Untersuchungen zur Alterung von Pkw-Gürtelreifen

Wie diverse Untersuchungen ergeben haben, geht von älteren Reifen ein erhöhtes Risiko eines Reifendefektes aus. Im Folgenden wird eine Untersuchung dargestellt, in der Reifen zehn Jahre lang definiert unter verschiedenen Bedingungen gealtert und danach getestet wurden. Ziel war es, eine Aussage über die strukturelle Haltbarkeit der Reifen nach Langzeitalterung zu treffen. Die Planung der Arbeiten, der Fahrversuch und die Alterungsversuche wurden an der Fachhochschule Ulm, die Schnelllauf-Prüfung der Reifen im Labor von TÜV Automotive in München durchgeführt.

1 Einleitung

Untersuchungen [1 bis 5] haben ergeben, dass von älteren Reifen ein erhöhtes Risiko eines Reifendefektes ausgeht. In [1,2] wird gezeigt, dass für die Runderneuerung ein Karkassenalter von bis zu sechs Jahren eine sinnvolle Grenze darstellt. In [3] wurde gezeigt, dass unbenutzte Reservereifen teilweise nach bereits sechs Jahren einen erheblichen Abfall der Schnelllaufbeständigkeit aufweisen (teilweise auf Werte deutlich unter das Niveau der zulässigen Geschwindigkeitsgrenze). In [4] wird an Hand statistischer Auswertungen gezeigt, dass die Ausfallwahrscheinlichkeit eines neun Jahre alten Reifens acht Mal höher ist als die eines zwei Jahre alten.

Die Mehrzahl der oben genannten Untersuchungen betrachtet Reifen, deren Einsatzbedingungen unbekannt waren, sodass das Ergebnis nicht nur von den Alterungsprozessen im Reifen, sondern auch von der Art und Weise ihrer Benutzung abhängt.

Um Alterungsprozesse definiert untersuchen zu können, wurden Neureifen beschafft, die unter festgelegten, unterschiedlichen Bedingungen über zehn Jahre gealtert wurden. Damit sollten unbekannte Einflussgrößen weitestmöglich ausgeschaltet werden.

Dazu wurden zehn identische Neureifen der Firma Michelin, deren Produkte sich als besonders alterungsbeständig erwiesen haben [3], unter verschiedenen Bedingungen gealtert. Fehlbehandlungen der Reifen wurden durch permanente Überwachung ausgeschlossen. Eine systematische Kombination verschiedener Alterungseinflüsse – Fahrversuch, Luftüberdruck, Umgebungseinflüsse (Sauerstoff, Sonne, Regen), optimale Lagerung im Dunkeln – erfolgte, um den Einfluss einzelner Alterungsparameter zu erkennen.

Ziel war es, eine Aussage über die strukturelle Haltbarkeit nach Langzeitalterung zu treffen, was durch einen Schnelllauftest am Ende der Untersuchung geschah. Die Änderung der Schnelllauffestigkeit gegenüber dem Neuzustand wird dabei als ein geeignetes Maß für die strukturelle Alterung betrachet.

2 Grundlagen

Luftreifen sind extrem optimierte Verbundkörper. Sie bestehen aus textilen und/oder stählernen Cordeinlagen, die in Gummi eingebettet sind. Die Kräfte im Reifen werden im Wesentlichen durch die Corde übertragen, während die Gummischicht vorwiegend die Aufgabe hat, die Corde in ihrer Lage zu fixieren und den Reifen gegen Luftverlust abzudichten und natürlich die Kräfte durch Reibung in der Aufstandsfläche zu übertragen.

Gummi ist ein Compound aus verschiedenen chemischen Bestandteilen, das seine elastischen Eigenschaften durch die Vulkanisation erhält. Dabei findet eine Vernetzung der Kautschuk-Moleküle statt, was entscheidenden Einfluss auf die Eigenschaften hat.

