

Reifenalterung · statische und dynamische Stahlcord-Gummi-Haftung · strukturelle Haltbarkeit

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Auswirkungen der Reifenalterung näher zu beschreiben und einen Zusammenhang zur Stahlcord-Gummi-Haftung unter Anwendung einfacher Prüfmethoden herzustellen.

Dazu wurden 10 Michelin-Reifen, die 10 Jahre definiert gealtert und anschließend im Schnelllaufversuch geprüft wurden, im Labor bezüglich statischer und dynamischer Stahlcord-Gummi-Haftung untersucht.

Es zeigte sich, dass die erhaltenen Ergebnisse der Haftung eine Korrelation zu den Prüfergebnissen des Reifenversuchs zeigen. Weiterhin zeigte sich, dass die gemessenen Haftungswerte in eine seit Jahren in Entwicklung befindliche Datenbasis passen und deren statistische Aussagesicherheit durch die zusätzlichen Versuchsergebnisse verbessert wird.

Die vorgestellten Prüfverfahren und Ergebnisse erlauben eine Beurteilung des Alterungszustandes der für die strukturelle Haltbarkeit eines Reifens so wichtigen Stahlcord-Gummi-Haftung.

Study of the Ageing of Passenger Car Tyres

Tyre ageing · static and dynamic steel cord rubber adhesion · structural durability

The aim of this project is to describe the effects of tyre ageing in more detail and to establish a connection between steel cord and rubber adhesion using simple testing methods.

For this purpose we used 10 Michelin tyres which had been aged in a particular way and then subjected to high speed tests. The static and dynamic steel cord rubber adhesion of these tyres was then examined in a laboratory. It was found that the results obtained for the adhesion correlated to the tyre test results. Furthermore we found out that the measured adhesion values fitted into a data base which we have been working on for several years. The statistic reliability could be improved by these additional test results.

The testing methods and results described here enable us to assess the ageing of steel cord rubber adhesion which is so important for the structural durability of a tyre.

Untersuchungen zur Alterung von Pkw-Gürtelreifen

G. Willmerding, Ulm und N. Seitz, München

Die Mehrzahl der Untersuchungen zur Reifenalterung [1–5] verwendet gebrauchte Reifen, deren Einsatzbedingungen nicht oder nur sehr begrenzt bekannt waren, so dass das Ergebnis nicht nur von den Alterungsprozessen im Reifen selbst sondern auch von der Art und Weise ihrer Benutzung abhängt. Die Arbeiten – u. a. auch an nicht gefahrenen Reserve-rädern – zeigen dennoch zweifelsfrei, dass eine Reifenalterung auftritt und mit zunehmender Zeit die Schnelllaufbeständigkeit abnimmt. Dieser Erkenntnis tragen auch die Wdk-Leitlinien Rechnung, indem die Nutzungszeit der Reifen limitiert wird.

Um die Einflüsse unbekannter Alterungsbedingungen zu eliminieren, wurden in einer vorangehenden Untersuchung des Autors [8] 10 identische Neu-reifen der Firma Michelin beschafft und unter festgelegten, unterschiedlichen Bedingungen (Fahrversuch, stehender Reifen unter statischer Last, unbelasteter Reifen mit/ohne Überdruck) über 10 Jahre gealtert. Damit sollten unbekannte Einflussgrößen weitest möglich ausgeschaltet werden. Eine systematische Kombination verschiedener Alterungseinflüsse wie Fahrversuch, Lagerung mit oder ohne Überdruck, Lagerung mit Umgebungseinflüssen (Sauerstoff, Sonne, Regen), Lagerung optimal im Dunkeln erfolgte, um den Einfluss einzelner Alterungsparameter zu erkennen.

Die Schnelllaufergebnisse dieser 11 Jahre gealterten Reifen wiesen nahezu alle ein Niveau oberhalb der für den Reifen zulässigen Fahrgeschwindigkeit auf. Um einen Zusammenhang der Reifenalterung zu den Materialeigenschaften herzustellen, wurde in dieser Arbeit die Stahlcord-Gummi-Haftung der gealterten Reifen geprüft. Dabei zeigt sich,

dass ein Zusammenhang der Haftungswerte zu den Ergebnissen der Schnelllaufprüfung besteht.

Die hier geprüften Reifen weisen nach 11 Jahren noch ein vergleichsweise gutes Eigenschaftsniveau auf, das zur Beurteilung der Alterungseigenschaften von Luftreifen herangezogen werden kann.

In der vorangehenden Untersuchung [8] wurden die Defektstücke des Reifens nur optisch untersucht, was lediglich Hinweise auf den Defektverlauf und Hinweise auf Unregelmäßigkeiten im Aufbau geben kann.

Der entscheidende Einfluss auf die Alterungsvorgänge, die Veränderung der Stahlcord-Gummi-Haftung wurde in dieser Arbeit untersucht. Dabei wurden Prüfmethoden eingesetzt, die bereits seit Jahren angewendet werden und für die bereits umfangreiche Ergebnisse aus vielen Reifenuntersuchungen vorliegen.

