



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 27 377 T2** 2006.06.22

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 094 958 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 27 377.3**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/EP99/04464**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 932 742.2**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 00/01545**

(86) PCT-Anmeldetag: **28.06.1999**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **13.01.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **02.05.2001**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **21.09.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **22.06.2006**

(51) Int Cl.⁸: **B60C 23/06** (2006.01)

B60C 17/04 (2006.01)

B60C 23/04 (2006.01)

B60C 19/00 (2006.01)

B60B 21/02 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

9808655 06.07.1998 FR

(73) Patentinhaber:

**Société de Technologie Michelin,
Clermont-Ferrand, FR; Michelin Recherche et
Technique S.A., Granges-Paccot, CH**

(74) Vertreter:

derzeit kein Vertreter bestellt

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, ES, FR, GB, IT

(72) Erfinder:

**DOSJOUR, Andre, F-63400 Chamalières, FR;
DUFOURNIER, Arnaud, F-63100
Clermont-Ferrand, FR**

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ERMITTLUNG EINER REIFENPLATTLAUFSSITUATION -
SICHERHEITSTRÄGER, RÄDER UND REIFEN DAFÜR HERGESTELLT**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Detektion einer Plattlaufsituation eines Luftreifens eines Fahrzeugs.

[0002] Wenn eine montierte Einheit – eine Einheit aus Luftreifen und Rad – Elemente aufweist, die die Lauffläche eines Luftreifens beim Fahren ohne Luft stützen, kann mit diesen Stützelementen bei einem starken Luftdruckverlust im Luftreifen verhindert werden, dass das Fahrzeug stehen bleiben muss. Bei den Stützelementen kann es sich um eine Sicherheitsauflage handeln, die in radialer Richtung außen auf der Felge des Rads der montierten Einheit angebracht ist, oder um Verstärkungselemente, die in den Wand- und/oder Wulststrukturen des Luftreifens angeordnet sind. Solche Luftreifen werden als "selbsttragend" bezeichnet.

[0003] Wenn der Luftreifen an diesen Stützelementen in Auflage kommt, geht dies mit einer mehr oder weniger ausgeprägten Beeinträchtigung seiner Leistungen einher, die vom Fahrer an Hand des Fahrzeugverhaltens und -komforts nicht wahrnehmbar ist. Außerdem ist die Lebensdauer der Stützelemente im Einsatz begrenzt. Es ist daher sinnvoll, den Fahrer zu warnen, sobald ein Luftreifen an seinen Stützelementen in Auflage gelangt; so kann er den Anweisungen des Herstellers folgen.

[0004] Die Patentanmeldung WO 94/03338 gibt eine Vorrichtung an, die anspricht, wenn ein Luftreifen an einer Sicherheitsunterlage in Auflage kommt. Die Vorrichtung umfasst einen mit einer zentralen Rechereinheit verbundenen Beschleunigungsmesser für jedes Rad, der auf einem der Radaufhängungselemente angebracht ist und die vertikalen Beschleunigungen misst. Die Analyse basiert auf der Detektion eines beim Aufsetzen eines Luftreifens auf die Sicherheitsunterlage auftretenden Schwingungstyps des Systems, das aus dem in Auflage befindlichen Luftreifen, der ungedeckelten Masse und den Aufhängedfedern besteht. Dieser Schwingungstyp ist kennzeichnend für das Fahren in Auflage und liegt über 100 Hertz.

[0005] Bei einigen Sicherheitsauflagen, beispielsweise bei Sicherheitsauflagen aus einem Elastomer, kann sich jedoch die Empfindlichkeit der vorstehenden Analyse als unzureichend erweisen.

[0006] Die Druckschrift US 5 760 682 gibt ein Verfahren zur Detektion eines Unterdrucks bei einem der Luftreifen eines Fahrzeugs durch Analyse der Änderung der Drehgeschwindigkeiten der vier Räder des Fahrzeugs an.

[0007] Die Druckschrift EP 0 844 111 A1 gibt eine Sicherheitsauflage an, die so ist, dass ihr Rollradius

in Auflage mit einer Frequenz veränderlich ist, die in etwa der Drehfrequenz entspricht, um eine Schwingung einer Frequenz zu erzeugen, die dieser Drehfrequenz entspricht, und auf diese Weise den Fahrer des Fahrzeugs zu warnen.

[0008] Die Druckschrift WO 98/47728 (Art. 54(3) und (4) EPÜ) offenbart ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1.