Chemische Prozesse in einer Gummimischung kommen erst am absoluten Temperaturnullpunkt zum Stillstand. Bei Temperaturen darüber finden weitere chemische Veränderungen statt, die sich zum Beispiel in einer Verhärtung der Mischung für jedermann offenkundig zeigen.

Die wichtigste Einflussgröße auf diese chemischen Prozesse, die eine Eigenschaftsänderung über der Zeit bewirkt (Alterung), ist die Temperatur. Die Geschwindigkeit der chemischen Prozesse und damit die Alterungsgeschwindigkeit verdoppelt sich bei einer Temperaturerhöhung um 10 °C. Neben der Temperatur sind unter anderem folgende weitere Einflussgrößen bedeutsam:

- Ozon, Luftsauerstoff, UV-Strahlung
- mechanische Beanspruchung
- Chemikalien (Öl, Fett, Kraftstoff).

Die Stahlcordhaftmischung ist für die strukturelle Haltbarkeit besonders bedeutsam. Dies ist die Mischung, in die die mit Messing beschichteten Stahlcorde eingebettet sind. Die Güte der Haftung des Stahlcords in der Gummimischung ist entscheidend für die strukturelle Haltbarkeit des Reifens.

Um nun Alterungseinflüsse zu untersuchen und den einzelnen Einflussgrößen zuordnen zu können, wurden zehn Reifen definiert gealtert und folgenden unterschiedlichen Bedingungen ausgesetzt.

Die Verfasser

Prof. Dr.-Ing. Günter Willmerding *ist an der Fachhochschule Ulm im Fachbereich Fahrzeugtechnik tätig. Weiterhin leitet er das Steinbeis-Transferzentrum „Neue Technologien in der Verkehrstechnik".*

Dipl.-Ing. Thomas Ziegler *ist als Leiter des Ingenieurzentrums München der TÜV Automotive GmbH für das Reifen- und Räder-Testcenter verantwortlich.*

3 Alterungs- und Prüfbedingungen der Luftreifen

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 vier Reifen im selben Jahr mit einem zirka sechsmonatigen Fahrversuch begonnen. Die restlichen sechs Reifen wurden optimal (dunkel, trocken) ohne Felge gelagert. Nach Abschluss des Fahrversuchs wurden alle zehn Reifen zwischen Anfang 1989 bis Juli 1999 definiert gealtert.

Die Bedingungen:

Fahrversuch (Beginn 1988, Ende Anfang 1989)

Vier Reifen wurden innerhalb von zirka sechs Monaten zirka 15000 km auf einem frontgeriebenen Pkw (VW-Passat) gefahren. Dabei wurde auf korrekten Luftdruck geachtet. 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 versehen und eine statische Ein-

Tabelle 1: Alterungs-, Prüfbedingungen und Ergebnisse der gealterten Reifen Michelin 155 R 13 78 S MX, die 11 Jahre nach Herstellung im Schnelllauftest geprüft wurden

Table 1: Aging Conditions, Test Conditions and the Results of the aged Michelin 155 R 13 78 S MX tyres, which were tested 11 years after they were manufacturered

Reifen-Nr.	Alterungs-bedingungen	Druck bei Demontage [bar]	Herstell-datum	Prüfdatum	Härte Min [Shore A]	Härte Max [Shore A]	Profil-tiefe [%]	Schnell-laufer-gebnis Min	km/h
1	Bew.	0,7	30. Wo. 88	17.11.99	75	84	100	5	180
2	Bew.	0,8	30. Wo. 88	17.11.99	74	83	100	16	180
3	FV+Bew	<0,5	30. Wo. 88	17.11.99	79	85	64	7	180
4	FV+Bew	0,7	30. Wo. 88	17.11.99	74	83	73	8	170
5	FV+oL a Felge	<0,5	30. Wo. 88	17.11.99	82	82	69	3	190
6	FV+oL a Felge	<0,5	30. Wo. 88	17.11.99	82	82	64	4	210
7	oL a Felge	<0,5	30. Wo. 88	17.11.99	77	77	100	4	210
8	oL a Felge	=0,5	30. Wo. 88	17.11.99	76	76	100	1	210
9	oL o Felge	ohne Felge	30. Wo. 88	17.11.99	76	76	100	7	200
10	oL o Felge	ohne Felge	30. Wo. 88	17.11.99	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)