Alterungs- und Einsatzbedingungen der Gürtelreifen

Es wurden für den Versuch im Jahre 1988 zehn neue Reifen Michelin 155 R 13 78 S MX beschafft, die alle in der 30. Woche 1988 hergestellt wurden. Die Alterungsversuche wurden mit 4 Reifen im selben Jahr mit einem ca. 6 monatigen Fahrversuch begonnen. Die restlichen 6 Reifen wurden optimal (dunkel, trocken) ohne Felge gelagert. Nach Abschluss des Fahrversuchs wurden alle 10 Reifen zwischen Anfang 1989 bis Juli 1999 definiert gealtert.

Die Bedingungen der Alterung:

Fahrversuch (Beginn 1988, Ende Anfang 1989):

4 Reifen wurden innerhalb von ca. 6 Monaten ca. 15000 km auf einem frontge-

Tab. 1. Alterungs-, Prüfbedingungen und Ergebnisse der gealterten Reifen Michelin 155 R 13 78 S MX, die 11 Jahre nach Herstellung (30. KW 1988) im Schnellauftest am 17.11.1999 geprüft wurden

Reifen Nr.	Alterungsbedingungen	Druck bei Demontage [bar]	Härte Min [Shore A]	Härte Max [Shore A]	Profiltiefe [%]	Schnellaufergebnis Min km/h
1	Bew.	0,7	75	84	100	5 180
2	Bew.	0,8	74	83	100	16 180
3	FV+Bew	< 0,5	79	85	64	7 180
4	FV+Bew	0,7	74	83	73	8 170
5	FV+oL a Felge	< 0,5	82	82	69	3 190
6	FV+oL a Felge	< 0,5	82	82	64	4 210
7	oL a Felge	< 0,5	77	77	100	4 210
8	oL a Felge	= 0,5	76	76	100	1 210
9	oL o Felge	ohne Felge	76	76	100	7 200
10	oL o Felge	ohne Felge	76	76	100	4 200

(* Bedeutung der Abkürzungen Bew = Bewitterung; FV = Fahrversuch; oL = optimale Lagerung; a Felge = auf Felge montiert; o Felge = ohne Felge gelagert)

triebenen Pkw (VW-Passat) gefahren. Die im Fahrversuch gefahrenen Reifen wurden anschließend in die stationären Alterungsversuche der übrigen Reifen einbezogen.

Bewitterung im Freien (von 1989 bis 1999):

Vier der Reifen wurden auf Felgen mit Überdruck im Freien bewittert und es wurde ihnen eine über der Zeit konstante statische Einfederung aufgezwungen. Der Luftdruck wurde bei Versuchsbeginn auf 2,5 bar eingestellt und während des Versuchs keine Luft nachgefüllt.

Optimale Lagerung der Reifen (von 1989 bis 1999):

6 Reifen wurden trocken und dunkel in einem Schrank in einem ständig genutzten, beheizbaren aber nicht klimatisierten Büro gelagert. (Tab. 1).

Der Luftdruck wurde bei Beginn des Versuchs auf 2,5 bar eingestellt und während der gesamten Laufzeit des Versuchs nicht korrigiert. Der Restluftdruck wurde am Ende des Versuchs gemessen und in der Tab. 1 angegeben. Luftdruckwerte von unterhalb 0,5 bar konnten nicht ge-

messen werden, so dass in der Tabelle dann < 0,5 bar angegeben wurde.

Zum Abschluss erfolgte ein zerstörender Schnellauftest auf einer 2-Meter

Prüftrommel mit 3 Grad Sturz unter sonst üblichen Prüfbedingungen.

Das Prüfprogramm lehnt sich an bestehende Normen an, ist jedoch verschärft, da mit 3 Grad Sturz gefahren wurde. Diese Form wurde gewählt, um Vergleichbarkeit mit den Testergebnissen aus [7] von 1986 zu gewährleisten, bei dem derselbe Reifentyp jedoch die Dimension 165 R 13 79S untersucht wurde. Dessen Ergebnisse sind unter Reifennummer 11 und 12 aufgenommen worden.

Weiterhin wurden auch zwei neue Reifen (Herstelljahr 1999) der Firma Michelin unter identischen Bedingungen geprüft. Da Reifen des Typs Michelin MX und der Geschwindigkeitsklasse S nicht mehr produziert werden, wurde ein Reifen Michelin Classat 155 R 15 T 79 S als Vergleich zum heutigen Stand der Technik verwendet.

Methodik der Materialprüfungen

Versuche haben gezeigt, dass es möglich ist mit Hilfe speziell gestalteter Proben, die aus realen Reifen herauspräpariert werden, sogenannte Lebensdauerkurven zu ermitteln.

