

(19)



Deutsches  
Patent- und Markenamt



(10) **DE 10 2012 205 694 A1** 2013.10.10

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2012 205 694.7**

(22) Anmeldetag: **05.04.2012**

(43) Offenlegungstag: **10.10.2013**

(51) Int Cl.: **G01L 17/00** (2012.01)

**B60C 23/06** (2012.01)

**G01L 5/18** (2012.01)

**G01M 17/02** (2012.01)

(71) Anmelder:

**Robert Bosch GmbH, 70469, Stuttgart, DE**

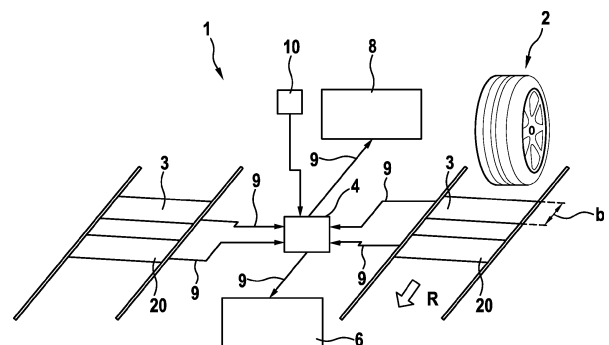
(72) Erfinder:

**Nobis, Günter, 72622, Nürtingen, DE; Uffenkamp,  
Volker, 71642, Ludwigsburg, DE**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Reifendruckprüfung**

(57) Zusammenfassung: Eine Vorrichtung (1) zum Prüfen des Fülldrucks (p) in einem Reifen (2) eines über eine Messplatzebene rollenden Fahrzeugs weist wenigstens einen quer zur Laufrichtung des Reifens (2) ausgerichteten Kraftsensorbalken (3) und eine Auswerteeinheit (4) auf. Der Kraftsensorbalken (3) ist ausgebildet, ein Ausgangssignal an die Auswerteeinheit (4) auszugeben, das eine Funktion der insgesamt auf den Kraftsensorbalken (3) einwirkenden Last ist; und die Auswerteeinheit (4) ist ausgebildet, um aus dem zeitlichen Verlauf eines Ausgangssignals des Kraftsensorbalkens (3), das dieser beim Überrollen mit dem Reifen (2) an die Auswerteeinheit (4) ausgibt, auf den Fülldruck (p) in dem Reifen (2) zu schließen.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und einer Vorrichtung zum Prüfen des Fülldrucks in einem Reifen eines Fahrzeugs, insbesondere eines rollenden Fahrzeugs.

**Stand der Technik**

**[0002]** Der Reifenfülldruck eines Kraftfahrzeuges ist für die Sicherheit im Straßenverkehr, für den Komfort und das Fahrverhalten des Fahrzeugs, für den Kraftstoffverbrauch und für den Reifenverschleiß von großer Bedeutung. Ein nicht den Belastungen angepasster Reifenfülldruck kann den Geradeauslauf und die Fahrstabilität und damit die Sicherheit des Fahrzeugs erheblich beeinträchtigen, einen spürbaren Kraftstoffmehrerverbrauch verursachen und zu einer deutlichen Verkürzung der Nutzungsdauer der Reifen führen.

**[0003]** Daher ist die Prüfung des Reifenfülldrucks fester Bestandteil des turnusmäßigen Kraftfahrzeug-Service. Diese unterliegen inzwischen einem sehr großen Zeitintervall. Der Reifenfülldruck sollte jedoch regelmäßig ca. alle 2 Wochen und zusätzlich bei besonderen Belastungen wie einer langen Reise mit hoher Geschwindigkeit und/oder schwerem Gepäck kontrolliert werden.

**[0004]** Die Kontrolle des Reifenfülldrucks obliegt der Disziplin des Fahrzeugführers. Gegenwärtig ist eine manuelle Prüfung des Reifenfülldrucks an Tankstellen und in Werkstätten möglich, dies ist jedoch umständlich.

**[0005]** Aus diesen Gründen findet die von den Reifenherstellern empfohlene Kontrolle des Reifenfülldrucks oft deutlich seltener oder gar nicht statt. Es wäre daher vorteilhaft, wenn der Reifenfülldruck z.B. bei der Anfahrt zu einer Tankstelle mit einer Prüfvorrichtung automatisch kontrolliert werden würde.

**[0006]** Aus den vergangenen Jahrzehnten sind etliche Verfahren zur Prüfung des Reifenfülldrucks bekannt.

**[0007]** Generell lassen sich die Verfahren in Verfahren zur direkten und in Verfahren zur indirekten Reifenfülldruckprüfung einteilen, wobei unterschieden werden kann, ob die Prüfung bei stehendem oder bei rollendem Fahrzeug bzw. Reifen erfolgt.

**[0008]** Ein Verfahren zum Prüfen des Reifenfülldrucks mit einem zu adaptierenden Druckmessgerät ist der direkten Reifenfülldruckprüfung bei stehendem Fahrzeug zuzuordnen und zum Beispiel aus FR 2 852 907 A3 bekannt. Darüber hinaus sind auch Verfahren der direkten Reifenfülldruckprüfung bekannt, die sowohl bei stehendem als auch bei rollendem Fahrzeug ausgeführt werden. Bei die-

sen Verfahren sind am Ventil (JP 3 141 838 U) oder innerhalb des Reifens (DE 19 630 015 A1; US 2008/0133081 A1) ein oder mehrere Sensoren vorgesehen, die den Reifenfülldruck kontinuierlich überwachen. Wenn der Reifenfülldruck einen Schwellwert über- oder unterschreitet, wird dem Fahrzeuglenker eine Warnung angezeigt, und/oder es ertönt ein Warnsignal. Diese Sensoren sind jedoch oftmals ungenau und teuer.

**[0009]** Aus EP 656 269 A1, EP 695 935 A1 und WO 2008/034411 A1 sind Verfahren zur indirekten Reifenfülldruckprüfung bei rollendem Fahrzeug bekannt, bei denen die Räder des Fahrzeugs über eine Kraftsensormatrix rollen.

**[0010]** Aus der Reifenaufstandsfläche und der Aufstandskraft der einzelnen Kraftsensoren innerhalb der Reifenkontaktfläche oder den Unterschieden der gemessenen Aufstandskraft zwischen den einzelnen Kraftsensoren, d.h. aus charakteristischen Unterschieden in der Druckverteilung innerhalb der Reifenkontaktfläche, lässt sich der Reifenfülldruck herleiten.

**[0011]** Kraftsensormatrizen sind jedoch zum einen teuer, weil die Sensoren über eine ausreichend große Fläche angeordnet werden müssen. Zum anderen sind sie anfällig gegen Zerstörung und Fehlmessungen, wenn sie als druckempfindliche Messfolien ausgelegt sind, da sie beim Überrollen mechanischen Querbelastungen durch Anfahren und Bremsen sowie durch den Sturz der Räder und die Vorspur der Radachse ausgesetzt sind.

**[0012]** Weitere Verfahren zur indirekten Reifenfülldruckprüfung bei rollendem Fahrzeug verwenden zur Erfassung der Druckverteilung in der Reifenaufstandsfläche (Latschfläche) anstatt einer Kraftsensormatrix eine Zeilenanordnung von Kraftsensoren. Die Zeile ist so dimensioniert, dass die Breite der Reifenaufstandsfläche (Latschbreite) erfasst werden kann. Die weiterhin zur Ermittlung der Reifenaufstandsfläche notwendige Länge der Reifenaufstandsfläche (Latschlänge) erfordert zusätzlich die Bestimmung der Geschwindigkeit des Kraftfahrzeuges. In US 5 396 817 wird die Geschwindigkeit aus dem Anstieg und dem Abfall des Signals bestimmt, das erzeugt wird, während der Reifen über die Kraftsensorzeile rollt. In EP 892 259 A1 ist in Fahrtrichtung vor der Kraftsensorzeile eine Kontaktschiene angeordnet, um im Zusammenwirken mit der Kraftsensorzeile die Fahrgeschwindigkeit zu ermitteln.

**[0013]** Die zuvor beschriebenen Verfahren mit Kraftsensormatrizen und Kraftsensorzeilen haben bisher keine breite Anwendung erfahren, da die Systeme sehr komplex sind und wegen der großen Datenmenge einer aufwändigen elektronischen Auswerte- und Recheneinheit bedürfen.

**[0014]** Ein Verfahren zur indirekten Reifenfülldruckprüfung bei rollendem Fahrzeug unter Verwendung einzelner Kraftsensoren ist aus WO 1998/052008 A1 bekannt. Bei diesem Verfahren überrollt das Rad zwei piezoelektrische Sensorkabel mit bekanntem Abstand. Piezoelektrische Sensoren erzeugen aufgrund einer auf sie wirkenden Kraft eine Spannung. Die Wellenform des Spannungssignals bei der Überfahrt weist eine vom Reifenluftdruck abhängige Charakteristik auf, die zusätzlich von der Radlast des Kraftfahrzeugs und von der Geschwindigkeit der Überfahrt abhängig ist. Das Verfahren sieht vor, die Geschwindigkeit aus dem bekannten Abstand der beiden Sensorkabel zu bestimmen, die Radlast aus der Amplitude des Spannungssignals abzuschätzen und entsprechende Korrekturen anzubringen, die in einer Datenbank abgelegt sind.

**[0015]** Weiterhin ist auch die optische Erfassung der Kontaktfläche bekannt: DE 197 05 047 A1 offenbart ein Verfahren zur Messung der Profiltiefe eines Reifens, bei dem das Reifenprofil mit Laserlicht beaufschlagt wird.

**[0016]** US 2009/0290757 offenbart ein Verfahren, bei dem aus Bilddaten eines Objektes ein dreidimensionales Profil des Objektes erzeugt und das dreidimensionale Profil des Objektes analysiert wird, um Anomalien des Objektes zu erkennen.

**[0017]** Bei dem in EP 1 305 590 A1 beschriebenen Verfahren rollt ein Reifen über eine Glasplatte und eine Kamera unterhalb der Glasplatte zeichnet Bilder des Reifens auf. Diese Anordnung ist wegen Verschleiß, Verschmutzung und Gefahr der Beschädigung der Glasplatte für den Einsatz im rauen Umfeld des Straßenverkehrs nicht gut geeignet sondern eher dem Laborbetrieb vorbehalten.

**[0018]** Es besteht somit nach wie vor der Bedarf nach einem robusten, einfach und kostengünstig durchführbaren Verfahren zur indirekten Reifenfülldruckprüfung bei rollendem Fahrzeug und einer Vorrichtung, die zur Durchführung eines solchen Verfahrens ausgebildet ist.

#### Offenbarung der Erfindung

**[0019]** Ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Prüfen des Reifenfülldrucks eines rollenden Fahrzeugs umfasst die Schritte, die Länge der Reifenaufstandsfläche in Fahrtrichtung zu bestimmen, die Radlast des zu überprüfenden Reifens zu bestimmen und aus der Länge der Reifenaufstandsfläche und der Radlast auf den Reifenfülldruck zu schließen.

**[0020]** Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zum Prüfen des Reifenfülldrucks eines über eine Messplatzebene rollenden Fahrzeugs weist wenigstens einen quer zur Laufrichtung des Reifens ausgerichteten

Kraftsensorbalken und eine Auswerteeinheit auf. Der Kraftsensorbalken gibt ein Signal aus, das eine Funktion der auf den Kraftsensorbalken insgesamt einwirkenden Last ist. Die Auswerteeinheit ist ausgebildet, um aus dem Signalverlauf des Ausgangssignals des Kraftsensorbalkens, das dieser beim Überrollen mit dem Reifen an die Auswerteeinheit ausgibt, auf den Reifenfülldruck zu schließen.