Bild 1: Ansicht der Reifen beim Bewitterungsversuch über zehn Jahre

Figure 1: View of tyre at weathering test over 10 years

federung aufgezwungen, wie sie auch auf dem Fahrzeug auftrat. Dieser Federweg wurde über der gesamten Versuchsdauer konstant gehalten. Als Kontaktfläche dienten Betonplatten, **Bild 1**. Der Luftdruck wurde bei Versuchsbeginn auf 2,5 bar eingestellt und später keine Luft nachgefüllt. Standortbedingt waren diese Reifen allen natürlichen Einflüssen der Witterung (Sonne, Regen, UV, Ozon, etc.) ausgesetzt.

Optimale Lagerung der Reifen (von 1989 bis 1999)

Sechs Reifen wurden trocken und dunkel in einem Schrank in einem ständig genutzten, beheizbaren aber nicht klimatisierten Büro in der FH Ulm gelagert. Die Temperatur veränderte sich der Jahreszeit entsprechend, sank jedoch niemals unter 16 °C, sie erreichte im Sommer einen Extremwert von 36 °C. Die mittlere Raumtemperatur betrug zirka 23 °C. Die Reifen waren horizontal gestapelt, wobei die auf Felge montierten Reifen unten lagen. Weitere Details zeigt die **Tabelle 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 Tabelle 1 angegeben. Luftdruckwerte von unterhalb 0,5 bar konnten nicht gemessen werden, sodass in der Tabelle dann <0,5 bar angegeben wurde.

Zum Abschluss erfolgte ein zerstörender Schnelllauftest auf einer 2-m-Prüftrommel, **Bild 2**, unter folgenden Prüfbedingungen:

- Prüflast (80%): 340 kg
- Luftdruck: 2,6 bar
- Sturz: 3 Grad
- Raum-Temperatur: 27 °C
- Prüffelge: 5 J 13.

Die Prüfgeschwindigkeit wurde in den in der **Tabelle 2** dargestellten Stufen bis zum Defekt gesteigert. Während der Prüfung wurden der Reifenumfang und alle Einstellgrößen des Prüfstands vom Rechner protokolliert. Die Defektentwicklung wurde laufend beobachtet und die Prüfmaschine abgeschaltet, wenn sich die Querschnittskontur deutlich vergrößerte. Die Temperatur wurde mit einem Einstichthermometer unmittelbar nach dem Defekt in dessen Zentrum, in Laufflächenmitte und in den Schultern gemessen.