Die hier untersuchten Reifen sind durch Separationen zwischen den Gürtellagen ausgefallen. Aus diesem Grund wurden die Proben für die Ermittlung

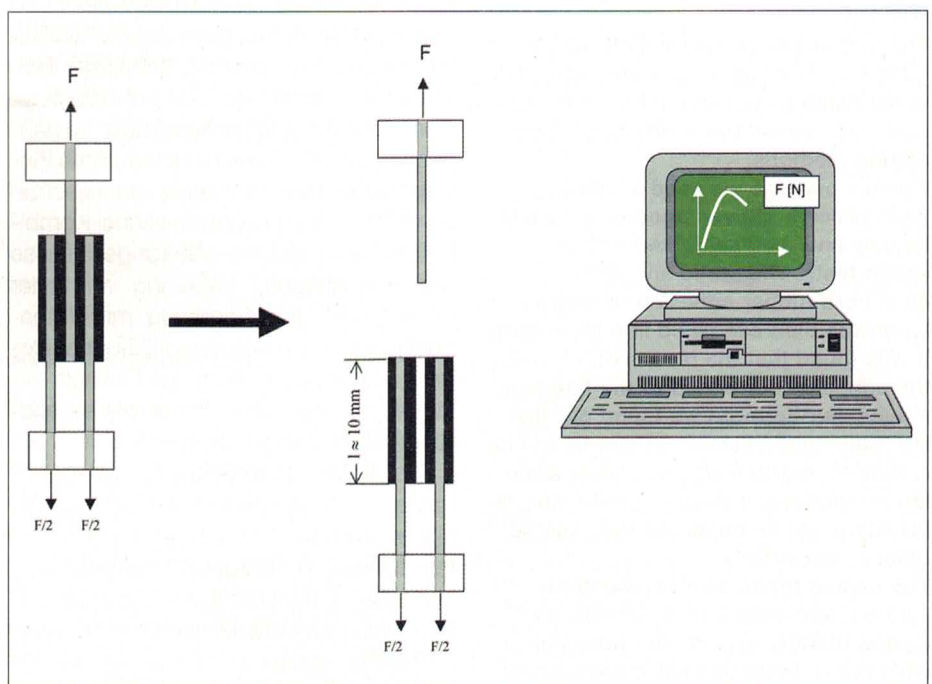


Abb. 1. Prinzipbild des Auszugs-Versuchs

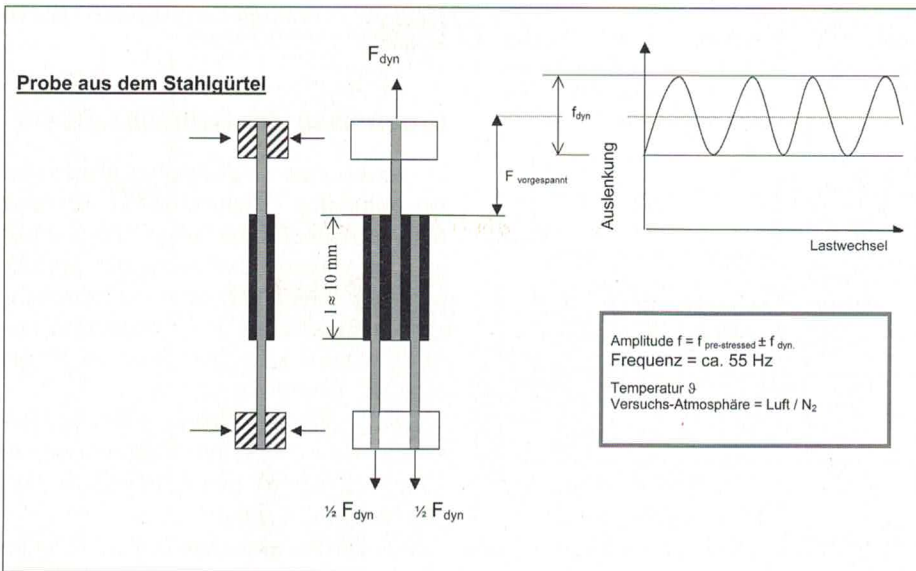


Abb. 2. Prinzipbild des Pulser-Versuchs

der Lebensdauerkurven auch aus dem Gürtelkantenbereich entnommen. Zur Ermittlung von Lebensdauerkurven werden 3 verschiedene Versuche durchgeführt, nämlich: ein sogenannter Auszugsversuch zur Ermittlung der Werkstofffestigkeit des realen (hier gealterten) Reifens,

Ein sogenannter Pulserversuch zur Ermittlung der Lebensdauer einer Probe bei gegebenen Verformungs- und Temperaturbedingungen der dynamisch beanspruchten Probe und Ein sogenannter Verformungsversuch bei dem die Deformation der Gürtelkante in Längs- und in Querrichtung beim Durch-

laufen der Aufstandsfläche ermittelt werden.

Die Proben für die beiden erstgenannten Versuche bestehen aus drei Korden mit der dazwischenliegenden Gummischicht (Abb. 1 und 2) aus einem nicht zerstörten Bereich des Reifens.

Bei der Ermittlung der Gürtelkantenverformung wird ein bauartgleicher unzerstörter Reifen des gleichen Herstellers wie die zu untersuchenden Reifen (hier des Fabrikates Michelin) auf einem Prüfstand aufgespannt und bei verschiedenen Last-/Luftdruckverhältnissen auf einer Ebene oder einem entsprechend geformten Trommelsegment abgerollt. Die in einem kleinen Teilbereich an den Gürtelkanten freigelegten Stahlkorden werden dabei optisch in ihren Bewegungen verfolgt (Abb. 3).