**[0021]** Das Verfahren und die Vorrichtung sind geeignet, um in Bereichen mit geringen Fahrgeschwindigkeiten von Kraftfahrzeugen, wie z.B. an Einfahrten zu Tankstellen, Werkstätten oder Parkplätzen, eine Prüfung des Reifenfülldrucks durchzuführen und unmittelbar einen entsprechenden Hinweis, z.B. durch eine mehrfarbige Ampel, an den Kraftfahrzeugführer zu geben. Die Erfindung stellt durch eine Messung am rollenden Fahrzeug bzw. Rad eine breit einsetzbare und für den Fahrer komfortable Lösung zur Verfügung. Durch das Bestimmen der Radlast kann der Einfluss der Radlast auf die Reifenaufstandsfläche berücksichtigt werden, und Fehler bei der Bestimmung des Reifenfülldrucks, die sich aus Änderungen der Radlast ergeben, können vermieden oder zumindest reduziert werden. Der Reifenfülldruck kann so mit hoher Genauigkeit bestimmt werden.

**[0022]** Da der Kraftsensorbalken so ausgebildet ist, dass er ein einziges (Gesamt-)Signal ausgibt, das eine Funktion der insgesamt auf den Kraftsensorbalken einwirkenden Last ist, und der Kraftsensorbalken insbesondere keine Matrixstruktur aufweist, die ausgebildet ist, um den Verlauf der Last über die Breite des Reifens zu messen, ist der Kraftsensorbalken robuster und einfacher und damit kostengünstiger herstellbar als die bisher verwendeten Kraftsensorzeilen oder -matrizen.

**[0023]** Die Erfindung stellt daher eine kostengünstige und robuste Lösung zur Verfügung, die auch unter rauen Prüfbedingungen eingesetzt werden kann. Eine erfindungsgemäße Vorrichtung kann in die Fahrbahn oder in eine flache Überfahrschwelle, die auf der Fahrbahn angeordnet ist, eingebaut werden. Die Erfindung weist dabei eine ausreichend hohe Genauigkeit zur indirekten Prüfung des Reifenfülldrucks am rollenden Fahrzeug auf.

**[0024]** In einer Ausführungsform schließt das Verfahren ein, zu bestimmen, ob sich der Reifenfülldruck in einem vorgegebenen Bereich befindet. Reifen mit zu geringem Reifenfülldruck (sicherheitsrelevant!) können so mit hoher Wahrscheinlichkeit erkannt werden.

**[0025]** In einer Ausführungsform schließt das Verfahren ein, den Reifenfülldruck zu bestimmen. Der Reifenfülldruck kann so für den Fahrer einfach und bequem bestimmt werden.

**[0026]** In einer Ausführungsform schließt das Verfahren ein, eine von der Radlast abhängige Korrelationsfunktion, welche die Abhängigkeit zwischen der Länge der Reifenaufstandsfläche und dem Reifendruck beschreibt, zu verwenden. Die Korrelationsfunktion kann eine lineare oder eine nicht-lineare Korrelationsfunktion sein. Es können insbesondere von der Radlast und ggf. dem Reifentyp abhängige Korrelationskoeffizienten, die beispielsweise zuvor berechnet und dann zur späteren Verwendung gespeichert werden, verwendet werden. Mit einer von der Radlast abhängigen Korrelationsfunktion kann auf einfache Weise und mit ausreichender Genauigkeit eine Beziehung zwischen der Länge der Reifenaufstandsfläche und dem Fülldruck des Reifens hergestellt werden.

**[0027]** In einer Ausführungsform schließt das Verfahren ein, den zeitlichen Verlauf eines Ausgangssignals wenigstens eines Kraftsensorbalkens, der von einem Reifen des Fahrzeugs überrollt wird, auszuwerten, um die Länge der Reifenaufstandsfläche in Fahrtrichtung zu bestimmen. Insbesondere kann das Verfahren einschließen, markante Zeitpunkte im Signalverlauf zu analysieren und zur Bestimmung der Fahrgeschwindigkeit und der Länge der Reifenaufstandsfläche zu verwenden. Auf diese Weise kann die Länge der Reifenaufstandsfläche zuverlässig bestimmt werden.

**[0028]** In einer Ausführungsform schließt das Verfahren ein, den zeitlichen Verlauf eines Ausgangssignals wenigstens eines Kraftsensorbalkens, der von einem Reifen des Fahrzeugs überrollt wird, auszuwerten, um die Radlast des Rades zu bestimmen. Insbesondere kann das Verfahren einschließen, markante Zeitpunkte und Kraftsignale im Signalverlauf zu analysieren und zur Bestimmung der Radlast zu verwenden. Auf diese Weise kann die Radlast des Rades zuverlässig bestimmt werden.

**[0029]** In einer Ausführungsform schließt das Verfahren ein, die Profiltiefe des Reifens zu messen und bei der Berechnung der Länge der Reifenaufstandsfläche zu berücksichtigen. Durch Messen und Berücksichtigen der aktuellen Profiltiefe des Reifens kann die Genauigkeit der Messung erhöht werden, da Fehler, die sich aus Abweichungen der Profiltiefe von einem vorgegebenen Wert ergeben, vermieden oder zumindest reduziert werden können.

**[0030]** In einer Ausführungsform schließt das Verfahren ein, die Längen der Reifenaufstandsflächen oder näherungsweise bestimmten Reifenfülldrucke von wenigstens zwei Reifen, insbesondere von Reifen, die auf einer gemeinsamen Achse montiert sind, miteinander zu vergleichen. Auf diese Weise kann die Gleichheit des Reifenfülldrucks mehrerer Reifen, insbesondere von mehreren Reifen, die auf einer ge-

meinsamen Achse montiert sind, überprüft und die Zuverlässigkeit der Messung erhöht werden.

#### Figurenbeschreibung

**[0031]** Die Erfindung wird im Folgenden anhand der beigefügten Figuren beschrieben:

**[0032]** Die [Fig. 1a](#) und [Fig. 1b](#) zeigen die Abhängigkeit der Länge der Reifenaufstandsfläche vom Reifenfülldruck und der Radlast für zwei verschiedene Reifentypen bei jeweils drei verschiedenen Radlasten.

**[0033]** Die [Fig. 2a](#) und [Fig. 2b](#) zeigen die Zusammenhänge zwischen dem Reifendruck und der Länge der Reifenaufstandsfläche für zwei verschiedene Radlasten für verschiedene Reifentypen und Reifenabmessungen.

**[0034]** Die [Fig. 3a](#) und [Fig. 3b](#) zeigen den empfohlenen Reifendruck von Fahrzeugen unterschiedlicher PKW-Fahrzeugklassen für unterschiedliche Beladungszustände.

**[0035]** [Fig. 3c](#) zeigt einen Klassifikator mit vier Zustandsklassen.

**[0036]** [Fig. 4](#) zeigt in einer schematischen Darstellung ein Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zur Prüfung des Reifenfülldrucks.

**[0037]** [Fig. 5](#) zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Überfahrrinne mit integrierter Prüfvorrichtung.

**[0038]** [Fig. 6](#) zeigt einen Prüfdeckel einer Überfahrrinne in der Aufsicht.

**[0039]** Die [Fig. 7a](#) und [Fig. 7b](#) zeigen eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Messanordnung mit einem von links nach rechts über einen Kraftsensorbalken rollenden Rad.

**[0040]** [Fig. 8](#) zeigt zwei Verläufe des Signals der gemessenen Kraft als Funktion der Zeit beim Rollen eines Fahrzeugrades über einen Kraftsensorbalken.

**[0041]** [Fig. 9](#) beschreibt die Analyse eines Signalverlaufs, wie er in der [Fig. 8](#) gezeigt ist.

**[0042]** [Fig. 10](#) zeigt die relative Änderung der Länge der Reifenaufstandsfläche bei maximal zulässigem Reifenprofilverschleiß in Bezug auf einen neuen Reifen als Funktion des Reifenfülldrucks.

**[0043]** [Fig. 11](#) zeigt den Reifenfülldruck als Funktion der Länge der Reifenaufstandsfläche für einen neuen Reifen und für einen Reifen mit maximal zulässig verschlissenen Reifenprofil.

**[0044]** Es ist bekannt, dass die Länge  $L$  der Reifenaufstandsfläche eines Reifens **2** vom Reifenfülldruck  $p$  des Reifens **2** und der Radlast  $F$ , die sich aus dem aktuellen Beladungszustand des Kraftfahrzeugs ergibt, abhängig ist. Die Charakteristik dieser Abhängigkeit variiert zwischen unterschiedlichen Reifentypen bzw. –bauarten. Die [Fig. 1a](#) und [Fig. 1b](#) zeigen diese Abhängigkeit beispielhaft für zwei verschiedene Reifentypen („165/70 R 14“ und „225/55 R 17 Run-flat“) bei jeweils drei verschiedenen Radlasten  $F$  von 2000 N, 2500 N bzw. 3000 N.

**[0045]** Betrachtet man die unterschiedlichen Reifentypen bei gleicher Radlast  $F$ , so ergibt sich eine Kurvenschar, die man durch eine geeignete Korrelationsfunktion approximieren kann.

**[0046]** In den [Fig. 2a](#) und [Fig. 2b](#) sind die Zusammenhänge zwischen dem Reifendruck  $p$  und der Länge  $L$  der Reifenaufstandsfläche für Radlasten  $F$  von 3500 N ([Fig. 2a](#)) bzw. 4000 N ([Fig. 2b](#)) beispielhaft für verschiedene Reifentypen und Reifenabmessungen dargestellt.

**[0047]** Für unterschiedliche Radlasten  $F$  erhält man so für die indirekte Berechnung des Reifendrucks  $p$  aus der gemessenen Länge  $L$  der Reifenaufstandsfläche verschiedene Korrelationsfunktionen. Wird beispielsweise eine lineare Korrelationsfunktion verwendet, stehen für eine konkret gemessene Radlast  $F_R$  zur Berechnung der Reifendrucks  $p_R$  aus der gemessenen Länge  $L_R$  der Reifenaufstandsfläche die Korrelationskoeffizienten  $A_i$  und  $B_i$  zur Verfügung:

$$p_R = A_i \cdot L_R + B_i \quad (1)$$

)

**[0048]** Man kann nun für mehrere Radlaststufen  $F_{Ri}$ , die z.B. einen Abstand von 250 N oder 500 N voneinander haben, die Korrelationskoeffizienten  $A_i$  und  $B_i$  bestimmen und in einer Radlast-Tabelle ablegen. Unter Verwendung der Korrelationskoeffizienten  $A_i$  und  $B_i$  kann man dann für jedes Rad **2** eines Kraftfahrzeuges durch Messen der Radlast  $F$  und der Länge  $L$  der Reifenaufstandsfläche den Reifendruck  $p$  näherungsweise bestimmen.

**[0049]** Bei einer manuellen Prüfung des Reifendrucks  $p$ , z.B. an einer Tankstelle, erfolgt die Bewertung der gemessenen Druckwerte durch Vergleichen mit den für das jeweilige Fahrzeug für die Räder **2** an der Vorderachse und an der Hinterachse vom Fahrzeughersteller vorgegebenen Reifendrücken  $p_{opt}$ . Dabei wird in der Regel zwischen einem teilbeladenen und einem vollbeladenen Fahrzeug unterschieden. Diese Angaben sind z.B. auf einem Aufkleber, der im Tankdeckel des Kraftfahrzeugs angebracht ist, enthalten.

**[0050]** Einem automatischen Messsystem stehen diese fahrzeugspezifischen Informationen für die Bewertung des Reifendrucks  $p$  nicht zur Verfügung, und eine allgemein gültige Methode für eine fahrzeugunabhängige Bewertung des Reifendrucks  $p$  war bisher nicht bekannt.