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

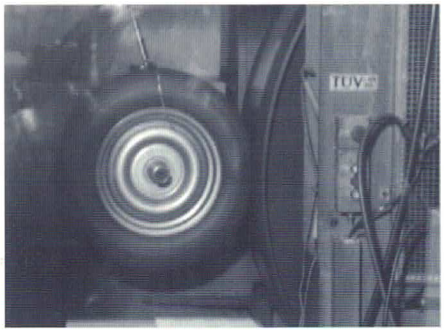
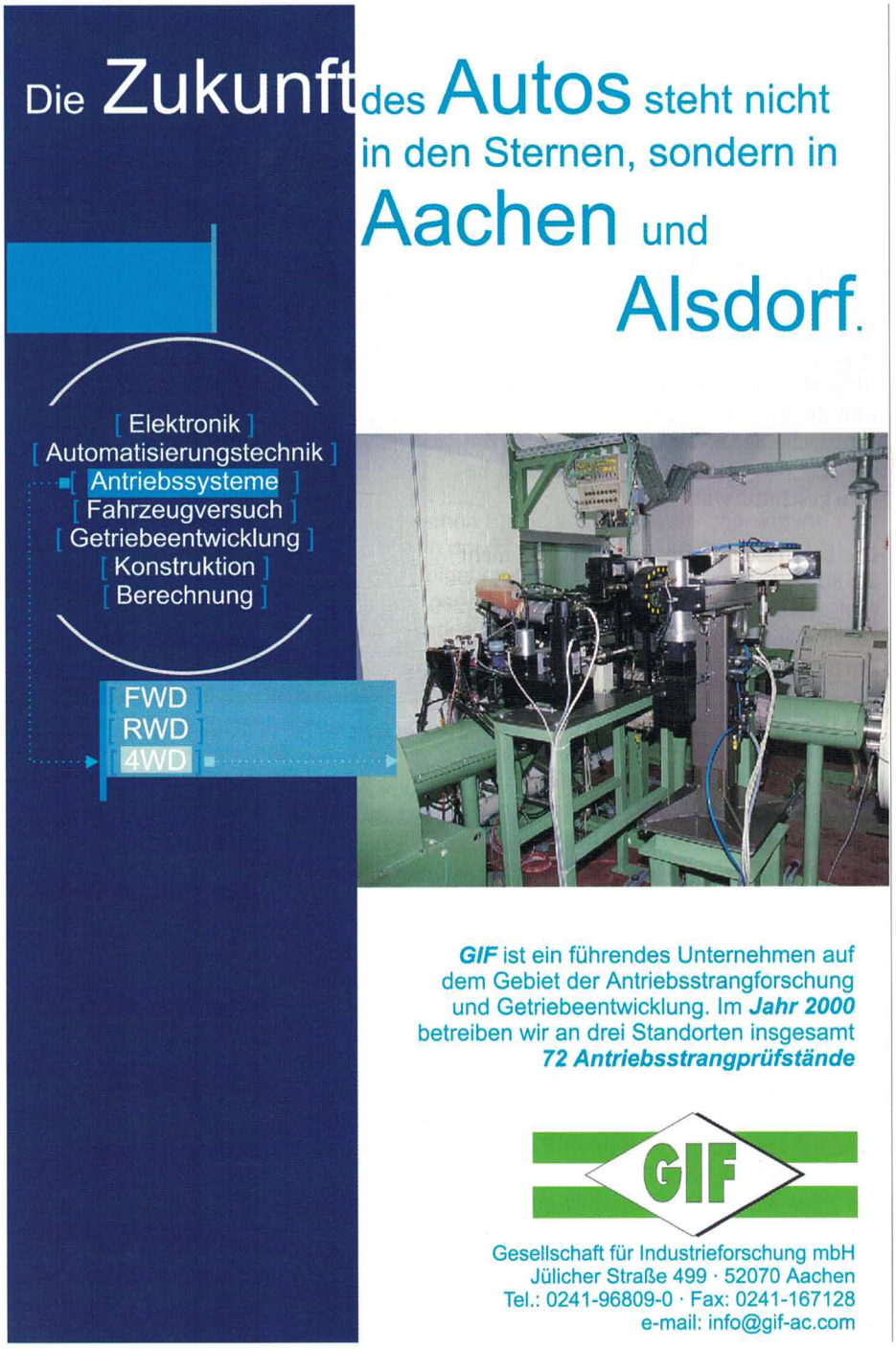


Bild 2: Reifenprüfstand des TÜV-Automotive München mit Prüfling

Figure 2: TÜV Automotive Munich tyre test stand with test sample

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.



Geschwindigkeit (km/h)	Bemerkungen	Zeitdauer (Minuten)
0 - 150	Warmfahren	10
150		10
160		10
170		10
180	Sollgeschwindigkeit	20
190		10
200		10
210		10
u. s. w. bis zum Defekt		

Tabelle 2: Prüfbedingungen für alle untersuchten Reifen

Table 2: Test conditions for all tyres

4 Reifenzustand nach der Alterung

Die vier 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 Abplattung der Aufstandsfläche zu beseitigen.