[0009] Bei montierten Einheiten, die keine oben genannten Stützelemente aufweisen, kommt die Lauffläche bei einer Plattlaufsituation an den Wulsten und den Felgenhörnern in Auflage. Dies kann zu einer schnellen Zerstörung des Luftreifens führen und dazu, dass die Wulste in das Montagebett der Felge rutschen, ganz zu Schweigen von einer Beeinträchtigung des Verhaltens des Fahrzeugs. Sobald es zu einer solchen Auflage kommt, sollte deshalb der Fahrer unbedingt gewarnt werden.

[0010] Im Folgenden wird unter einer "Plattlaufsituation" eines Luftreifens eine Fahrsituation verstanden, bei der der Luftdruck in dem Luftreifen nicht ausreicht, um sicherzustellen, dass die Last des Fahrzeugs von dem Luftreifen getragen wird. Die Lauffläche des Luftreifens kommt deshalb an Stützelementen in Auflage. Diese Stützelemente können für diesen Zweck vorgesehen sein (wie beispielsweise um die Felge herum angeordnete Sicherheitsauflagen) oder nicht (Felgenhörner ...).

[0011] Die Erfindung hat ein Verfahren zur Detektion einer Plattlaufsituation eines auf ein Rad montierten Luftreifens eines Fahrzeugs zum Gegenstand, das eine verbesserte Empfindlichkeit und Zuverlässigkeit aufweist.

[0012] Das erfindungsgemäße Detektionsverfahren ist so, dass:

- eine Größe $f(\alpha, t)$ erfasst wird, die sich zeitlich mit der Winkelverschiebung des Rads ändert,
- ausgehend von dieser Größe Messsignale erzeugt werden, die sich mit der Winkelgeschwindigkeit des Rads $d\alpha(t)/dt$ ändern,
- eine charakteristische Größe der Streuung der Messsignale berechnet wird und
- ein Alarm ausgelöst wird, wenn die charakteristische Größe einer gegebenen Beziehung entspricht.

[0013] Zur Bestimmung der charakteristischen Größe der Streuung der Messsignale wird:

- die Drehfrequenz des Rads bestimmt und
- die Energie der Messsignale in zumindest einem schmalen, um eine der ersten Harmonischen der Drehfrequenz zentrierten Frequenzband über der Dreh- und Grundschiebungsfrequenz berechnet.

[0014] Das Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass die Größe $f(\alpha, t)$ mit einem Fühler zur Messung der Winkelverschiebung des Rads erfasst wird.

[0015] Die Drehzahl des Rads kann aus den Messsignalen bestimmt werden.

[0016] Die Anmelderin hat nämlich in sehr überraschender Weise festgestellt, dass die Analyse der Streuung der Umdrehungsgeschwindigkeiten der Räder erhebliche Veränderungen zeigt, wenn ein Luftreifen ohne Luft läuft, d.h. wenn die Lauffläche an einem beliebigen Stützelement in Auflage kommt. Dieses Verfahren weist den Vorteil auf, dass nicht wie in den bisher bekannten Verfahren spezielle Messfühler, wie beispielsweise Beschleunigungsmesser, erforderlich sind, sondern dass im Gegenteil einfache Messungen der Winkelgeschwindigkeit der Räder herangezogen werden können. Diese Messungen liegen vielfach schon vor, wie etwa im Fall von Fahrzeugen, die mit Antiblockiersystemen für die Räder ausgestattet sind.

[0017] Außerdem ist das Detektionsverfahren bereits beim Aufsetzen der Lauffläche eines Luftreifens, der sich in einer Plattlaufsituation befindet, auf einem beliebigen Stützelement sehr empfindlich und sehr zuverlässig; die Anmelderin hat nämlich festgestellt, dass die Energie der Messsignale vorzugsweise in den Frequenzbereichen um die verschiedenen Harmonischen der Radabrollzeit Änderungen zeigt.

[0018] Das Detektionsverfahren analysiert vorzugsweise die Änderung der Energie des Geschwindigkeitsspektrums in mindestens zwei schmalen Frequenzbereichen um die Harmonischen der Radabrollzeit, wobei die Harmonische 1 ausgenommen ist.

