6	47,7				
Mw	50,1	47,9	47,0	48,3	1,001	-18 %	
C <sub>R25</sub>	1,037	0,992	0,973				
A17 195/65 R 15 H 4830 N 2,1 bar	a-I	60,4	58,9	58,5	59,2	1,226	
	a-II	60,6	58,6	58,0			
	Mw-a	60,5	58,8	58,3			
	b-I	59,9	59,0	58,4	59,1	1,224	
b-II	60,9	58,5	58,0				
Mw-b	60,4	58,8	58,2				
c-I	59,6	57,9	57,1	58,6	1,213		
c-II	60,7	58,4	57,6				
Mw-c	60,2	58,2	57,4				
Mw	60,4	58,6	57,9	59,0	1,221	100 %	
C <sub>R25</sub>	1,251	1,213	1,198				

**Einzelergebnisse und Mittelwerte**

 Rollwiderstand R<sub>25</sub> in N und Beiwert C<sub>R25</sub> in % - Hersteller B, Reifen A14-A17

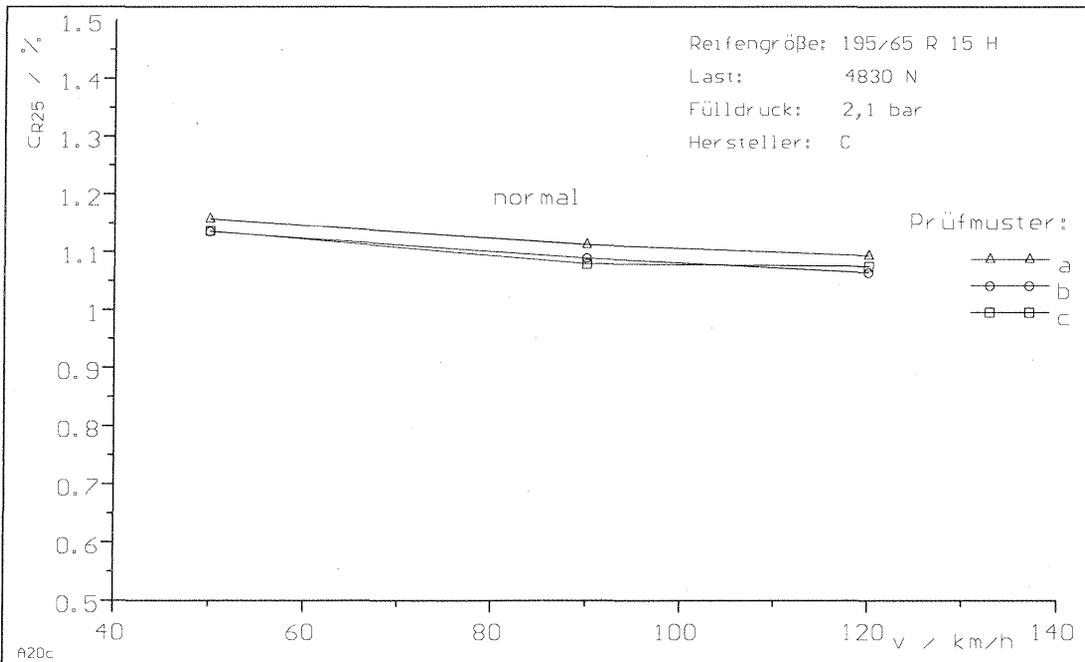
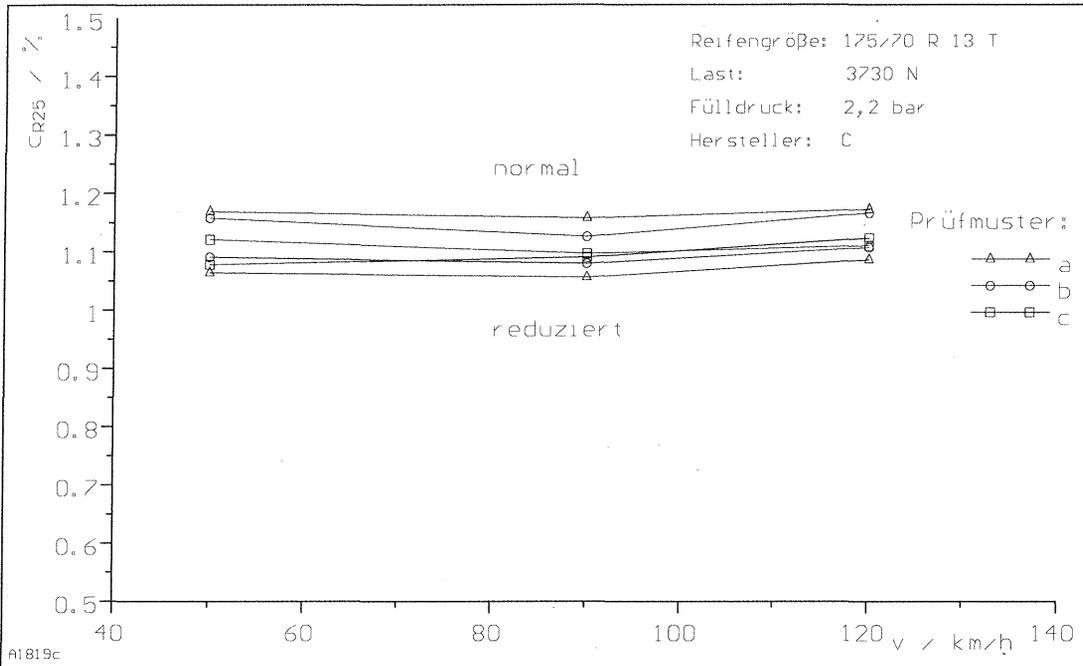