Die Reifen wurden anschließend visuell 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 an der der Bewitterung ausgesetzten Seite deutlich, um zirka 9 Shore A, erhöht war, sodass 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 Witterungseinflüssen 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 Fahrversuch gefahrenen Reifen wiesen 82 Shore A auf.

5 Ergebnisse der Schnelllauftests und Diskussion der Ergebnisse

Reifen der Geschwindigkeitsklasse S müssen beim Schnelllauftest die vorgesehene 180 km/h-Stufe der DIN-Prüfung ohne Schaden absolvieren. Hierzu wird der Reifen ohne Sturz geprüft. Da die durchgeführten Tests aber mit 3 Grad Sturz erfolgten, bedeutet dies eine Verschärfung der Prüfbedingungen. Unter Normbedingungen wäre der Defekt bei einer um zirka 10 km/h erhöhten Geschwindigkeit eingetreten. Das Erreichen der 180km/h Stufe unter den hier vorliegenden Bedingungen dürfte daher in etwa einer Erfüllung des DIN-Schnelllauftests entsprechen.

Für die Beurteilung der Schnelllaufbeständigkeit eines Reifens ist neben der eigentlichen Defektgeschwindigkeit auch das Defektverhalten ein wichtiges Kriterium. Defekte an Reifen sollen sich frühzeitig ankündigen, um dem Fahrer die Möglichkeit zum gefahrlosen Anhalten zu geben.

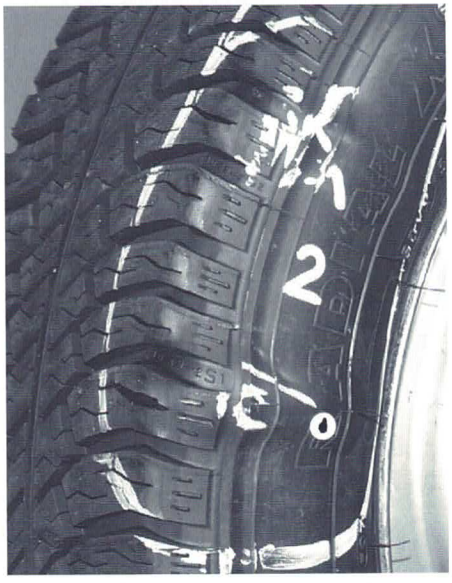


Bild 3: Reifen Nr. 14 (Neureifen) nach Schnelllauftest, Defekt bei 210 km/h

Figure 3: Tyre no. 14 (new tyre) after high-speed test, failure at 210 km/h

Im vorliegenden Fall zeigten alle Reifen ein gutartiges Defektverhalten, sodass ein wichtiges Sicherheitskriterium erfüllt ist. Das typische Versagenskriterium der geprüften Reifen bestand in einer Gürtelkantenablösung. Der Reifen lief zunehmend unrund, worauf sich dann Teile des Profils oder der Lauffläche ablösten. Die Defektorte verschiedener Reifen zeigen die **Bilder 3 bis 6**. Die Ergebnisse des Schnelllaufversuchs der gealterten Reifen sind in der Tabelle 1 dargestellt, das Ergebnis der Vergleichsreifen in der **Tabelle 3**.

Es ist anzunehmen, dass das Niveau der Schnelllaufbeständigkeit der Vergleichsreifen aus der Untersuchung nach [7] (Reifen 11 und 12: gleicher Typ, Hersteller, vergleichbare Dimension und ähnlicher Herstellzeitraum) auf die hier geprüften Reifen übertragbar ist. Von den zehn geprüften Reifen verfehlte nur Reifen 4 knapp die 180 km/h-Stufe, sodass man insgesamt von einem erfreulichen Ergebnis sprechen kann.