[0019] Wenn festgestellt worden ist, dass die Summe der Energien der Messsignale in mindestens zwei schmalen Frequenzbereichen, die jeweils um eine der ersten Harmonischen zentriert sind, einer gegebenen Beziehung entspricht, wird vorteilhaft die Energie der Messsignale in diesen Frequenzbereichen mit einem gegebenen entsprechenden Schwellenwert verglichen und es wird ein Alarm ausgelöst, wenn bei mindestens zwei dieser Frequenzbereiche die Energie der Signale über dem entsprechenden Schwellenwert liegt.

[0020] Dieser weitere Test weist den Vorteil auf, dass er den Einfluss von etwaigen Störungen, wie beispielsweise solchen, die von den Vibrationen des Motors herrühren, begrenzt. Derartige Störungen sind nämlich gewöhnlich auf ein einziges Frequenzband beschränkt.

[0021] Die Analyse kann getrennt für jedes Rad oder durch Vergleich der Räder untereinander durchgeführt werden. Der getrennt für jedes Rad durchge-

führte Vergleich weist den Vorteil auf, dass der Luftreifen, der ohne Luft läuft, identifiziert werden kann. Umgekehrt macht der Vergleich zwischen mehreren Rädern die Detektion zuverlässiger. Bei der Analyse können ferner Messsignale Verwendung finden, die mit der Winkelbeschleunigung der Räder $d^2\alpha(t)/dt$ variieren.

[0022] Zur Vermeidung von Fehlalarmen ist es von Vorteil, außerdem auch die Änderung der Energie der Messsignale in mindestens einem zweiten Frequenzband zu verfolgen, in dem die Messsignale im Wesentlichen unabhängig von der Plattlaufsituation sind, und keinen Alarm auszulösen, wenn die Messenergie in diesen zweiten Frequenzbändern einen gegebenen Schwellenwert überschreitet.

[0023] Derartige zweite Frequenzbänder liegen vorzugsweise außerhalb der Frequenzvielfachen der Drehfrequenz der Räder.

[0024] Ein Alarm kann auch dann nicht ausgelöst werden, wenn die Geschwindigkeit des Fahrzeugs unter einer gegebenen Schwelle liegt.

[0025] Die Erfindung betrifft ferner eine Vorrichtung zur Detektion einer Plattlaufsituation eines auf ein Rad montierten Luftreifens eines Fahrzeugs, die aufweist:

- erste Elemente zum Erfassen einer Größe $f(\alpha, t)$, die sich mit der Winkelverschiebung des Rads über der Zeit ändert,
- zweite Elemente zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- dritte Elemente zur Übermittlung des Alarms an den Fahrer des Fahrzeugs und
- vierte Elemente, die in der montierten Luftreifen/Rad-Einheit angeordnet sind, zur Erzeugung von Schwingungssignalen zur Erfassung, die zumindest eine Sinusfunktion hervorbringen, deren Periode ein ganzzahliger Teil der Radabrollzeit ist, wenn der Luftreifen ohne Luft fährt.

[0026] Solche Signale können mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung leicht detektiert werden, selbst wenn die Elemente im Wesentlichen nur eine einzige Sinusfunktion erzeugen, deren Periode ein ganzzahliger Teil der Radabrollzeit ist.

[0027] Die Elemente zur Erfassung können Teil des Luftreifens, des Rads oder einer Sicherheitsunterlage, die in radialer Richtung außen auf dem Rad angeordnet ist, sein.

[0028] Es werden nun an Hand der beiliegenden Zeichnung mehrere Ausführungsformen beschrieben, die nicht einschränkend sind, wobei in der Zeichnung:

[0029] [Fig. 1](#) eine montierte Einheit im Axialschnitt

zeigt, die mit einer Sicherheitsauflage versehen ist,

[0030] die [Fig. 2a](#) und [Fig. 2b](#) schematisch in Seitenansicht eine erste erfindungsgemäße Ausführungsform einer Sicherheitsauflage zeigen,

[0031] [Fig. 3](#) die Längsneigung der Axialstollen der Auflage von [Fig. 2b](#) in Abhängigkeit vom Azimut darstellt,

[0032] [Fig. 4](#) im Meridianschnitt ein Schema einer zweiten Auflage mit einem unterschiedlichen äußeren Radius zeigt,

[0033] [Fig. 5](#) im Meridianschnitt ein Schema einer dritten Auflage mit einer unterschiedlichen radialen Steifigkeit zeigt,

[0034] [Fig. 6](#) im Meridianschnitt ein Schema einer vierten Auflage zeigt, in der eine unterschiedliche radiale Steifigkeit in Kombination mit einem unterschiedlichen äußeren Radius vorliegt,