**[0051]** Um eine allgemein gültige Methode für eine fahrzeugunabhängige Bewertung des Reifendrucks  $p$  zu schaffen, haben die Erfinder ein breites Spektrum von Fahrzeugen unterschiedlicher PKW-Fahrzeugklassen bei unterschiedlichen Beladungszuständen hinsichtlich des empfohlenen Reifendrucks  $p$  analysiert. Die [Fig. 3a](#) und [Fig. 3b](#) zeigen die Ergebnisse für die Vorderachse ([Fig. 3a](#)) bzw. Hinterachse ([Fig. 3b](#)). Durch eine statistische Datenanalyse wurde eine lineare Korrelationsfunktion zwischen dem empfohlenen Reifendruck  $p_{opt}$  und der Radlast  $F$  erhalten. Diese Korrelationsfunktion ist in den [Fig. 3a](#) und [Fig. 3b](#) jeweils als Strich-Punkt-Linie dargestellt.

**[0052]** Aus den technischen Hinweisen der Reifenhersteller kann man entnehmen: Wenn der optimale Reifenfülldruck um nicht mehr als 12% unter- und nicht mehr als 18% überschritten wird, kann mit einem Kraftstoffmehrverbrauch von weniger als 1% und einer Reifen-Lebensdauer größer 95% gerechnet werden. Wenn der Reifendruck größere Abweichungen vom Optimalwert aufweist, sind ein überproportional höherer Kraftstoffverbrauch und eine überproportional verringerte Lebensdauer die Folge.

**[0053]** In den [Fig. 3a](#) und [Fig. 3b](#) sind die entsprechenden Grenzlinien für die beschriebenen und aus praktischen Erwägungen vertretbaren Druckabweichungen als durchgezogene Linien oberhalb und unterhalb der Korrelationsfunktion (Strich-Punkt-Linie) eingezeichnet. Um den näherungsweise berechneten Reifendruck  $p$  allgemein gültig zu bewerten, wird im einfachsten Fall auf diesen Grenzlinien ein zweidimensionaler Zustandsklassifikator aufgebaut. Reifendruck  $p$  und Radlast  $F$  stellen zwei Dimensionen des Zustandsklassifikators dar.

**[0054]** In der Praxis werden für jedes Rad **2** die Radlast  $F$  und die Länge  $L$  der Reifenaufstandsfläche mittels Analyse der Signale des Kraftmessbalkens **3** ermittelt und danach wird der Reifendruck  $p$  mit den entsprechenden, von der Radlast abhängigen Korrelationskoeffizienten  $A_i$  und  $B_i$  aus der Länge  $L$  der Reifenaufstandsfläche berechnet. Mit Hilfe des Klassifikators kann dann das betreffende Rad **2** mit diesen zwei Parametern einer Zustandsklasse  $Z_i$  des Reifendrucks  $p$  zugeordnet werden.

**[0055]** Beispielsweise werden vier Zustandsklassen eingeführt, deren Bezeichnung auch als Handlungsanweisung an den Fahrer formuliert ist:

Z1: Reifenfülldruck erhöhen – Sicherheitsrisiko: Ampelfarbe Rot  
 Z2: Reifenfülldruck prüfen – Erhöhter Kraftstoffverbrauch: Ampelfarbe Gelb  
 Z3: Reifenfülldruck in Ordnung: Ampelfarbe Grün  
 Z4: Reifenfülldruck prüfen – Erhöhter Reifenverschleiß: Ampelfarbe Gelb

**[0056]** Fig. 3c zeigt beispielhaft einen Klassifikator mit den beschriebenen vier Zustandsklassen Z1, Z2, Z3, Z4 für einen PKW. Es ist auch möglich, die Zustandsklassen Z1, Z2, Z3, Z4 anders zu definieren und/oder deren Anzahl zu verringern oder zu erhöhen. Beispielsweise sind für LKW und Busse spezifische Klassifikatoren vorzusehen. Für die Unterscheidung, ob die Klassifikatoren für PKW oder LKW und Busse zu verwenden sind, ist in der Mess- und Anzeigeeinheit 4 ein Entscheidungsalgorithmus auf Basis der gemessenen Radlasten (Anzahl und Betrag) vorhanden.

**[0057]** Für die Räder der Vorderachse und der Hinterachse können unterschiedliche Klassifikatoren verwendet werden. Die Entscheidung, welcher Klassifikator für welches Rad anzuwenden ist, ergibt sich aus der Reihenfolge der Überfahrt, d.h. den Rädern der ersten Überfahrt wird der Klassifikator der Vorderachse zugeordnet, den Rädern der zweiten Überfahrt der Klassifikator für die Hinterachse. Der Entscheidungsalgorithmus ist Bestandteil der Software in der Mess- und Anzeigeeinheit 4.

**[0058]** Fig. 4 zeigt eine mögliche Ausführungsform einer Vorrichtung 1 zum Prüfen des Reifenfülldrucks p mit wenigstens einem Kraftsensorbalken 3, der in oder auf einer Fahrbahn quer zur Fahrtrichtung R des Kraftfahrzeuges bzw. Ablaufrichtung des Reifens 2 angeordnet ist. Zu einer kompletten Vorrichtung 1 gehören mindestens zwei Kraftsensorbalken 3, einer für jede Fahrzeugseite, mit jeweils einer in Fahrtrichtung R des Kraftfahrzeuges sich erstreckenden Breite b. Die Kraftsensorbalken 3 sind über elektrische Verbindungskabel 9 oder drahtlos mit einer Mess- und Auswerteeinheit 4 verbunden. Die Mess- und Auswerteeinheit 4 ist über elektrische Verbindungskabel 9 oder drahtlos mit einer Anzeigeeinheit 6 und optional mit einem Server 8 verbunden.

**[0059]** Die Breite b der Kraftsensorbalken 3 in Fahrtrichtung R und die Messfrequenz  $f_m$  ist der Mess- und Auswerteeinheit 4 bekannt. Ebenso ist in der Mess- und Auswerteeinheit 4 eine Tabelle mit den zuvor beschriebenen radlastabhängigen Korrelationskoeffizienten  $A_i$ ,  $B_i$  gespeichert. Die Mess- und Auswerteeinheit 4 ist zur präzisen Erfassung und Speicherung der Signale, die während jeder Überfahrt eines Reifens 2 über die Kraftsensorbalken 3 von diesen ausgegeben werden, ausgebildet.

**[0060]** Die Mess- und Auswerteeinheit 4 ist mit einer Rechneinheit einer Speichereinheit und einer Auswertesoftware ausgestattet, um eine Analyse der Kraftsignalverläufe, eine Überprüfung der Plausibilität der Messergebnisse, eine Berechnung der Fahrgeschwindigkeit v, der Radlast F, der Länge L der Reifenaufstandsfläche und des Reifendrucks p jedes Reifens 2, eine Bewertung der relativen Abweichung der Längen L der Reifenaufstandsflächen oder der Reifenfülldrücke p der Reifen 2, die an einer gemeinsamen Achse montiert sind, sowie schließlich eine Klassifizierung des Reifenfülldrucks p in vordefinierte Zustandsklassen Z1, Z2, Z3, Z4 als abschließende Zustandsbewertung durchzuführen.

**[0061]** Die Mess- und Auswerteeinheit 4 steuert auch die Anzeigeeinheit 6, die zur Ausgabe der Prüfergebnisse vorgesehen ist, sowie optional die Übertragung der Prüfergebnisse an einen übergeordneten Server 8.

**[0062]** Die Messgenauigkeit, mit der die Bestimmung der Länge L der Reifenaufstandsfläche und der Radlast F möglich ist, wird durch die Messfrequenz  $f_m$ , der Überfahrgeschwindigkeit v und der Breite b des Kraftmessbalkens definiert. Um eine ausreichend hohe Messgenauigkeit zu erreichen, sollte die Breite b des Kraftmessbalkens größer 70 mm sein.

**[0063]** Um Fehlmessungen durch ein zufälliges Auslösen der Kraftmessung, beispielsweise durch über die Vorrichtung 1 laufende Personen, zu verhindern, kann die Mess- und Auswerteeinheit 4 mit einem Plausibilisierungsalgorithmus ausgestattet sein, der anhand des zeitlichen Verlaufs der Ausgangsdaten der Kraftsensorbalken 3 eine Unterscheidung zwischen einer Person und einem Fahrzeug vornimmt und so fehlerhafte Messergebnisse vermeidet.

**[0064]** In einer Ausführungsform ist die beschriebene Vorrichtung 1 um einen zusätzlichen Sensor oder Kontaktschalter 10 erweitert. Dieser zusätzliche Sensor 10 ist geeignet, ein auf die Vorrichtung 1 zufahrendes Fahrzeug zu erkennen. Der zusätzliche Sensor oder Kontaktschalter 10 ist mit der Mess- und Auswerteeinheit 4 verbunden und löst den Start der Mess- und Auswerteeinheit 4 kurz vor der Überfahrt eines Fahrzeuges über die Vorrichtung 1 aus.

**[0065]** In Fahrtrichtung R hinter den beiden Kraftsensorbalken 3 ist jeweils eine Vorrichtung 20 zum Messen der Profiltiefe des Reifens 2 angeordnet. Die Vorrichtungen 20 zum Messen der Profiltiefe können auch in Fahrtrichtung R vor den Kraftsensorbalken 3 angeordnet sein und sind optional, d. für die Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Bestimmung des Reifenfülldrucks nicht zwingend erforderlich. Die Verwendung der Ergebnisse einer Messung der Profiltiefe zur Verbesserung der Messergebnisse



se für den Reifenfülldruck wird weiter unten beschrieben.

**[0066]** Die Vorrichtung **1** kann zweckmäßigerweise in eine Überfahrrinne **12** integriert sein, wie sie aus dem Straßenbau bekannt und bewährt ist. Die [Fig. 5](#) zeigt ein Ausführungsbeispiel mit einer solchen Überfahrrinne **12** im Querschnitt. [Fig. 6](#) zeigt einen speziellen Deckel **14** für eine Überfahrrinne **12** mit einer darin integrierten Anordnung eines Kraftsensorbalkens **3** zur Messung der Länge  $L$  der Reifenaufstandsfläche und der Radlast auf einer Fahrzeugseite in der Aufsicht.

**[0067]** Die Kraftsensorbalken **3** werden jeweils in einer Aussparung des Deckels **14** der Überfahrrinne **12** montiert, so dass ihre Oberfläche je nach Ausführungsform des Kraftsensorbalkens **3** ggf. erst nach dem Absolvieren des Kraftanstiegs bündig zur Oberkante des Deckels **14** und damit zur Fahrbahnebene ist. Der Zwischenraum zwischen dem Deckel **14** und dem Kraftsensorbalken **3** ist umlaufend mit einem geeigneten Elastomer **16** mit ausreichender Schichtdicke ausgefüllt, um das Eindringen von Nässe, Staub und grobem Schmutz dauerhaft zu verhindern. Vorteilhaft ist es, einen Formschluss zwischen der Aussparung im Deckel **14** und dem Elastomer **16** sowie zwischen Elastomer **16** und dem Kraftsensorbalken **3** vorzusehen. Dazu können der Deckel **14** und der Kraftsensorbalken **3** mit einer entsprechenden Formgebung (z.B. Nut oder Rillen) versehen sein.

**[0068]** Die physikalischen Eigenschaften und die Schichtdicke des Elastomers **16** sind so zu bemessen, dass die Auslösekraft des Kraftsensorbalkens **3** ausreichend klein ist, um auch bei kleinen und leichten Fahrzeugen mit geringer Radlast  $F$  ein zuverlässiges Auslösen der Kraftsensorbalken **3** zu gewährleisten. Alternativ könnten die physikalischen Eigenschaften des Elastomers **16** in dem Algorithmus zur Bestimmung der Länge  $L$  der Reifenaufstandsfläche und der Radlast  $F$  mit einem Korrekturglied berücksichtigt werden.