Statische Haftung des Gummi-Cord-Verbundes

Das in Abb. 1 dargestellte Element wird bei diesem Versuch in eine Zugprüfmaschine eingespannt und der mittlere Kord aus der Probe herausgezogen. Die zum Ausziehen des Kordes notwendige Kraft wird registriert. Die Zylindermantelfläche des Gummis, der am ausgezogenen Kord haftet, wird ebenfalls bestimmt und in Relation zur gemessenen Kraft gesetzt. Dieser „Auszugsfestigkeit“ genannte Kennwert gibt Auskunft über die Qualität der Gürtelbelegmischung. Sollte am ausgezogenen Kord kein Gummi mehr haften, ist die Grenzfläche Gummi/Metall die Schwachstelle des Systems. In diesem Fall müsste dann der Grenzflächenbereich näher untersucht werden.

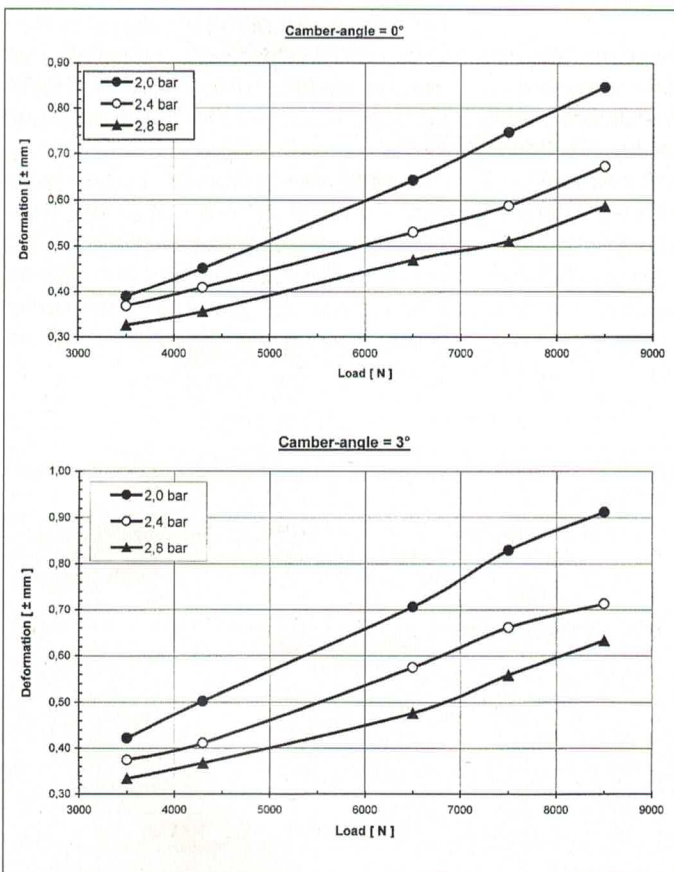


Abb. 3. Verformungen an der Gürtelkante des Reifens in Abhängigkeit von Last und Luftdruck auf der Ebene

Pulser-Versuch

Bei diesem Versuch wird die Probe analog den Verformungen an der Gürtelkante dynamisch beansprucht. Entsprechend der unterschiedlichen Auslastung des Reifens im praktischen Betrieb (Teillast, Vollast, Überlast) werden die Proben unterschiedlich verformt (z.B. ±0,2 bis ±0,8 mm), wobei in jedem Fall eine statische Vorspannung aufgebracht wird, die von einer Verformung von 0,2 mm herrührt. Um den Einfluss des gesamten Erwärmungsverhaltens ermitteln zu können, werden die dynamischen Versuche