Die optimal gelagerten Reifen, die keinem Fahrversuch unterzogen wurden (Reifen Nummer 7 bis 10), weisen einen nur sehr geringen Abfall der Schnelllauffestigkeit auf, die im Neuzustand bei 210 km/h lag (abgeleitet von Reifen 11 und 12) und die auch bei den gealterten Reifen nur bei zwei Reifen auf 200 km/h abgefallen ist während zwei weitere Reifen die 210 km/h-Stufe erreichten. Auch die beiden Reifen, die dem Fahrversuch unterzogen 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 hingegen – sie sind mit Nummer 1 bis 4 bezeichnet –

Bild 4: Gealterter Reifen Nr. 5 nach Schnelllauftest 3' 190 km/h

Figure 4: Aged tyre no. 5 after high-speed test (failure 3' 190 km/h)

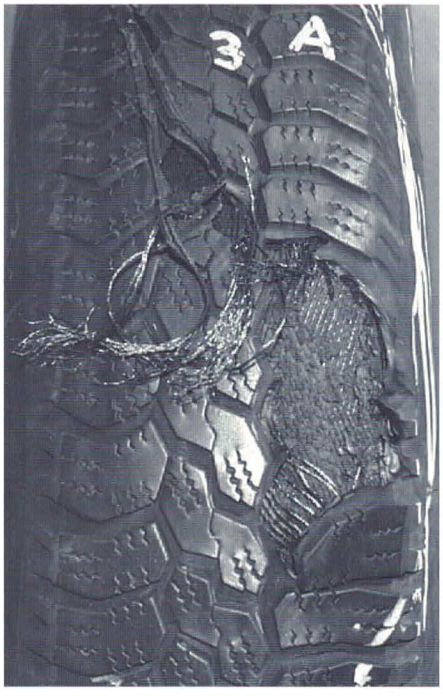


Bild 5: Gealterter Reifen Nr. 3 nach Schnelllauftest, gutartiger Defekt 7' 180 km/h

Figure 5: Aged tyre no. 3 after high-speed test good-natured failure 7' 180 km/h

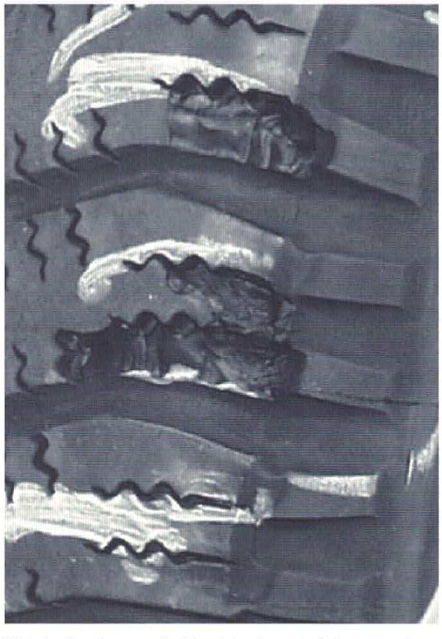


Bild 6: Gealterter Reifen Nr. 6 nach Schnelllauftest, gutartiger Defekt bei 4` 210 km/h

Figure 6: Aged tyre no. 6 after high-speed test, good-natured failure at 4` 210 km/h

zeigen einen deutlichen Abfall der Schnelllaufbeständigkeit auf 180 km/h beziehungsweise sogar auf 170 km/h. Zwei dieser Reifen wurden vor der Bewitterung im Fahrversuch gefahren, die beiden anderen wurden im Neuzustand bewittert. Daraus ergibt sich, dass die Bewitterung im Freien den größten Einfluss auf die Alterung hatte.