**[0069]** Dazu kann eine Kalibrierung des Kraftsensorbalkens **3** am Schluss des Fertigungsprozesses durchgeführt werden. Das Ergebnis der Kalibrierung wird dann für jeden angeschlossenen Kraftsensorbalken **3** in der Mess- und Auswerteeinheit **4** gespeichert und bei der späteren Analyse der gemessenen Kraftsignalverläufe berücksichtigt.

**[0070]** In Fahrtrichtung  $R$  vor oder hinter dem Kraftsensorbalken **3** ist die Vorrichtung **20** zur Messung der Profiltiefe des Reifens **2** angeordnet.

**[0071]** Jede Aussparung im Deckel **14** ist mit einem Durchbruch **18** (z.B. einer Bohrung) zur Durchführung der elektrischen Verbindungskabel **9** vom Kraftsensorbalken **3** zur Mess- und Auswerteeinheit **4** ver-

sehen. Diese kann ebenfalls in die Überfahrrinne **12** integriert sein. Eine Montage der Mess- und Auswerteeinheit **4** an der Seitenwand **13** der Überfahrrinne **12** schützt die Mess- und Auswerteeinheit **4** z.B. vor Stauwasser, das sich am Boden der Überfahrrinne **12** ansammelt.

**[0072]** Die [Fig. 7a](#) und [Fig. 7b](#) zeigen eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Messanordnung mit einem von links nach rechts über den Kraftsensorbalken **3** rollenden Rad bzw. Reifen **2**.

**[0073]** Zum Zeitpunkt  $t_1$  berührt der Reifen **2** mit der Vorderkante seiner Reifenaufstandsfläche zum ersten Mal den Kraftsensorbalken **3**, zum Zeitpunkt  $t_2$  berührt der Reifen **2** mit seiner Reifenaufstandsfläche erstmalig den gesamten Kraftsensorbalken **3**. Zum Zeitpunkt  $t_3$  berührt der Reifen **2** letztmalig mit seiner Reifenaufstandsfläche den gesamten Kraftsensorbalken **3** und zum Zeitpunkt  $t_4$  berührt die Hinterkante der Reifenaufstandsfläche letztmalig den Kraftsensorbalken **3**.

**[0074]** In [Fig. 8](#) sind beispielhaft zwei Verläufe des Signals für die gemessene Kraft ( $y$ -Achse) als Funktion der Zeit ( $x$ -Achse) beim Rollen eines Fahrzeuges **2** über einen Kraftsensorbalken **3** dargestellt, wobei aus unterschiedlichen Reifenfülldrücken  $p$  des Reifens **2** unterschiedliche Längen  $L$  der Reifenaufstandsfläche resultieren.

**[0075]** Die Auswertung eines solchen Signalverlaufs wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die [Fig. 9](#) beschrieben:

In einem ersten Auswerteschritt wird der Signalverlauf im Hinblick auf markante Zeitpunkte analysiert. Wenn der Reifen zum Zeitpunkt  $t_1$  den Kraftsensorbalken **3** erstmals berührt (Beginn des Kraftanstiegs  $Fr_1$ ) erfolgt eine erste Zeitmessung. Eine zweite Zeitmessung folgt, wenn der Kraftverlauf zum Zeitpunkt  $t_2$  in eine konstante, maximale Kraft  $F_{\max}$  übergeht, d.h. wenn der Reifen **2** den Weg der Balkenbreite  $b$  zurückgelegt hat und über die gesamte Breite  $b$  des Kraftsensorbalkens **3** auf diesem aufliegt. Weitere Zeitmessungen werden vorgenommen, wenn der hintere Bereich der Reifenaufstandsfläche den Kraftsensorbalken **3** wieder verlässt (Zeitpunkt  $t_3$ ), erkennbar am Übergang von der konstanten Kraft zum Kraftabfall  $Fr_2$ , und wenn der Reifen **2** den Kraftsensorbalken **3** letztmalig berührt (Zeitpunkt  $t_4$ ) und die gemessene Kraft  $F$  wieder gleich dem Ausgangswert ist, der gemessen worden ist, bevor der Reifen **2** den Kraftsensorbalken **3** erstmals berührt hat ( $t < t_1$ ).

**[0076]** Für jeden Reifen **2** ergeben sich somit vier Zeitpunkte  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$ , deren zeitlichen Abstände (Zeitdifferenzen) als Grundlage für die weiteren Berechnungen ausgewertet werden. Bereits drei Zeitpunkte  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  wären für die folgende Auswertung ausreichend.

**[0077]** Unter der Annahme, dass die Kraftmessungen periodisch mit einer konstanten Messfrequenz  $f_m$  als bekannter Zeitbasis durchgeführt werden, kann die Anzahl  $Nr_1$ ,  $Nm$ ,  $Nr_2$  der Messwerte zwischen den zuvor identifizierten Zeitpunkten  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$  automatisch ermittelt werden.

**[0078]**  $Nr_1$  und  $Nr_2$  geben jeweils die Anzahl der Messwerte während des Kraftanstiegs ( $t_1 < t < t_2$ ) bzw. während des Kraftabfalls ( $t_3 < t < t_4$ ) an.  $Nm$  gibt die Anzahl der Messwerte bei maximaler Kraft  $F_{\max}$  (Anstieg ist null) an ( $t_2 \leq t \leq t_3$ ).

**[0079]** Mit der bekannten Balkenbreite  $b$  können aus diesen Werten die Überfahrgeschwindigkeit  $v$ , die Länge  $L_R$  der Reifenaufstandsfläche und die Radlast  $F_R$  berechnet werden:

$$v = b \cdot f_m / Nr_1 \quad (2)$$

$$L_R = v \cdot (Nr_1 + Nm) / f_m \quad (3)$$

$$F_R = F_{\max} \cdot L_R / b \quad (4)$$

**[0080]** Analog kann anstelle von  $Nr_1$  auch  $Nr_2$  verwendet werden. Werden die Werte für  $v$ ,  $L_R$  und  $F_R$  sowohl aus  $Nr_1$  als auch aus  $Nr_2$  berechnet, ergibt sich eine Überbestimmung. Eine solche Überbestimmung bietet die Möglichkeit, die Genauigkeit zu erhöhen. Zusätzlich bietet die Überbestimmung die Möglichkeit, die Ergebnisse zu korrigieren, etwa indem mögliche Geschwindigkeitsänderungen durch Beschleunigen oder Bremsen beim Überfahren des Kraftsensorbalkens **3** erkannt und berücksichtigt werden, wodurch ebenfalls die Genauigkeit gesteigert wird.

**[0081]** Zusätzlich kann die Messung mit einer entsprechenden Meldung an den Fahrzeugführer als ungültig ausgewiesen werden, wenn die Änderungen der Geschwindigkeit einen vorgegebenen Grenzwert überschreiten und eine sinnvolle Auswertung der Messergebnisse nicht mehr möglich ist.

**[0082]** Die obigen Berechnungsformeln (2), (3) und (4) gelten nur, solange die Breite  $b$  des Kraftsensorbalkens **3** kleiner als die Länge  $L$  der Reifenaufstandsfläche ist. Anderenfalls wird die maximale Kraft  $F_{\max}$  gemessen, bevor der gesamte Kraftsensorbalken **3** vollständig von der Vorderkante der Reifenaufstandsfläche des Reifens **2** überfahren worden ist, und der von dem Reifen **2** zurückgelegte Weg ist unbestimmt.

**[0083]** Während der Reifendruckprüfung fährt das Fahrzeug zuerst mit dem Vorderreifen **2** und dann mit dem Hinterreifen **2** über den Kraftsensorbalken **3**. Damit können mit einer Vorrichtung **1** die Längen  $L$  der Reifenaufstandsflächen und die Radlasten  $F$  al-

ler Räder **2** eines Fahrzeugs nahezu gleichzeitig bestimmt werden.

**[0084]** Wie bereits beschrieben, kann man für die an einem Rad **2** gemessene Radlast  $F_R$  aus der Radlast-Tabelle die entsprechenden Korrelationskoeffizienten  $A_i$  und  $B_i$  entnehmen und mit diesen Korrelationskoeffizienten und der wie zuvor beschrieben ermittelten Länge  $L_R$  der Reifenaufstandsfläche den Reifendruck  $p_i$  des Rades **2** näherungsweise berechnen:

$$p_R = A_i \cdot L_R + B_i \quad (5)$$

**[0085]** Wenn die gemessene Radlast  $F_R$  zwischen zwei in der Tabelle abgelegten Radlaststufen  $F_{Rn}$  und  $F_{R(n+1)}$  liegt, werden die Korrelationskoeffizienten  $A_i$  und  $B_i$  durch Interpolation zwischen den benachbarten Korrelationskoeffizienten  $A_n$  und  $A_{(n+1)}$  sowie  $B_n$  und  $B_{(n+1)}$  ermittelt. In einen nichtlinearen Interpolationsprozess können alternativ auch die Korrelationskoeffizienten mehrerer benachbarter Radlaststufen, z.B.  $A_{(n-1)}$ ,  $A_n$ ,  $A_{(n+1)}$  und  $A_{(n+2)}$  sowie  $B_{(n-1)}$ ,  $B_n$ ,  $B_{(n+1)}$  und  $B_{(n+2)}$ , in den Interpolationsprozess einbezogen werden.

**[0086]** Mit dem auf diese Weise näherungsweise berechneten Reifendruck  $p_R$  und der näherungsweise bestimmten Radlast  $F_R$  kann mit Hilfe eines zuvor im Zusammenhang mit der [Fig. 3c](#) beschriebenen Zustandsklassifikators der Reifendruck  $p$  vom Messsystem im Sinne einer Diagnose ausgewertet und bewertet werden.

**[0087]** In weitergehenden Untersuchungen an unterschiedlichen Reifentypen und Reifenabmessungen wurde der Einfluss der Profiltiefe auf die Länge  $L$  der Reifenaufstandsfläche bei unterschiedlichen Reifendrücken  $p$  und Radlasten  $F$  untersucht.

**[0088]** Es ist festzustellen, dass sich die Länge  $L$  der Reifenaufstandsfläche mit zunehmendem Reifenverschleiß, d.h. abnehmender Profiltiefe, bei gleichem Reifendruck  $p$  und gleicher Radlast  $F$  verringert. In [Fig. 10](#) ist die relative Änderung  $\Delta L$  (y-Achse) der Länge der Reifenaufstandsfläche bei maximal zulässigem Reifenverschleiß (minimal zulässiger Profiltiefe) bezogen auf den Neureifen als Funktion des Reifenfülldrucks  $p$  (x-Achse) dargestellt.

**[0089]** Die relative Änderung  $\Delta L$  der Länge der Reifenaufstandsfläche wird hier als Mittelwert von mehreren unterschiedlichen Reifen **2** und zusätzlich als Mittelwert aus jeweils mehreren Radlaststufen dargestellt. Die Mittelung der Radlaststufen wurde gewählt, weil der Einfluss der Radlast auf die Änderung  $\Delta L$  der Länge der Reifenaufstandsfläche deutlich geringer als der Einfluss des Reifendrucks  $p$  ist.



**[0090]** In [Fig. 10](#) wird daher die dominierende Abhängigkeit der verschleißbedingten Änderung  $\Delta L$  der Länge der Reifenaufstandsfläche vom Reifendruck  $p$  dargestellt. Demnach wird die Länge  $L$  der Reifenaufstandsfläche bis zu 10% von der Profiltiefe bzw. dem Reifenverschleiß beeinflusst. [Fig. 10](#) zeigt, dass die Genauigkeit der zuvor beschriebenen indirekten Reifendruckprüfung durch eine Berücksichtigung der Profiltiefe erheblich verbessert werden kann.