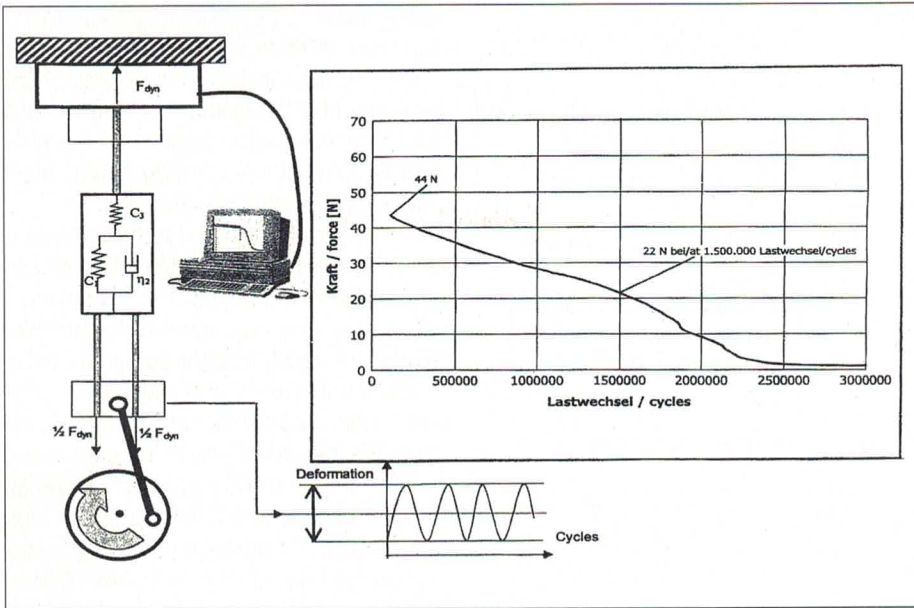


Abb 4. Gemessener Verlauf der dynamischen Kraft beim Pulser-Versuch

bei Temperaturen zwischen Raumtemperatur und ca. 125 °C untersucht. Die Prüffrequenz liegt bei allen Messungen bei 55 Hz (Abb. 2)

Abb. 4 zeigt ein typisches Diagramm eines Pulser-Versuches. Es hat sich gezeigt, dass die Versuche nur so lange durchgeführt werden müssen, bis die durch die Verformung hervorgerufene Kraft auf 50 % des Ausgangswertes abgefallen ist, da dann bereits die ersten Risse (Beginn der Separation) entstehen.

Aus dem Produkt aus Abrollumfang des Reifens und der gemessenen Lastwechselzahl lässt sich die Laufleistung der jeweiligen Probe bei den einzelnen Temperaturen ermitteln. Unterscheidet sich der Abstand zwischen den Gürtellagen von der Fadendichte, muss dieser geometrische Unterschied entsprechend kompensiert werden.

an der der Bewitterung ausgesetzten Seite deutlich, um ca. 9 Shore A, erhöht war, so dass die bewitterten Reifen eine über den Umfang unterschiedliche Härte aufweisen. Das Minimum der Härte fand sich in dem Teil der Lauffläche, der Bodenkontakt hatte, da dieser Teil vor Witte-rungseinflüssen am besten geschützt war.

Die Laufflächenhärte von teilweise mehr als 80 Shore A lässt eine deutlich verminderte Nassrutschfestigkeit erwarten. Ansonsten konnten keine Mängel an den Reifen festgestellt werden.

Die trocken und dunkel gelagerten Reifen waren optisch einwandfrei und zeigten eine über den Umfang gleichmäßige Härte, die der nicht gelaufenen Reifen betrug 77 Shore A, die zuvor im Fahrver-

such gefahrenen Reifen wiesen 82 Shore A auf.

Ergebnisse der Schnellauftests

Im vorliegenden Fall zeigten alle Reifen ein gutartiges Defektverhalten, so dass ein wichtiges Sicherheitskriterium erfüllt ist. Das Versagenskriterium aller geprüften Reifen bestand in einer Gürtelkanten-lösung. Der Reifen lief zunehmend un-rund, worauf sich dann Teile des Profils oder der Lauffläche ablösten.

Die Ergebnisse des Schnellaufver-suchs der gealterten Reifen sind in Tab. 1 dargestellt, das Ergebnis der Ver-gleichsreifen in Tab. 2.

Von den 10 geprüften Reifen verfehlte nur Reifen 4 knapp die 180 km/h-Stufe, so dass man insgesamt von einem guten Ergebnis sprechen kann.

Die optimal gelagerten Reifen, die kei-nem Fahrversuch unterzogen wurden (Reifen Nummer 7 bis 10), weisen einen nur sehr geringen Abfall der Schnelllauf-festigkeit auf, die im Neuzustand bei 210 km/h lag (abgeleitet von Reifen 11 und 12) und die auch bei den gealterten Reifen nur bei 2 Reifen auf 200 km/h ab-gefallen ist während 2 weitere Reifen die 210 km/h-Stufe erreichten. Auch die bei-den Reifen, die dem Fahrversuch unter-zogen und anschließend optimal gelagert wurden, zeigen ein sehr gutes Prüfergebnis von 210 und 190 km/h (Reifen 5 und 6).

Die im Freien bewitterten Reifen hinge-gen – sie sind mit Nummer 1 bis 4 be-zeichnet – zeigen einen deutlichen Abfall der Schnelllaufbeständigkeit auf 180 km/h bzw. sogar auf 170 km/h. Zwei dieser Reifen wurden vor der Bewitterung im

Reifenzustand nach der Alterung

Die 4 im Freien bewitterten Reifen (Reifen 1 bis 4) wurden im August 1999 aus der Vorrichtung entnommen und mit einem Druck von 3 bar versehen, um die durch den permanenten Stand bedingte Ab-plattung der Aufstandsfläche zu beseiti-gen.