Rollwiderstandbeiwerte als Mittelwert von zwei Versuchsläufen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit - Hersteller B

		50 km/h	90 km/h	120 km/h	R <sub>25</sub> -Mw	C <sub>R25</sub> -Mw	
A18 175/70 R 13 T 3730 N 2,2 bar	a-I	39,7	39,1	40,6	39,9	1,07	
	a-II	39,6	39,6	40,3			
	Mw-a	39,7	39,4	40,5			
	b-I	40,9	40,3	41,3	40,8	1,094	
	b-II	40,5	40,2	41,2			
	Mw-b	40,7	40,3	41,3			
	c-I	40,3	40,5	42,1	40,9	1,097	
	c-II	40,1	40,8	41,6			
	Mw-c	40,2	40,7	41,9			
	Mw	40,2	40,1	41,2	40,5	1,086	-4,9 %
	C <sub>R25</sub>	1,078	1,076	1,105			
	A19 175/70 R 13 T 3730 N 2,2 bar	a-I	43,8	43,1	43,4	43,5	1,166
a-II		43,4	43,2	43,9			
Mw-a		43,6	43,2	43,7			
b-I		43,2	42,2	43,4	42,9	1,150	
b-II		43,2	41,8	43,5			
Mw-b		43,2	42,0	43,5			
c-I		41,9	41,2	41,5	41,4	1,109	
c-II		41,6	40,6	41,3			
Mw-c		41,8	40,9	41,4			
Mw		42,9	42,0	42,9	42,6	1,142	100 %
C <sub>R25</sub>		1,150	1,126	1,150			
A20 195/65 R 15 H 4830 N 2,1 bar		a-I	56,0	54,2	53,4	54,1	1,120
	a-II	55,7	53,1	52,1			
	Mw-a	55,9	53,7	52,8			
	b-I	55,1	52,6	51,9	52,9	1,096	
	b-II	54,5	52,5	50,8			
	Mw-b	54,8	52,6	51,4			
	c-I	55,0	52,2	51,9	52,9	1,096	
	c-II	54,6	51,9	51,8			
	Mw-c	54,8	52,1	51,9			
	Mw	55,2	52,8	52,0	53,3	1,104	
	C <sub>R25</sub>	1,142	1,093	1,077			

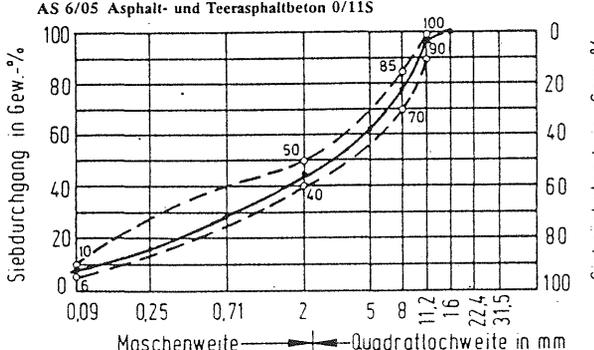
#### Einzelergebnisse und Mittelwerte

Rollwiderstand R<sub>25</sub> in N und Beiwert C<sub>R25</sub> in % - Hersteller C, Reifen A18-A20