[0035] [Fig. 7](#) ein Schema einer erfindungsgemäßen Detektionsvorrichtung darstellt,

[0036] [Fig. 8](#) ein Übersichtsschema des erfindungsgemäßen Detektionsverfahrens zeigt,

[0037] [Fig. 9](#) zwei Spektren von Messsignalen in Abhängigkeit von der Frequenz beim Fahren mit und ohne Luft auf einer herkömmlichen Straße zeigt,

[0038] [Fig. 10](#) einen erfindungsgemäßen Luftreifen im Axial-Halbschnitt zeigt,

[0039] [Fig. 11](#) die radiale Höhe einer Verstärkung des Luftreifens in Abhängigkeit vom Azimut darstellt,

[0040] [Fig. 12](#) ein erfindungsgemäßes Rad im Axialschnitt zeigt,

[0041] [Fig. 13](#) eine Ansicht der Innenseite des Rads von [Fig. 12](#) zeigt und

[0042] [Fig. 14](#) die radiale Höhe des inneren Horns des Rads von [Fig. 12](#) und [Fig. 13](#) in Abhängigkeit vom Azimut darstellt.

[0043] In [Fig. 1](#) ist eine Radfelge **10** dargestellt, die mit einer ringförmigen Sicherheitsauflage **13** ausgestattet ist, welche von dem Bett **11** der Felge **10** getragen wird. Die spezielle Geometrie der Radfelge **10** ist insbesondere in der französischen Patentanmeldung Nr. 2 713 558 beschrieben. Sie weist zwei Sitze für Wulste mit unterschiedlichen Durchmessern auf und ist insbesondere für einen einfachen Einbau der Sicherheitsauflage **13** geeignet. Mit der Einheit kann auch bei einem starken Druckabfall in dem Luftreifen **12** gefahren werden. Wenn eine solche Fahrt durch-

geführt wird, reibt die Innenseite des deformierten Reifens gegen die Außenfläche der Sicherheitsunterlage und ruft so eine Erwärmung hervor, wodurch der zur Verfügung stehende Aktionsradius eingeschränkt wird: Es ist deshalb wichtig, dass der Fahrer informiert wird, sobald ein Luftreifen auf seiner Unterlage **13** aufsetzt.

[0044] Zu diesem Zweck wird vorteilhaft eine Sicherheitsunterlage als Unterlage verwendet, die Elemente zur Erzeugung von Schwingungssignalen zur Erfassung aufweist, die Harmonische der Radabrollzeit (d.h. der Drehzahl des Reifens) sind.

[0045] Die in [Fig. 2](#) dargestellte Unterlage ist aus einem weichen Elastomer hergestellt. Sie umfasst eine im Allgemeinen ringförmige Basis **14**, die mit einer (nicht dargestellten) Lage verstärkt ist, welche in Längsrichtung in etwa eine Ausrichtung von 0° zeigt, und einen im Wesentlichen ringförmigen Scheitel **15**, der auf seiner in radialer Richtung äußeren Wand Axialstollen **19** ([Fig. 2b](#)) und gebogene Wände **16** aufweist. Zwischen den Wänden **16** befinden sich Ausnehmungen **17**, die sich in axialer Richtung auf ganzer Länge oder nicht vollständig über die Auflage **13** erstrecken können. Die Basis kann einen Anschlag **18** aufweisen, der auf der Außenseite in der Nähe des Wulstes des Luftreifens angeordnet ist.

[0046] Die axial ausgerichteten Stollen **19** besitzen Wände **191**, deren Neigung in Längsrichtung bezogen auf die Lauflächennormale in Abhängigkeit vom Azimut unterschiedlich ist, wie dies in [Fig. 3](#) dargestellt ist. Die Neigung zeigt einen in etwa sinusförmigen Verlauf, der ein ganzzahliger Teil zweiter Ordnung der Unterlagenabrollzeit ist. Wenn in Auflage an dieser Unterlage gefahren wird, werden die Stollen, die den Luftreifen stützen, zusammengedrückt, wobei sie eine leichte Längsbewegung erfahren, deren Amplitude und Richtung in Abhängigkeit von der Neigung der Stollen unterschiedlich ist. Diese Bewegung wird durch Haftung zwischen der Unterlage und der Innenfläche des Luftreifens auf den Reifen übertragen und führt dazu, dass es unmittelbar zu Schwankungen der Drehgeschwindigkeit der montierten Einheit und damit des Rads kommt. Diese Schwankungen sind im vorliegenden Fall bevorzugt um die Harmonische **2** des Spektrums der Raddrehgeschwindigkeiten zentriert. Eine solche Unterlage stellt damit ein Beispiel für Elemente dar, die beim Fahren in Auflage Veränderungen in der Umdrehungsgeschwindigkeit des damit ausgestatteten Rads erzeugen.