Die Reifen wurden anschließend visu-ell auf eventuelle Schäden überprüft. Die Härte der Reifen und die Profiltiefe wurde an 20 Stellen des Umfangs gemessen. Es wurde dabei festgestellt, dass die Härte

Tab. 2. Prüfbedingungen und Ergebnisse der Vergleichsreifen, die einem Schnellauftest im Neuzustand unterzogen wurden

Reifen-Nr	Bemerkungen	Reifen-bezeichnung	Dimen-sion	Herstell-datum	Prüf-datum	Prüflast [kg]	Profiltiefe [%]	Schnell-laufer-gbein- Min km/h
11	ADAC-Test	Michelin MX	165 R 15 S 79	1986	1986	340	100	10 210
12	ADAC-Test	Michelin MX	165 R 15 S 79	1986	1986	340	100	7 210
13	Vergl. Rfn Michelin	Michelin Classat	155 R 13 T 79	1999	17.11.99	340	100	8 210
14	Vergl. Rfn Michelin	Michelin Classat	155 R 13 T 79	1999	17.11.99	340	100	6 210

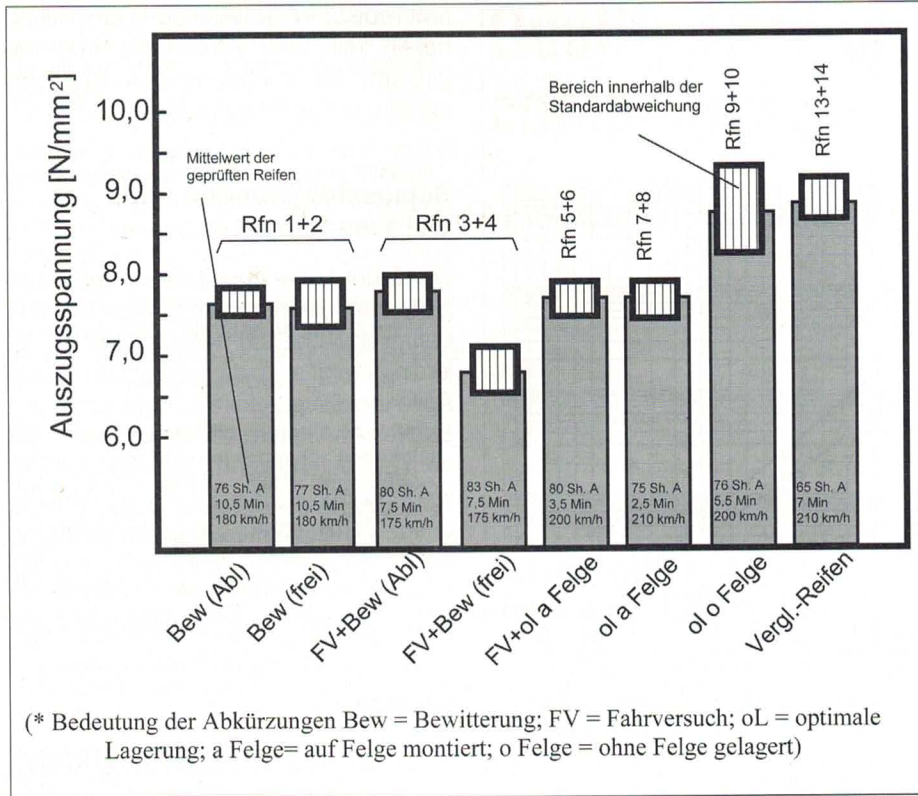


Abb. 5. Durchschnittliche Auszugsspannung über beide Gürtellagen

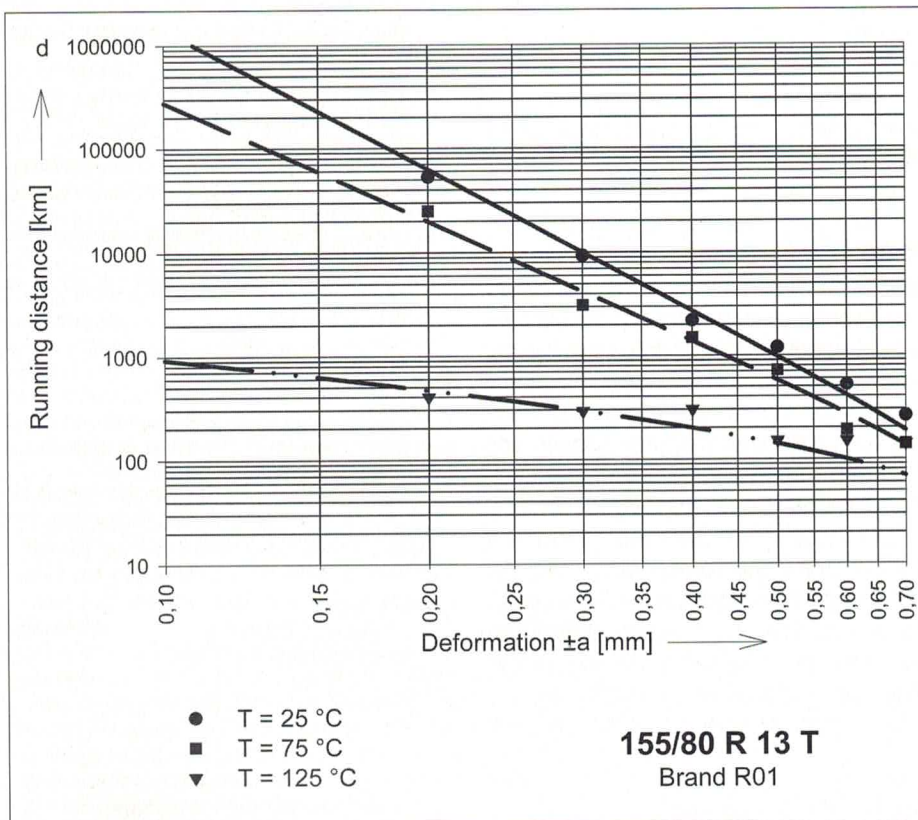


Abb. 6. Lebensdauerdiagramm eines Pulser-Elementes aus Neureifen und aus den 10 Jahre alten Reifen