**[0091]** [Fig. 11](#) unterstreicht dieses Verbesserungspotenzial am Beispiel eines untersuchten Reifens. In der [Fig. 11](#) sind bei gleich bleibender Radlast  $F$  der Reifenfülldruck  $p$  (y-Achse) als Funktion der Länge  $L$  der Reifenaufstandsfläche (x-Achse) für einen Neureifen (rechte Kurve) und einen bis an die Zulässigkeitsgrenze verschlissenen Reifen (linke Kurve) dargestellt.

**[0092]** Die näherungsweise Berechnung des Reifendrucks  $p$  aus der gemessenen Länge  $L$  der Reifenaufstandsfläche und der Radlast  $F$  würde im vorliegenden Beispiel bei Verwendung der Korrelationskoeffizienten eines Neureifens für einen verschlissenen Reifen einen um 0,2 bis 0,5 bar überhöhten Reifendruck  $p$  ergeben. Dies kann durch die erfindungsgemäße Messung des Reifenprofils und der Korrektur der gemessenen Länge  $L$  der Reifenaufstandsfläche auf der Grundlage des gemessenen Reifenprofils vermieden werden.

**[0093]** Ein erweitertes Prüfverfahren umfasst daher zusätzlich die Messung der Profiltiefe an jedem Reifen. Dazu wird eine bekannte Profiltiefen-Messeinrichtung verwendet, die als solche nicht Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist.

**[0094]** Als zusätzlicher Schritt wird die gemessene Länge  $L$  der Reifenaufstandsfläche mit der gemessenen Profiltiefe korrigiert und die zuvor beschriebene näherungsweise Berechnung des Reifendrucks  $p$  ausgehend von der korrigierten Länge der Reifenaufstandsfläche durchgeführt.

**[0095]** Dieser Schritt umfasst die folgenden Teilschritte, wobei der im bisherigen Verfahren gemäß Formel (5) berechnete Reifendruck  $p_R$  als vorläufiger Reifendruck  $p_{RV}$  bezeichnet wird:  
Mit dem vorläufigen Reifendruck  $p_{RV}$  wird eine verschleißbedingte Änderung  $dL$  Länge  $L$  der Reifenaufstandsfläche berechnet. Dazu wird der statistische Zusammenhang zwischen dem Reifendruck  $p$  und einer mittleren Änderung  $dL$  Länge  $L$  der Reifenaufstandsfläche je mm Profilververschleiß in Form einer Korrelationsfunktion genutzt. Dieser Zusammenhang lässt sich aus den Daten des in [Fig. 10](#) dargestellten Zusammenhangs ableiten.

**[0096]** Für PKW-Sommerreifen sieht die Korrekturrechnung beispielsweise wie folgt aus:

$$dL = 0,3 \cdot p_{RV} + 0,97 \quad (6)$$

**[0097]** Für Winterreifen sind in der Regel andere Korrelationskoeffizienten zu verwenden.

**[0098]** Im nächsten Teilschritt wird die korrigierte Länge  $L_{RK}$  der Reifenaufstandsfläche aus der gemessenen Länge  $L_R$  der Reifenaufstandsfläche, der Längenkorrektur  $dL$  und der gemessenen Profiltiefe  $T_R$  wie folgt berechnet:

$$L_{RK} = L_R + (T_{\max} - T_R) \cdot dL \quad (7)$$

**[0099]** Dabei ist  $T_{\max}$  die maximale Profiltiefe eines neuen Reifens. Auch hier sind für Sommer- und Winterreifen in der Regel unterschiedliche Werte zu verwenden.

**[0100]** Anschließend wird der gültige Reifendruck  $p_{RK}$ , wie zuvor beschrieben (siehe Formel (5)), mit der korrigierten Länge  $L_{RK}$  der Reifenaufstandsfläche berechnet:

$$p_{RK} = A_i \cdot L_{RK} + B_i \quad (8)$$

**[0101]** Dann wird das bisher beschriebene Verfahren fortgeführt und mit dem näherungsweise berechneten Reifendruck  $p_{RK}$  und der näherungsweise bestimmten Radlast  $F_R$  wird mit Hilfe des oben beschriebenen Zustandsklassifikators der Reifendruck im Sinne einer Diagnose vom Messsystem bewertet.

**[0102]** Die Erweiterung des Verfahrens um eine Profiltiefenmessung bedarf keiner Änderung des zuvor beschriebenen Zustandsklassifikators.

**[0103]** Für die erweiterte Variante mit Profiltiefenmessung und Korrektur der Länge der Reifenaufstandsfläche sind zur Ermittlung der Korrelationskoeffizienten  $A_i$  und  $B_i$  zur Berechnung des Reifendrucks nur Neureifen zu verwenden. D.h. es ist in diesem Fall eine andere Radlast-Tabelle mit entsprechenden Korrelationskoeffizienten zu verwenden. Dies gilt ebenso für die Radlasttabellen für LKW und Busse.

**[0104]** Die Eingrenzung auf Neureifen reduziert einerseits den Aufwand zur Ermittlung der Radlast-Tabellen und trägt andererseits zu einer Verbesserung der Genauigkeit des näherungsweise berechneten Reifenfülldrucks bei.

**[0105]** Ein weiteres Prüfkriterium für den Reifenfülldruck  $p$  stellt die Forderung der Reifen- und Fahrzeughersteller dar, dass die Fülldrücke  $p$  aller Reifen **2** einer Achse gleich sein müssen, wogegen die Fülldrücke  $p$  der Reifen **2** zwischen Vorder- und Hinterachse durchaus differieren dürfen. Da bei einem eventuellen Reifenwechsel während der Fahrzeugnutzung auf einer Achse immer Reifen **2** des gleichen

Typs montiert werden, ergibt sich aus der Messung der Länge  $L$  der Reifenaufstandsfläche bzw. der näherungsweise berechneten Reifenfülldrücke  $p$  eine zusätzliche Möglichkeit, Differenzen des Reifenfülldrucks  $p$  zwischen dem linken und dem rechten Reifen **2** einer Achse mit relativ hoher Genauigkeit festzustellen.

**[0106]** Bei einer solchen Relativprüfung entfällt der Bedarf einer genauen Kenntnis der Beziehung zwischen der Länge  $L$  der Reifenaufstandsfläche und dem Reifenfülldruck  $p$ . Die relative Differenz  $\Delta LR$  zwischen den Längen  $L$  der Reifenaufstandsflächen der beiden an einer Achse montierten Reifen **2** oder die relative Differenz  $\Delta p$  zwischen den beiden Reifenfülldrücken  $p$  der Reifen **2** einer Achse darf einen definierten Grenzwert von  $x\%$  des kleineren der beiden Werte nicht überschreiten. Alternativ kann sich dieser Grenzwert auch auf den größeren der beiden Werte oder auf den Mittelwert beziehen.

**[0107]** Ausgehend von den vorherigen Darlegungen zur Ableitung der Grenzlinien für den „Reifenfülldruck i. O.“ in **Fig. 3** und unter Beachtung der Ergebnisse mit sehr unterschiedlichen Reifen **2** in **Fig. 2** sollte die relative Differenz  $\Delta LR$ ,  $\Delta p$  zwischen dem linken und rechten Reifen **2** nicht größer als 5% bis 8% sein.

**[0108]** Ein Verfahren zur indirekten Prüfung des Reifendrucks an einer Fahrzeugachse umfasst in der erweiterten Variante die folgenden Verfahrensschritte:

1. Erfassen und Speichern der Messkraft eines Kraftsensorbalkens **3** mit konstanter Messfrequenz  $f_m$  sowie der Profiltiefe beim Überrollen mit jeweils einem Rad **2** auf beiden Fahrzeugseiten (mit jeweils einem Kraftsensorbalken **3**).
2. Analyse des zeitlichen Verlaufs des Messkraftsignals von beiden Rädern zur Bestimmung der Anzahl der Messwerte für den Kraftanstieg ( $N_{r1}$ ), der Anzahl der Messwerte mit maximaler Messkraft ( $F_{max}$ ) sowie ggf. der Anzahl der Messwerte für den Kraftabfall ( $N_{r2}$ ).
3. Bestimmen der Geschwindigkeit  $v$ , der Länge  $L_R$  der Reifenaufstandsfläche und der Radlast  $F_R$  für jedes Rad **2** bei bekannter Sensorbreite  $b$  und bekannter Messfrequenz  $f_m$ .
4. Prüfen der Plausibilität der Messung für jedes Rad **2**, ggf. Korrektur der berechneten Werte oder Abbruch der Reifendruckprüfung und Ausgabe „Fehlmesung“.
5. Berechnen des vorläufigen Reifendrucks  $P_{RV}$  mittels der radlastabhängigen Korrelationskoeffizienten  $A_i$ ,  $B_i$  von Neureifen für jedes Rad **2**.
6. Korrigieren der gemessenen Länge  $L_R$  der Reifenaufstandsfläche mit der gemessenen Profiltiefe und näherungsweise Berechnung des Reifendrucks  $p_{RK}$  für jedes Rad **2**.
7. Bestimmen der relativen Differenz  $\Delta LR$  bzw.  $\Delta p$  der korrigierten Längen  $L_{RK}$  der Reifenauf-

standsflächen oder der näherungsweise berechneten Reifendrücke  $p_{RK}$  zwischen den Rädern **2** einer Achse und Vergleich der Differenz mit einem vordefinierten Grenzwert.

7a. Ist die berechnete Differenz kleiner oder gleich dem Grenzwert, dann ist das Ergebnis in Ordnung.

7b. Ist die berechnete Differenz größer als der Grenzwert, dann wird das Rad mit der längeren Reifenaufstandsfläche oder dem geringeren Reifendruck  $p$  der Zustandsklasse Z2: „Reifenfülldruck prüfen – Erhöhter Kraftstoffverbrauch: Ampelfarbe Gelb“ zugeordnet.

8. Zuordnen jedes Rades **2** der Fahrzeugachse anhand der gemessenen Radlast  $F$  und des näherungsweise berechneten Reifendrucks  $p$  mittels Klassifikator zu einer von z.B. vier Zustandsklassen Z1, Z2, Z3, Z4 und damit Bewertung des Reifendrucks  $p_{RK}$  jedes einzelnen Rades **2**.

8a. Wurde das Rad bereits aufgrund der Differenz zwischen den Längen der Reifenaufstandsflächen oder der Differenz der Reifenfülldrücke an einer Achse der Zustandsklasse Z2: „Reifenfülldruck prüfen – Erhöhter Kraftstoffverbrauch: Ampelfarbe Gelb“ zugeordnet, so wird diese Zustandsklasse nur dann überschrieben, wenn der Klassifikator für dieses Rad die Zustandsklasse Z1: „Reifenfülldruck erhöhen – Sicherheitsrisiko: Ampelfarbe Rot“ ermittelt.

9. Optische Anzeige der Prüfergebnisse jedes Rades für den Fahrer:

Reifenfülldruck und/oder Klartext der Bezeichnung der ermittelten Zustandsklasse und/oder der an die Zustandsklasse gekoppelten Ampelfarbe

Optionale Anzeige der Radlast.

10. Optionale Übertragung der Messdaten und Ergebnisse an einen Server.

**[0109]** Die Verfahrensschritte für ein zweiachsiges Fahrzeug umfassen die oben beschriebenen Verfahrensschritte 1 bis 8 für die Vorderachse und unmittelbar daran anschließend die gleichen Verfahrensschritte 1 bis 8 für die Hinterachse. Die Verfahrensschritte 9 und 10 werden für alle Räder des Fahrzeuges gleichzeitig ausgeführt.

**[0110]** Zusätzlich kann an der Anzeigeeinheit auch die Profiltiefe und/oder eine an die Bewertung der Profiltiefe gekoppelte Ampelfarbe für jeden Reifen angezeigt werden. Die Bewertung der Profiltiefe erfolgt dabei mit der gesetzlich vorgegeben Mindestprofiltiefe und einem definierten Wert für die Warnung vor stark abgenutzten Reifen mit nur noch geringer Restnutzungsdauer. Unterschreitet die gemessene Profiltiefe den Warnwert, dann wird die Ampelfarbe „Gelb“, bei Unterschreiten der Mindestprofiltiefe wird die Ampelfarbe „Rot“ und sonst die Ampelfarbe „Grün“ ausgegeben.