Rollwiderstandbeiwerte als Mittelwert von zwei Versuchsläufen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit - Hersteller C



	<h2 style="margin: 0;">Zentrallaboratorium</h2> <h3 style="margin: 0;">Vorschläge für Mischungen</h3>	Baustelle: BAST Auftr.-Nr. 90/2025/V8																																																																																																																																		
<p><b>Eignungsprüfung Nr.:</b> Kontrolle der Eignungsprüfung Asphaltbeton 0/11 S anhand von Absiebungen der zur Verwendung kommenden Mineralstoffe</p>																																																																																																																																				
<p><b>Mineralabsiebung</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Mineralart</th> <th>Basalt edel-splitt</th> <th>Basalt edel-splitt</th> <th>Basalt edel-splitt</th> <th>Diabas edel-splitt</th> <th>Natur sand</th> <th>Kalkst.mehl</th> <th></th> <th>Lieferwerk:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Handelskörnung</td> <td>8/11</td> <td>5/8</td> <td>2/5</td> <td>0/2</td> <td>0/2</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>über 32 mm</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>22,4 - 32 mm</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>16 - 22,4 mm</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>11,2 - 16 mm</td> <td>7,0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>8 - 11,2 mm</td> <td>82,2</td> <td>6,4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5 - 8 mm</td> <td>10,0</td> <td>74,3</td> <td>0,4</td> <td></td> <td>1,2</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 - 5 mm</td> <td>0,8</td> <td>17,6</td> <td>94,4</td> <td>7,0</td> <td>9,6</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0,71 - 2 mm</td> <td></td> <td>0,6</td> <td>4,2</td> <td>44,5</td> <td>26,5</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0,25 - 0,71 mm</td> <td></td> <td>1,1</td> <td>0,3</td> <td>34,3</td> <td>55,5</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0,09 - 0,25 mm</td> <td></td> <td></td> <td>0,3</td> <td>12,4</td> <td>7,0</td> <td>10,3</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0 - 0,09 mm</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1,8</td> <td>0,2</td> <td>89,7</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Kontrolle Sa</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Mineralart	Basalt edel-splitt	Basalt edel-splitt	Basalt edel-splitt	Diabas edel-splitt	Natur sand	Kalkst.mehl		Lieferwerk:	Handelskörnung	8/11	5/8	2/5	0/2	0/2				über 32 mm									22,4 - 32 mm									16 - 22,4 mm									11,2 - 16 mm	7,0								8 - 11,2 mm	82,2	6,4							5 - 8 mm	10,0	74,3	0,4		1,2				2 - 5 mm	0,8	17,6	94,4	7,0	9,6				0,71 - 2 mm		0,6	4,2	44,5	26,5				0,25 - 0,71 mm		1,1	0,3	34,3	55,5				0,09 - 0,25 mm			0,3	12,4	7,0	10,3			0 - 0,09 mm				1,8	0,2	89,7			Kontrolle Sa	100	100	100	100	100	100	100					
Mineralart	Basalt edel-splitt	Basalt edel-splitt	Basalt edel-splitt	Diabas edel-splitt	Natur sand	Kalkst.mehl		Lieferwerk:																																																																																																																												
Handelskörnung	8/11	5/8	2/5	0/2	0/2																																																																																																																															
über 32 mm																																																																																																																																				
22,4 - 32 mm																																																																																																																																				
16 - 22,4 mm																																																																																																																																				
11,2 - 16 mm	7,0																																																																																																																																			
8 - 11,2 mm	82,2	6,4																																																																																																																																		
5 - 8 mm	10,0	74,3	0,4		1,2																																																																																																																															
2 - 5 mm	0,8	17,6	94,4	7,0	9,6																																																																																																																															
0,71 - 2 mm		0,6	4,2	44,5	26,5																																																																																																																															
0,25 - 0,71 mm		1,1	0,3	34,3	55,5																																																																																																																															
0,09 - 0,25 mm			0,3	12,4	7,0	10,3																																																																																																																														
0 - 0,09 mm				1,8	0,2	89,7																																																																																																																														
Kontrolle Sa	100	100	100	100	100	100	100																																																																																																																													