[0047] Ein ähnliches Ergebnis kann auch erzielt werden, wenn die radiale Steifigkeit oder der Radius der Unterlage in Abhängigkeit vom Azimut verändert wird.

[0048] [Fig. 4](#) zeigt ein Schema einer Unterlage **20** mit einem unterschiedlichen äußeren Radius, der im

Bereich von drei Werten R_1 , R_2 und R_3 liegt, wobei $R_1 > R_2 > R_3$, mit allmählicher Änderung des Radius zwischen den Maxima und den Minima. Die beiden Bereiche mit einem äußeren Radius R_1 sind ebenso wie die beiden Bereiche mit Radius R_2 um 180° zueinander versetzt; die vier Radiusminima R_3 liegen jeweils zwischen zwei Maxima R_1 und R_2 . Daraus ergibt sich beim Fahren in Auflage eine Veränderung des äußeren Radius in Abhängigkeit von α mit zwei Harmonischen, einer ersten Harmonischen mit der Frequenz **2**, die auf die beiden ersten Radiusmaxima R_1 zurückzuführen ist, und einer zweiten Harmonischen mit der Frequenz **4**, die auf dem Vorliegen von 4 Radiusmaxima R_1 und R_2 und vier Radiusminima R_3 beruht. In diesem Beispiel beträgt die Differenz R_1 - R_3 5 mm und die Differenz R_2 - R_1 3mm.

[0049] [Fig. 5](#) zeigt ein Schema einer Unterlage **30** mit einer unterschiedlichen radialen Steifigkeit, die im Bereich von drei Werten K_1 , K_2 und K_3 liegt, die so sind, dass $K_1 > K_2 > K_3$, mit allmählicher Änderung der Steifigkeit zwischen den Maxima und den Minima. Wie zuvor sind die beiden Steifigkeitsbereiche K_1 und ebenso die beiden Steifigkeitsbereiche K_2 um 180° zueinander versetzt; die vier Steifigkeitsminima K_3 liegen jeweils zwischen den beiden Maxima K_1 und K_2 . Daraus folgt beim Fahren in Auflage eine Veränderung der Steifigkeit in Abhängigkeit von α mit zwei Harmonischen, einer ersten Harmonischen mit der Frequenz **2**, die auf die beiden ersten Steifigkeitsmaxima K_1 zurückzuführen ist, und einer zweiten Harmonischen mit der Frequenz **4**, die auf dem Vorliegen von 4 Steifigkeitsmaxima K_1 und K_2 und vier Steifigkeitsminima K_3 beruht.

[0050] [Fig. 6](#) zeigt ein Schema einer Unterlage **40** mit einem unterschiedlichen äußeren Radius in Kombination mit einer unterschiedlichen radialen Steifigkeit. Die einzelnen Merkmale weisen jeweils zwei Maxima (R_1 bzw. K_2) und zwei Minima (R_2 bzw. K_1) auf, die im Verhältnis zueinander jeweils um einen Winkel von 90° versetzt sind. Die radialen Steifigkeitsmaxima sind in ihrer Ausdehnung hinreichend begrenzt, um zu bewirken, dass die gesamte Unterlage **40** eine Variation des in Auflage gestauchten Radius zeigt, die vier Maxima aufweist.

[0051] Die Unterlage führt daher ebenfalls zu einer auf die Harmonischen **2** und **4** konzentrierten harmonischen Erregung, weist aber den Vorteil auf, dass ihre Gewichtung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit variiert. Die Anmelderin hat nämlich festgestellt, dass die Unterschiede in der radialen Steifigkeit bei niedriger Geschwindigkeit stärker spürbar sind und dass die Unterschiede im äußeren Radius bei hoher Geschwindigkeit besser wahrgenommen werden können.