**[0111]** Wird das Verfahren ohne die Profiltiefenkorrektur vorgenommen, so entfallen im Schritt **1** die Erfassung und Speicherung der Profiltiefe und der Schritt **6** „Korrigieren der Länge L der Reifenaufstandsfläche“.

## ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

### Zitierte Patentliteratur

- FR 2852907 A3 [0008]
- JP 3141838 U [0008]
- DE 19630015 A1 [0008]
- US 2008/0133081 A1 [0008]
- EP 656269 A1 [0009]
- EP 695935 A1 [0009]
- WO 2008/034411 A1 [0009]
- US 5396817 [0012]
- EP 892259 A1 [0012]
- WO 1998/052008 A1 [0014]
- DE 19705047 A1 [0015]
- US 2009/0290757 [0016]
- EP 1305590 A1 [0017]

**Patentansprüche**

1. Verfahren zum Prüfen des Fülldrucks (p) in einem Reifen (2) eines rollenden Fahrzeugs, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren einschließt:

- die Länge (L) einer Reifenaufstandsfläche in Fahrtrichtung (R) zu bestimmen,
- die Radlast (F) des Rades (2) zu bestimmen, und
- aus der Länge (L) der Reifenaufstandsfläche und der Radlast (F) auf den Fülldruck (p) in dem Reifen (2) zu schließen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Verfahren einschließt, zu bestimmen, ob sich der Fülldruck (p) in dem Reifen (2) in einem vorgegebenen Bereich befindet.

3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Verfahren einschließt, eine von der Radlast (F) abhängige Korrelationsfunktion, die eine Beziehung zwischen der Länge (L) der Reifenaufstandsfläche und dem Reifenfülldruck (p) herstellt, zu verwenden, und wobei das Verfahren insbesondere einschließt, von der Radlast (F) abhängige, vorab gespeicherte Korrelationskoeffizienten ( $A_i$ ,  $B_i$ ) zu verwenden.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Verfahren einschließt, das Ausgangssignal wenigstens eines Kraftsensorbalkens (3), der von einem Reifen (2) des Fahrzeugs überrollt wird, auszuwerten, um die Länge (L) der Reifenaufstandsfläche in Fahrtrichtung (R) und/oder die Radlast (F) des Rades (2) zu bestimmen.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei das Verfahren einschließt, markante Zeitpunkte ( $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$ ) im Verlauf des Ausgangssignals zu identifizieren und zur Bestimmung der Länge (L) der Reifenaufstandsfläche zu verwenden.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, wobei das Verfahren einschließt, die maximale Kraft ( $F_{\max}$ ) im Verlauf des Ausgangssignals zu identifizieren und zur Bestimmung der Radlast (F) zu verwenden.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Verfahren einschließt, die Längen (L) der Reifenaufstandsflächen und/oder die Reifenfülldrücke (p) von wenigstens zwei Reifen (2), insbesondere von wenigstens zwei auf derselben Achse montierten Reifen (2), miteinander zu vergleichen.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Verfahren einschließt, die Profiltiefe des Reifens (2) zu messen und bei der Berechnung der Länge (L) der Reifenaufstandsfläche zu berücksichtigen.

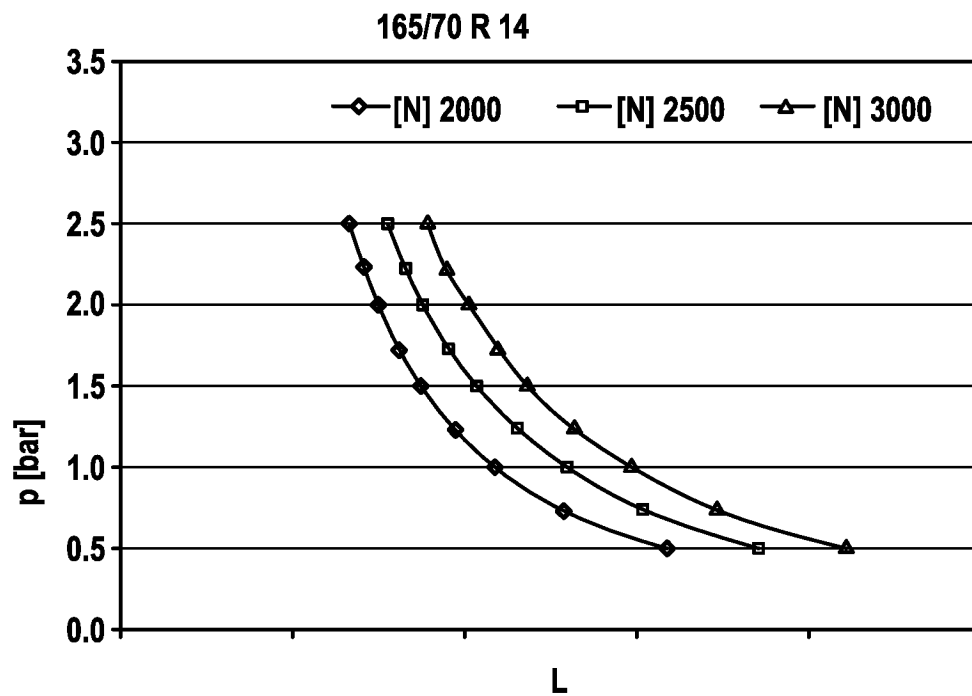
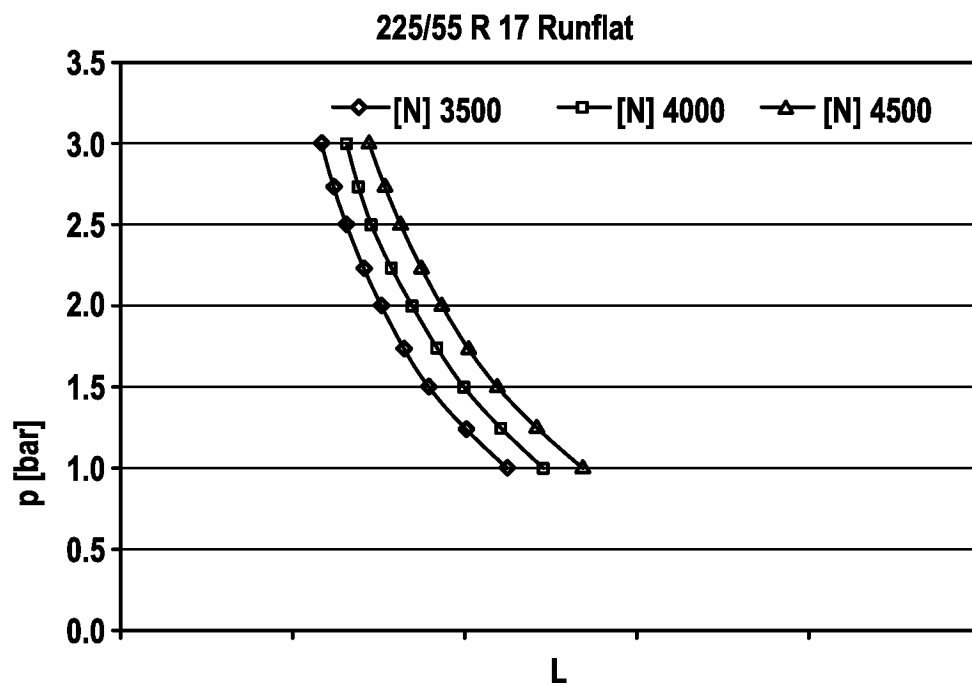
9. Vorrichtung (1) zum Prüfen des Fülldrucks (p) in einem Reifen (2) eines über eine Messplatzebene rollenden Fahrzeugs, wobei die Vorrichtung (1) wenigstens einen quer zur Laufrichtung des Reifens (2) ausgerichteten Kraftsensorbalken (3) und eine Auswerteeinheit (4) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass

- der Kraftsensorbalken (3) ausgebildet ist, ein Ausgangssignal an die Auswerteeinheit (4) auszugeben, das eine Funktion der insgesamt auf den Kraftsensorbalken (3) einwirkenden Last ist, und dass
- die Auswerteeinheit (4) ausgebildet ist, aus einem zeitlichen Verlauf des Ausgangssignals des Kraftsensorbalkens (3), das dieser beim Überrollen mit dem Reifen (2) an die Auswerteeinheit (4) ausgibt, auf den Fülldruck (p) in dem Reifen (2) zu schließen.

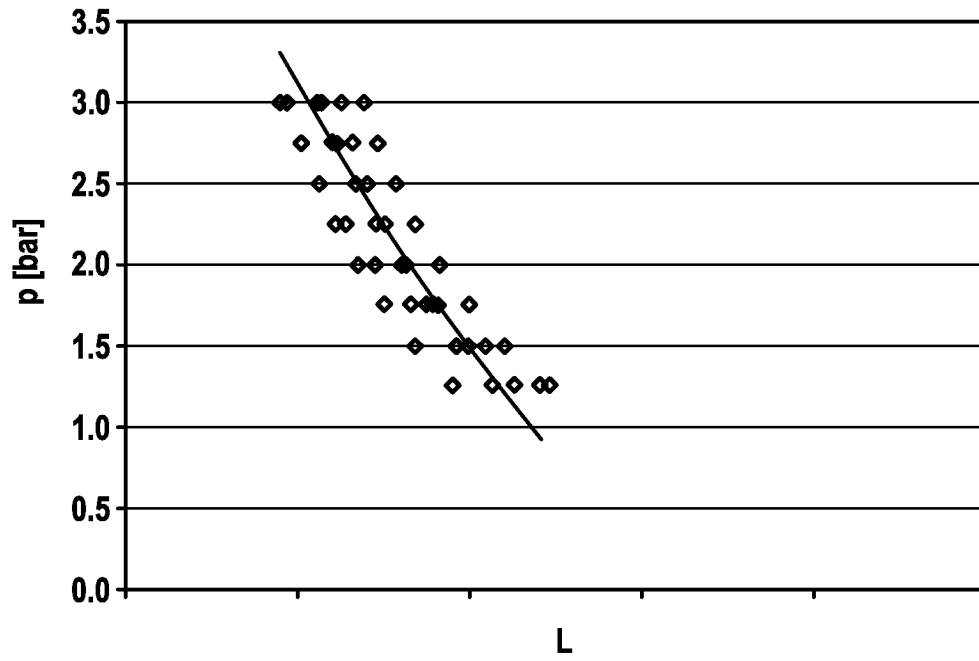
10. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1, wobei der Kraftsensorbalken (3) eine bekannte Breite (b) aufweist.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen

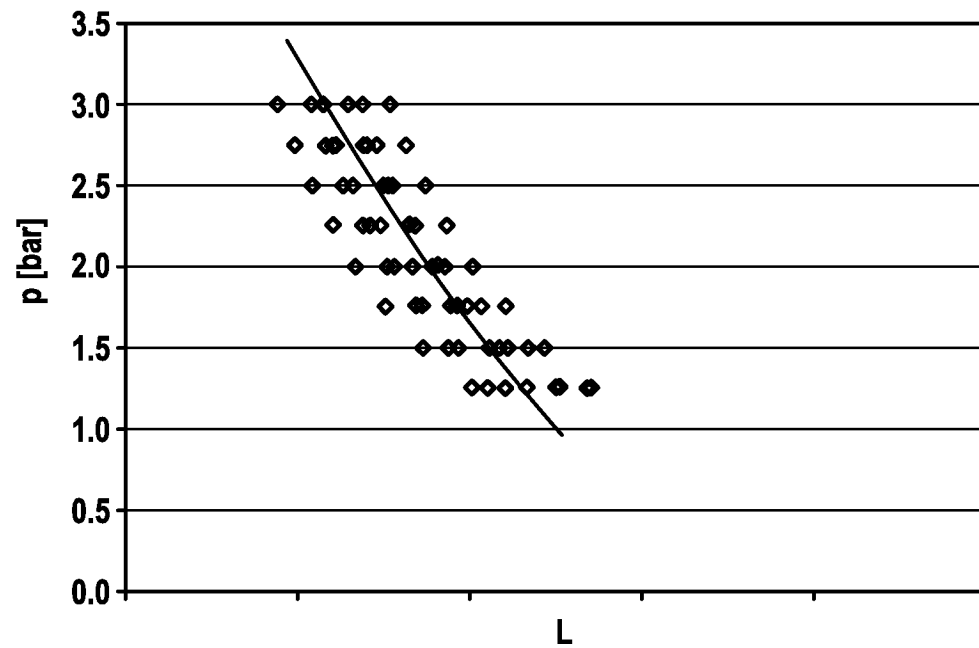


**Fig. 1a****Fig. 1b**

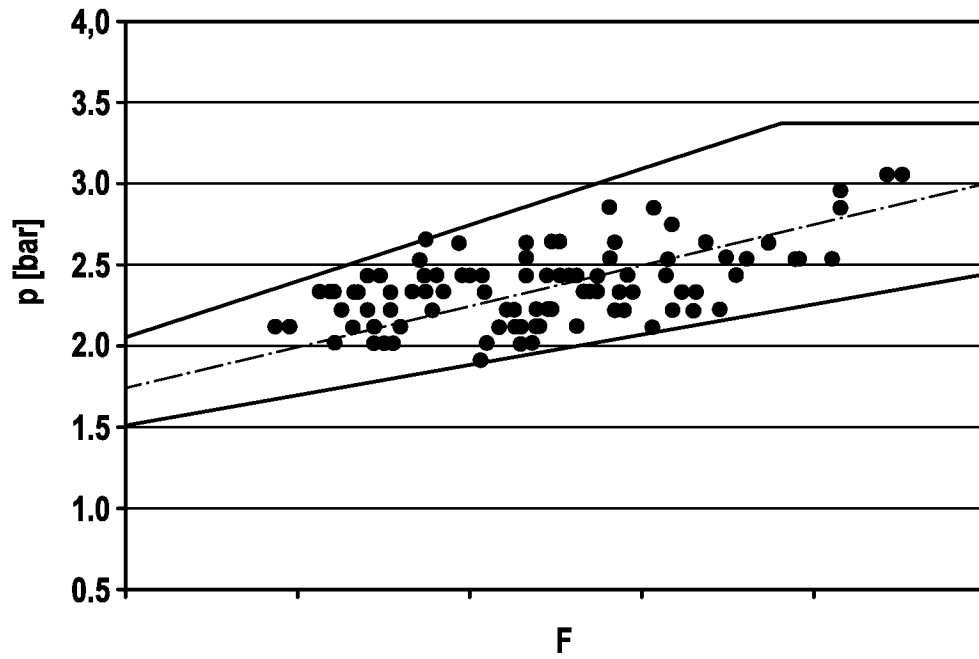
**Fig. 2a**



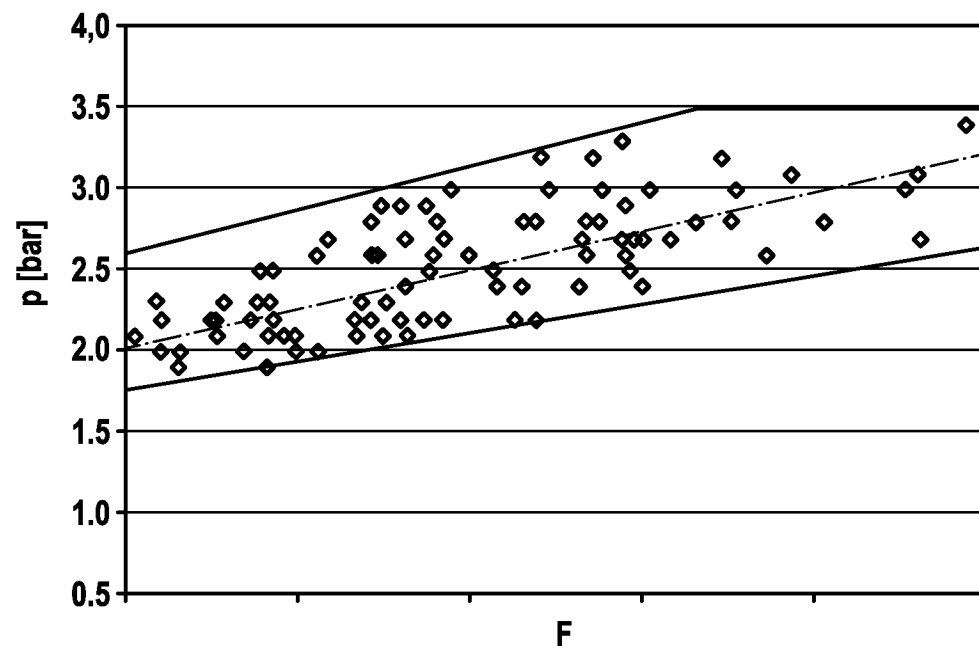
**Fig. 2b**



**Fig. 3a**



**Fig. 3b**



**Fig. 3c**

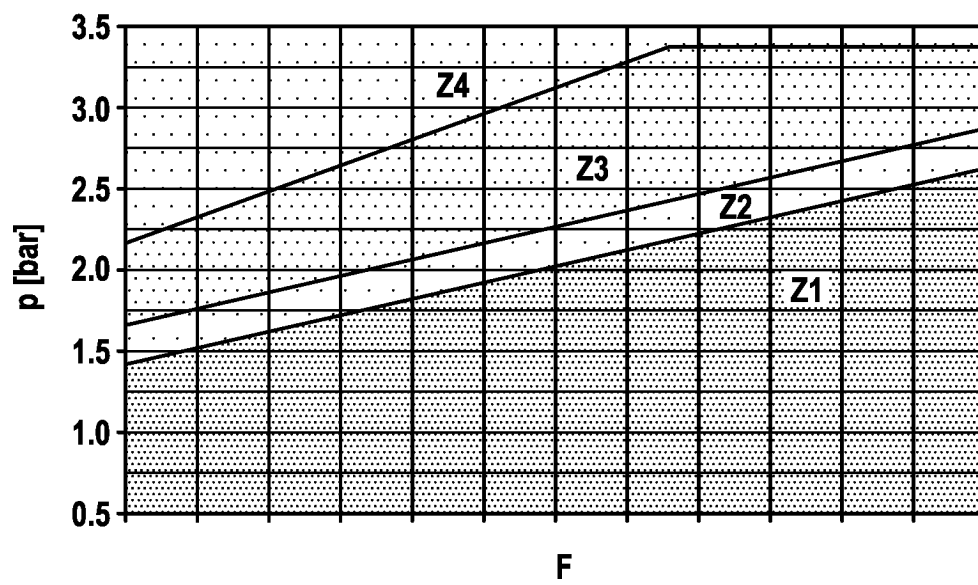
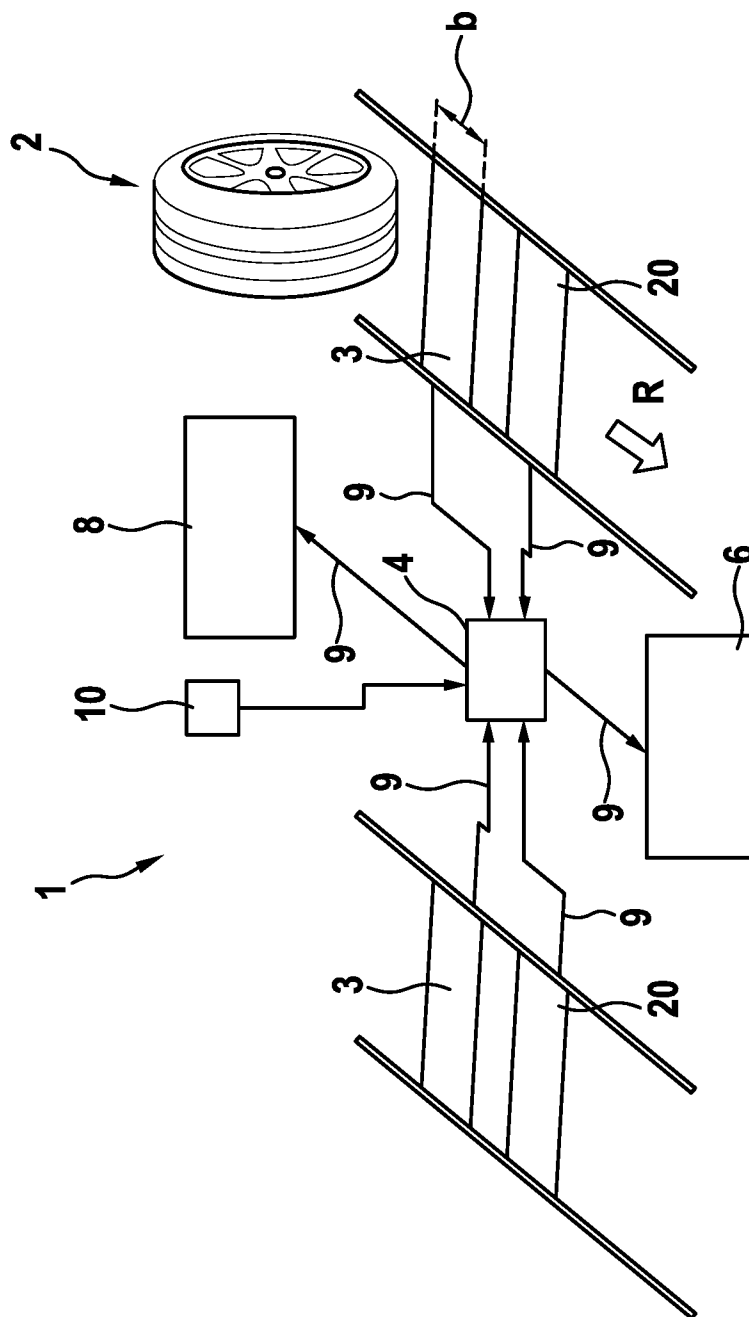
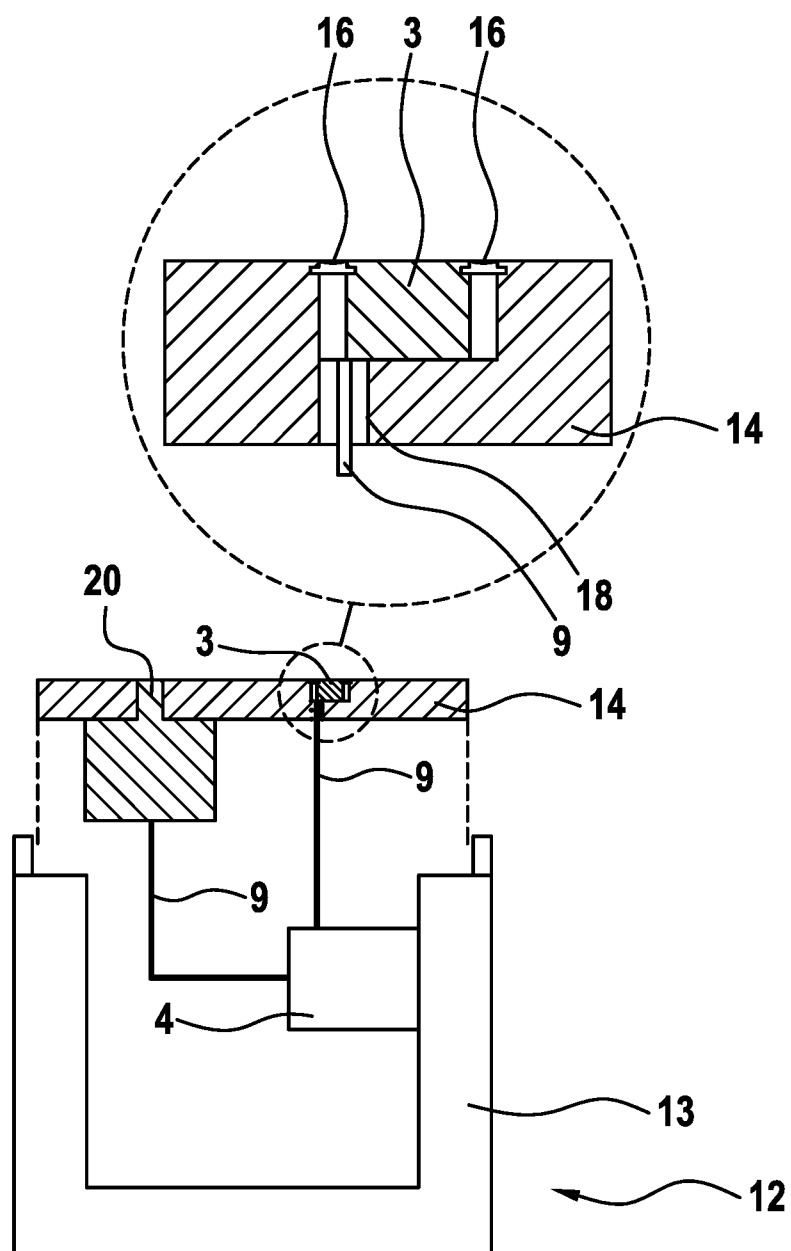