<p><b>Sieblinienrechnung</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Handelskörnung</th> <th>8/11</th> <th>5/8</th> <th>2/5</th> <th>0/2</th> <th>0/2</th> <th>Kalkst.mehl</th> <th></th> <th>Siebanalyse d.err.Rezeptur</th> <th>Sieb-durchg.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>über 32 mm</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>22,4 32 mm</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>16 - 22,4 mm</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>11,2 - 16 mm</td> <td>1,7</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1,7</td> <td>100,0</td> </tr> <tr> <td>8 - 11,2 mm</td> <td>19,7</td> <td>1,2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>20,9</td> <td>98,3</td> </tr> <tr> <td>5 - 8 mm</td> <td>2,4</td> <td>14,2</td> <td></td> <td></td> <td>0,1</td> <td></td> <td></td> <td>16,7</td> <td>77,4</td> </tr> <tr> <td>2 - 5 mm</td> <td>0,2</td> <td>3,3</td> <td>9,4</td> <td>2,0</td> <td>1,0</td> <td></td> <td></td> <td>15,9</td> <td>60,7</td> </tr> <tr> <td>0,71 - 2 mm</td> <td></td> <td>0,1</td> <td>0,4</td> <td>12,5</td> <td>2,7</td> <td></td> <td></td> <td>15,7</td> <td>44,8</td> </tr> <tr> <td>0,25 - 0,71 mm</td> <td></td> <td>0,2</td> <td>0,1</td> <td>9,6</td> <td>5,5</td> <td></td> <td></td> <td>15,4</td> <td>29,1</td> </tr> <tr> <td>0,09 - 0,25 mm</td> <td></td> <td></td> <td>0,1</td> <td>3,4</td> <td>0,7</td> <td>0,9</td> <td></td> <td>5,1</td> <td>13,7</td> </tr> <tr> <td>0 - 0,09 mm</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,5</td> <td>-</td> <td>8,1</td> <td></td> <td>8,6</td> <td>8,6</td> </tr> <tr> <td>Kontrolle Sa</td> <td>24,0</td> <td>19,0</td> <td>10,0</td> <td>28,0</td> <td>10,0</td> <td>9,0</td> <td></td> <td>100</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Handelskörnung	8/11	5/8	2/5	0/2	0/2	Kalkst.mehl		Siebanalyse d.err.Rezeptur	Sieb-durchg.	über 32 mm										22,4 32 mm										16 - 22,4 mm										11,2 - 16 mm	1,7							1,7	100,0	8 - 11,2 mm	19,7	1,2						20,9	98,3	5 - 8 mm	2,4	14,2			0,1			16,7	77,4	2 - 5 mm	0,2	3,3	9,4	2,0	1,0			15,9	60,7	0,71 - 2 mm		0,1	0,4	12,5	2,7			15,7	44,8	0,25 - 0,71 mm		0,2	0,1	9,6	5,5			15,4	29,1	0,09 - 0,25 mm			0,1	3,4	0,7	0,9		5,1	13,7	0 - 0,09 mm				0,5	-	8,1		8,6	8,6	Kontrolle Sa	24,0	19,0	10,0	28,0	10,0	9,0		100	
Handelskörnung	8/11	5/8	2/5	0/2	0/2	Kalkst.mehl		Siebanalyse d.err.Rezeptur	Sieb-durchg.																																																																																																																											
über 32 mm																																																																																																																																				
22,4 32 mm																																																																																																																																				
16 - 22,4 mm																																																																																																																																				
11,2 - 16 mm	1,7							1,7	100,0																																																																																																																											
8 - 11,2 mm	19,7	1,2						20,9	98,3																																																																																																																											
5 - 8 mm	2,4	14,2			0,1			16,7	77,4																																																																																																																											
2 - 5 mm	0,2	3,3	9,4	2,0	1,0			15,9	60,7																																																																																																																											
0,71 - 2 mm		0,1	0,4	12,5	2,7			15,7	44,8																																																																																																																											
0,25 - 0,71 mm		0,2	0,1	9,6	5,5			15,4	29,1																																																																																																																											
0,09 - 0,25 mm			0,1	3,4	0,7	0,9		5,1	13,7																																																																																																																											
0 - 0,09 mm				0,5	-	8,1		8,6	8,6																																																																																																																											
Kontrolle Sa	24,0	19,0	10,0	28,0	10,0	9,0		100																																																																																																																												
<p><b>AS 6/05 Asphalt- und Teer-asphaltbeton 0/11S</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  </div> <div style="width: 50%;"> <p><b>Beurteilung:</b></p> <p>Die Kornzusammensetzung des Asphaltbeton 0/11 S entspricht den Anforderungen der ZTV bit-StB 84 und der Eignungsprüfung vom 15.1.88.</p> </div> </div>																																																																																																																																				
Essen, den	1.6.1990	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p><b>HOCHTIEF</b></p> <p>AKTIENGESELLSCHAFT FÜR HOCH- UND TIEFBAUTEN</p> <p>VORM. GEBR. HELFMANN</p> <p>Zentrallabor</p> </div> <div style="text-align: right;">  </div> </div>																																																																																																																																		