Fahrversuch gefahren, die beiden anderen wurden im Neuzustand bewittert. Daraus ergibt sich, dass die Bewitterung im Freien den größten Einfluss auf die Alterung hatte.

Zusammenfassend lässt sich für die strukturelle Haltbarkeit feststellen:

- Die optimal gelagerten Reifen (trocken und dunkel) zeigen praktisch keinen Abfall der Schnellaufbeständigkeit,
- Die Reifenlagerung mit Überdruck hat sich tendenziell positiv ausgewirkt (Reifen 7 und 8),
- Der Fahrbetrieb reduziert die Schnellaufbeständigkeit kaum (Reifen 5 und 6); er liefert jedoch die größte Streuung der Messwerte.
- Den größten Abfall der Schnellauffestigkeit hatte die Bewitterung im Freien zur Folge (Reifen 1 bis 4).

Interessant ist auch, dass die modernen Vergleichsreifen Michelin 155 R 79 T einen um 10 km/h höheren Geschwindigkeitsindex aufweisen als die Reifen 155 R 13 S MX jedoch keine höhere Schnellaufbeständigkeit. Dies zeigt, dass sich der Hersteller wohl der hohen Alterungsbeständigkeit seines Produktes sehr sicher ist und die Reserve an Schnellaufbeständigkeit gegenüber dem Stand von 1986 um eine Stufe reduziert hat.

Ergebnisse der Materialprüfung

Auszugsversuche

Die Auszugsspannungen der gealterten Reifen liegen überwiegend im Bereich zwischen 7,5 und 8,5 N/mm². Dies entspricht dem Wert der Auszugsspannungen von Neureifen des gleichen Herstellers und beweist somit, dass die untersuchten Reifen auch nach 10 Jahren keine signifikanten Alterungserscheinungen aufweisen (Abb. 5). Aus diesen Versuchen muss geschlossen werden, dass die Lebensdauerkurven der Neureifen dieses Herstellers praktisch identisch sind wie jene Lebensdauerkurven von Reifen, die 10 Jahre gelagert worden sind.

Pulserversuche

Die Pulserversuche wurden bei Verformungen von 0,7 ± 0,5 mm und Raumtemperatur durchgeführt. Hierbei ergaben sich die gleichen Werte wie bei einem