Fig. 4

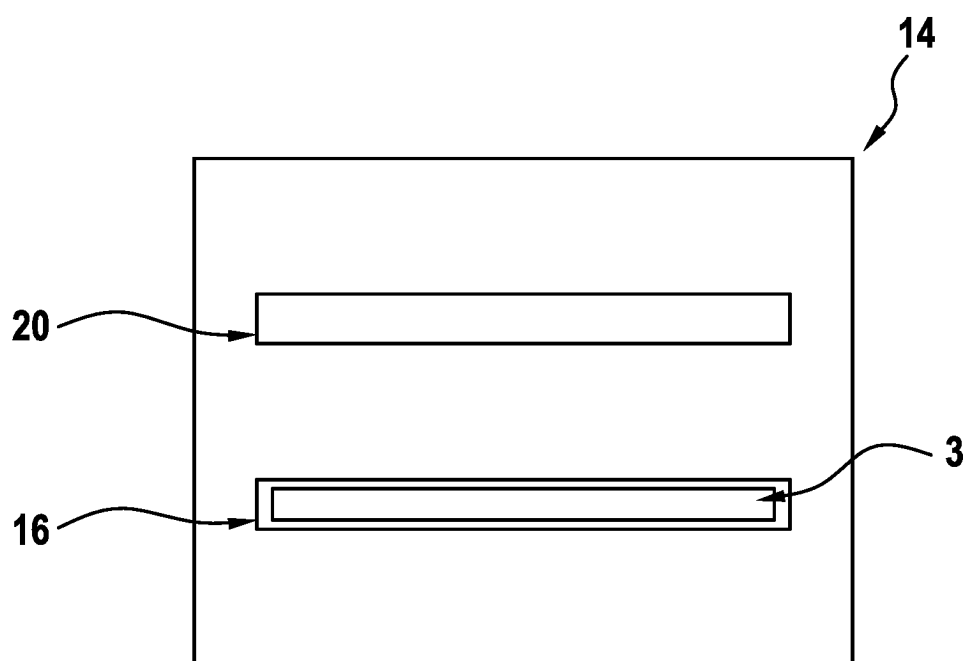




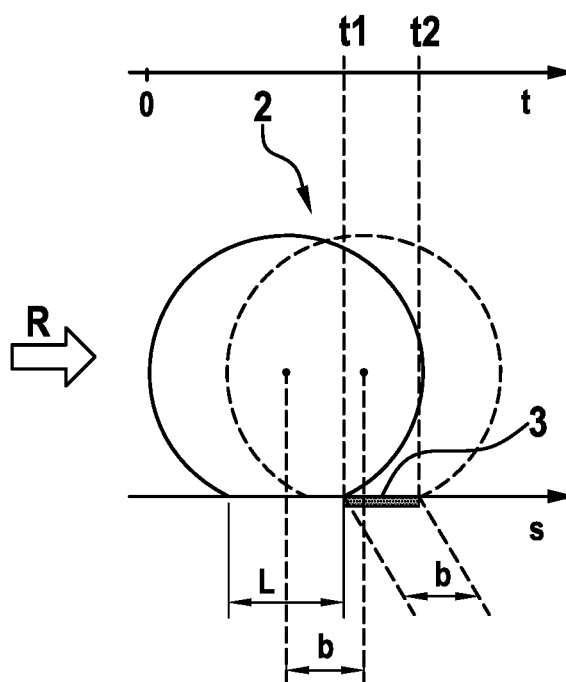
**Fig. 5**



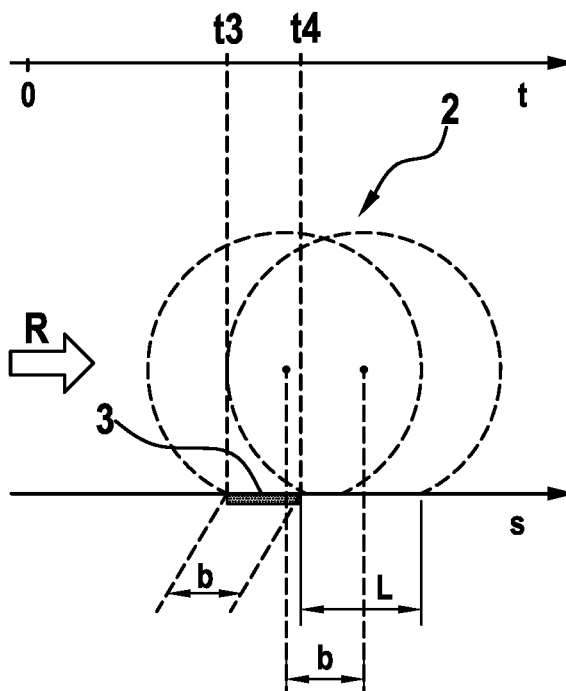
**Fig. 6**



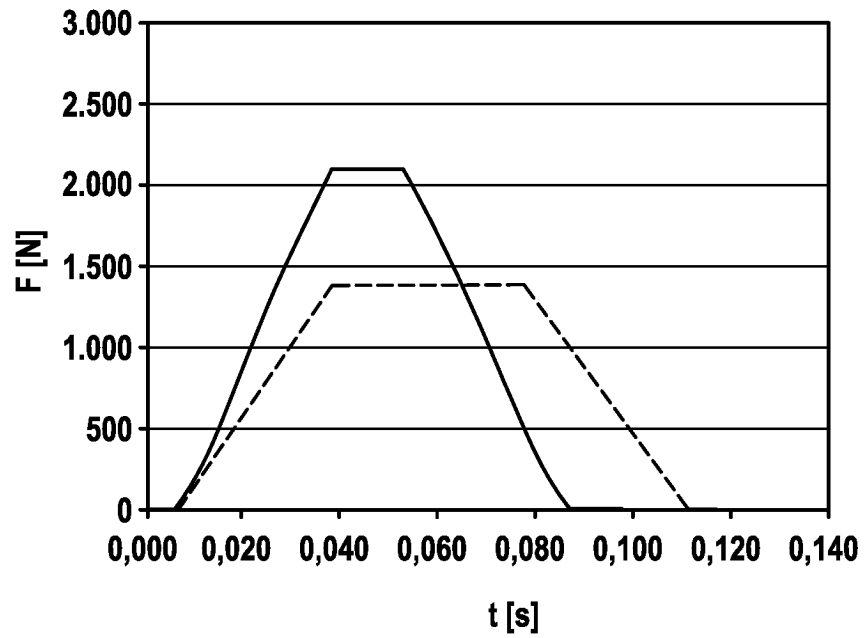
**Fig. 7a**



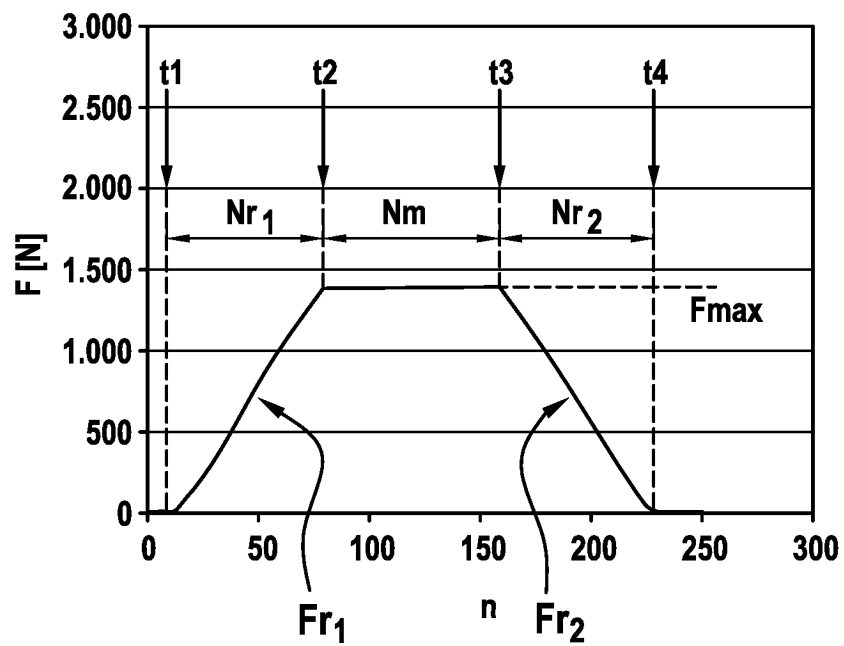
**Fig. 7b**



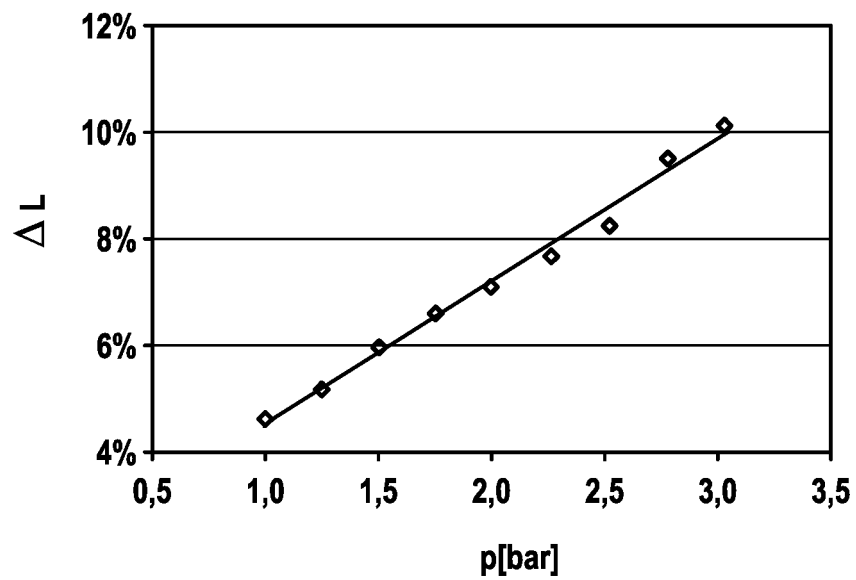
**Fig. 8**



**Fig. 9**



**Fig. 10**



**Fig. 11**