Tabelle 3: Prüfbedingungen und Ergebnisse der Vergleichsreifen, die einem Schnelllauftest im Neuzustand unterzogen wurden

Table 3: Test Conditions and Results of the Comparative Tyres, which were new when the high-speed test was carried out

Reifen-Nr.	Bemerkungen	Reifenbezeichnung	Dimension	Herstelldatum	Prüfdatum	Prüflast [kg]	Profiltiefe [%]	Schnelllaufergebnis 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

Zusammenfassend lässt sich für die strukurelle Haltbarkeit feststellen:

- die optimal gelagerten Reifen (trocken und dunkel) zeigen praktisch keinen Abfall der Schnelllaufbeständigkeit
- die Reifenlagerung mit Überdruck hat sich tendenziell positiv ausgewirkt (Reifen 7 und 8)
- der Fahrbetrieb reduziert die Schnelllaufbeständikeit kaum (Reifen 5 und 6); er liefert jedoch die größte Streuung der Messwerte
- den größten Abfall der Schnelllauffestigkeit 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 Schnelllaufbeständigkeit. Dies zeigt, dass sich der Hersteller wohl der hohen Alterungsbeständigkeit seines Produktes sehr sicher ist und die Reserve an Schnelllaufbeständigkeit gegenüber dem Stand von 1986 um eine Stufe reduziert hat.

6 Schlussfolgerungen und weiteres Vorgehen

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass die strukturelle Alterung von Luftreifen technisch beherrschbar ist. Bei den hier untersuchten Reifen der Firma Michelin ist die Verhärtung der Lauffläche und die daraus resultierende verminderte Nassrutschfestigkeit ein größeres Risiko für den Kraftfahrer als die Gefahr, die aus der verminderten Schnelllaufbeständigkeit resultiert.

Statt oder als Ergänzung zu einer immer wieder diskutierten zeitlichen Begrenzung der gesetzlich zulässigen Nutzungsdauer von Reifen scheint eine Begrenzung der Laufflächenhärte nach Shore A sinnvoll. Diese Shore-A-Grenze wird vermutlich vom Mischungsaufbau abhängen und damit nicht für alle Reifen gleich sein. Der Reifenhersteller müsste sie daher als Grenzwert auf dem Reifen angeben. Diese einfach zu messende Größe würde damit automatisch auch zu einer zeitlichen Begrenzung der Nutzungsdauer von Reifen führen.

Das Projekt Alterung von Luftreifen soll weitergeführt werden, wobei die Mischungshaftung selbst genauer untersucht werden soll. Desweiteren ist geplant, auch andere Hersteller in die Untersuchung mit einzubeziehen.

Literaturhinweise

[1] Glaeser, K.-P.: Verkehrssicherheit runderneuerter Pkw-Reifen. Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, März 1998

[2] Aubel, T.: Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen. Bericht des TÜVAutomotive GmbH, Ingenieur-Zentrum München, Projekt Nr. FP 2.9557 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen-Bergisch Gladbach, Juni 1998

[3] N.N.: Das 5. Rad im Test: Oft keine Reserve mehr. In: ADAC Motorwelt Heft 2 / 89

[4] Pflaum, E.: Feldbeobachtung: Erkenntnisse liegen auf der Straße, Kautschuk und Gummi, Sonderdruck einer Veröffentlichung.

[5] Novakowski, F.; Zeisberger, H.: Reifenalterung-Einfluss auf die Schadenhäufigkeit. In: DEKRA Fachschrift: Technische Mängel an Kraftfahrzeugen, 1986, Fachbeiträge 32/87; Verlag DEKRA Stuttgart

[6] Demmel, A.: Untersuchung der Schnelllauffestigkeit von alten Reserverädern. Interner Bericht des ADAC vom 29.8.88

[7] Müller, R.: ADAC-Sommerreifen Testbericht des Jahres 1986. Auszug aus einem internen Versuchsbericht des ADAC über Prüfergebnisse und Prüfbedingungen.

ATZ worldwide

You can read the English version of this article in **ATZ worldwide**.

Subscription Hotline: ++49 / 6 11 / 78 78 151