Schriftenreihe

## Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

**F 1: Einfluß der Korrosion auf die passive Sicherheit von Pkw**

von E. Faerber und G.-D. Wobben  
88 Seiten, 1993 DM 23,50

**F 2: Kriterien für die Prüfung von Motorradhelmen**

von W. König, H. Werner, E. Schuller, G. Beier und W. Spann  
80 Seiten, 1993 DM 25,50

**F 3: Sicherheit von Motorradhelmen**

von H. Zellmer  
52 Seiten, 1993 DM 21,00

**F 4: Weiterentwicklung der Abgassonderuntersuchung**

Teil 1: Vergleich der Ergebnisse aus Abgasuntersuchung und Typprüfverfahren  
von A. Richter und G. Michelmann  
Teil 2: Praxiserprobung des vorgesehenen Prüfverfahrens für Fahrzeuge mit Katalysator  
von Chr. Albus  
80 Seiten, 1993 DM 26,00

**F 5: Nutzen durch fahrzeugseitigen Fußgängerschutz**

von R. Bamberg und H. Zellmer  
56 Seiten, 1994 DM 21,00

**F 6: Sicherheit von Fahrradanhängern zum Personentransport**

von D. Wobben und H. Zahn  
64 Seiten, 1994 DM 24,00

**F 7: Kontrastwahrnehmung bei unterschiedlicher Lichttransmission von Pkw-Scheiben**

Teil 1: Kontrastwahrnehmung im nächtlichen Straßenverkehr bei Fahrern mit verminderter Tagesschärfe  
von P. Junge  
Teil 2: Kontrastwahrnehmung in der Dämmerung bei Fahrern mit verminderter Tagesschärfe  
von M. Chmielarz und B. Siegl  
Teil 3: Wirkung abgedunkelter Heckscheiben – Vergleichsstudie –  
von H. Derkum  
88 Seiten, 1994 DM 27,00

**F 8: Anforderungen an den Kinnschutz von Integralhelmen**

von D. Otte, G. Schroeder, J. Eidam und B. Kraemer  
32 Seiten, 1994 DM 20,00

**F 9: Kraftschlußpotentiale moderner Motorradreifen unter Straßenbedingungen**

von M. Schmieder, D. Bley, M. Spickermann und V. von Zettelmann  
40 Seiten, 1994 DM 21,00

**F 10: Einsatz der Gasentladungslampe in Kfz-Scheinwerfern**

von J. Damasky  
52 Seiten, 1995 DM 24,00

**F 11: Informationsdarstellung im Fahrzeug mit Hilfe eines Head-Up-Displays**

von H. Mutschler  
124 Seiten, 1995 DM 32,00

**F 12: Gefährdung durch Frontschutzbügel an Geländefahrzeugen**

Teil 1: Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern  
von H. Zellmer und M. Schmid  
Teil 2: Quantifizierung der Gefährdung von Fußgängern  
von H. Zellmer  
44 Seiten, 1995 DM 23,00

**F 13: Untersuchung rollwiderstandsarmer Pkw-Reifen**

von K. Sander  
40 Seiten, 1995 DM 22,50

---

Zu beziehen durch:

Wirtschaftsverlag NW

Verlag für neue Wissenschaft GmbH

Postfach 10 11 10

D-27511 Bremerhaven

Telefon (04 71) 4 60 93-95, Telefax (04 71) 4 27 65