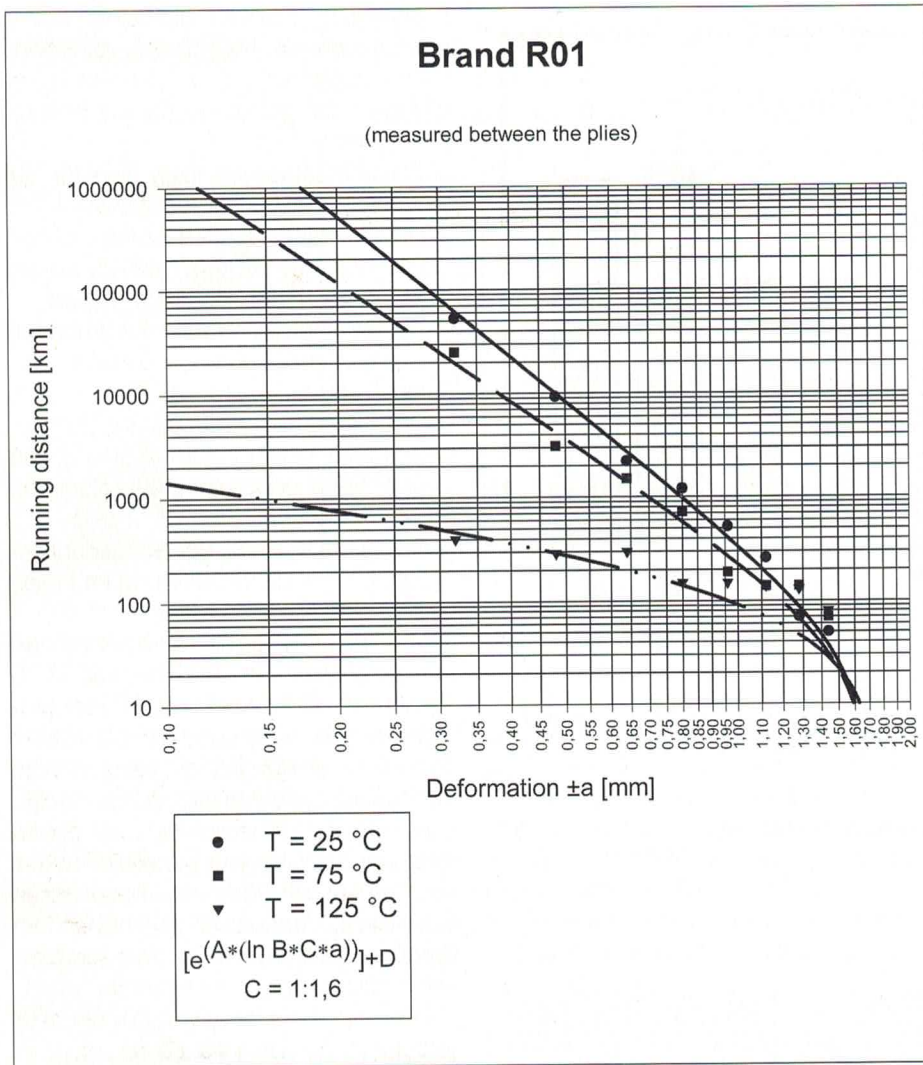


Abb. 7. Lebensdauerdiagramm des Reifens 155/80 R13 und der gelagerten Reifen des Herstellers Michelin

Neureifen der gleichen Dimension und des gleichen Herstellers (Abb. 6). Zur Berechnung der Lebensdauer können also die Lebensdauerkurven des Neureifens herangezogen werden (Abb. 6). Da der Abstand der Stahlkorde von 2 verschiedenen Lagen um den Faktor 1,6 größer ist als der Fadenabstand innerhalb der untersuchten Lage, wird diese Lebensdauerkurve den veränderten geometrischen Verhältnissen angepasst (Abb. 7). Eine Verformung eines Elementes von ±0,2 mm in Abb. 6 entspricht dabei der Verformung im Reifen von 1,6 * 0,2 = ± 0,32 mm in Abb. 7.

Aus dem Verformungsversuch der vorliegenden Dimension und des vorliegenden Fabrikates ist bekannt, dass die Gürtelkanten bei einem Luftdruck von 2,5 bar (kalt), einer Radlast von 3500 N, einem Sturzwinkel von 3° auf einem Trommelsegment mit einem Durchmesser von 2000 mm beim Durchlaufen der Aufstandsfläche eine Verformung von ca. ±0,4 mm erfahren. Mit diesem Wert für die mechanische Verformung und der sich hierbei einstellenden Temperatur an den Gürtelkanten von ca. 120 °C ergibt sich für die untersuchten Reifen eine Lebensdauer von ca. 300 km. Die

am Prüfstand gefahrenen alten Reifen haben real eine Prüfstrecke von ca. 210 km, die Vergleichsreifen eine von ca. 250 km zurückgelegt.

Schlussfolgerungen und weiteres Vorgehen

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, daß die strukturelle Alterung von Luftreifen technisch beherrschbar ist. Allerdings zeigt sich, dass dies nicht für alle Reifenfabrikate zutrifft.

Es werden weitere Untersuchungen mit dem Ziel durchgeführt, eine objektive Bewertung der Reifenalterung zu ermöglichen. Damit sollen dem Hersteller Hinweise gegeben werden aber es soll auch eine Basis geschaffen werden, die im Schadensfall eine Beurteilung erlaubt.

Literatur

- [1] K.-P. Glaeser, Verkehrssicherheit runderneuerter Pkw-Reifen, Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, März 1998.
- [2] T. Aubel, Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen, Bericht des TÜV Automotive GmbH, Ingenieur-Zentrum München, Projekt Nr. FP 2.9557 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen-Bergisch Gladbach, Juni 1998.
- [3] N.N. ADAC Motorwelt Heft 2/89.
- [4] E. Pflaum, Feldbeobachtung: Erkenntnisse liegen auf der Straße, Kautschuk und Gummi, Sonderdruck einer Veröffentlichung.
- [5] F. Novakowski, H. Zeisberger, DEKRA Fachschrift: Technische Mängel an Kraftfahrzeugen, 1986, Fachbeiträge 32/87; Verlag DEKRA Stuttgart.
- [6] A. Demmel, Untersuchung der Schnellauffestigkeit von alten Reserverädern. Interner Bericht des ADAC vom 29.8.88.
- [7] R. Müller, ADAC-Sommerreifen Testbericht des Jahres 1986.
- [8] G. Willmerding, T. Ziegler, Automobiltechnische Zeitschrift, Heft 5 (2000).

Die Autoren

Prof. Dr.-Ing. Günter Willmerding ist an der Fachhochschule Ulm im Fachbereich Maschinenbau und Fahrzeugtechnik tätig.
 Prof. Dr.-Ing. Norbert Seitz ist Leiter des Instituts für Reifen- und Polymertechnik der Technologie und Wissenstransfer AG an der Fachhochschule München.

Korrespondenz
 Prof. Dr. Günter Willmerding
 FH-Ulm
 Prittwitzstr. 10
 89075 Ulm