[0052] [Fig. 7](#) stellt ein Fahrzeug dar, das mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Detektion einer

Plattlaufsituation ausgestattet ist. Das Fahrzeug besitzt vier mit Luftreifen versehene Räder **1a**, **1b**, **1c** und **1d**. Jede montierte Einheit (Luftreifen und Rad) weist Elemente auf, die bei einer Plattlaufsituation des Luftreifens Schwingungssignale zur Erfassung erzeugen, wie beispielsweise eine der Sicherheitsauflagen der [Fig. 2](#) bis [Fig. 6](#). In der Nähe der einzelnen Räder ist jeweils ein Winkelgeber **2a**, **2b**, **2c** bzw. **2d** für das betreffende Rad angebracht. Die einzelnen Messfühler sind jeweils mit einem Zahnrad **21a**, **21b**, **21c** bzw. **21d** gekoppelt, wie dies wohl bekannt ist. Die Zahnräder **21a**, **21b**, **21c** und **21d** sind aus magnetischen Scheiben hergestellt, die coaxial mit den entsprechenden Rädern befestigt sind. Die Messfühler **2a**, **2b**, **2c** und **2d** sind in der Nähe der Zahnräder **21a**, **21b**, **21c** und **21d** in einer solchen Entfernung angeordnet, dass die Drehung des Zahnrads in der Nähe des Messfühlers ein Signal erzeugt, das in Abhängigkeit von der Winkelverschiebung des Zahnrads unterschiedlich ist. Die mittlere Frequenz dieses Signals gibt die Winkelgeschwindigkeit der Radabrollzeit an. Das veränderliche Signal der einzelnen Messfühler **2a**, **2b**, **2c** bzw. **2d** wird in eine zentrale Einheit **3** eingelesen. Die Einheit **3** enthält einen Signalanalysator, der die Signale analysiert. Das Ergebnis der Analyse wird an eine Anzeigeeinheit **4** übertragen, um den Fahrer zu informieren, wenn eine Plattlaufsituation eines Luftreifens festgestellt wird.

[0053] Wenn das Fahrzeug mit einer Antiblockier-Vorrichtung für die Räder ausgestattet ist, können die Messfühler und die zentrale Einheit der Antiblockier-Vorrichtung als oben genannte Messfühler **2** und zentrale Einheit **3** verwendet werden. Unter diesen Bedingungen können sämtliche Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens mit einer speziellen Software abgearbeitet werden, die in den Rechner der Antiblockier-Vorrichtung eingebunden wird. Es sollte eine geeignete Anzeigeeinheit **4** vorgesehen werden.

[0054] [Fig. 8](#) zeigt ein Übersichtsschema des erfindungsgemäßen Detektionsverfahrens. Auf Grundlage der Messungen $f(\alpha, t)$ der Messfühler **2a**, **2b**, **2c** und **2d** führt die zentrale Einheit **3** für jedes Rad die folgenden Vorgänge durch:

- Berechnung von $d\alpha(t)/dt$ entsprechend der Winkelgeschwindigkeit der Radabrollzeit,
- Durchführung einer harmonischen Analyse von $d\alpha(t)/dt$ mit bekannten Mitteln, beispielsweise mit einer Fourier-Transformation, um $d\alpha(u)/du$ zu erhalten (siehe [Fig. 9](#)),
- Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit der Radabrollzeit u_0 , die der Frequenz der Harmonischen **1** entspricht,
- Bestimmung der Energie E_{Boden} des Geschwindigkeitsspektrums $d\alpha(u)/du$ in einem Frequenzbereich, der keine Harmonischen der Radabrollzeit einschließt, beispielsweise zwischen den Harmonischen **5** und **6**,

- Bestimmung der Energien des Geschwindigkeitsspektrums $d\alpha(u)/du$ in zwei schmalen Frequenzbändern mit einer Breite in der Größenordnung von 2 bis 10 Hz, die um die Harmonischen **2** und **4** zentriert sind, nämlich der Energien E_{u2} und E_{u4} , und Ermittlung ihrer Summe, um ΣE_{ui} zu erhalten,
- Vergleich von u_0 mit einem Schwellenwert A und Wiederholung des Messzyklus, wenn u_0 kleiner A ist,
- für den Fall, dass u_0 größer A ist, Vergleich von E_{Boden} mit einem Schwellenwert B und Wiederholung des Messzyklus, wenn E_{Boden} größer B ist,
- für den Fall, dass E_{Boden} kleiner B ist, Vergleich von ΣE_{ui} mit einem Schwellenwert C und
- für den Fall, dass ΣE_{ui} größer C ist, Auslösen eines Alarms, wenn nicht, Wiederholung des Messzyklus.

[0055] Ein in geeigneter Weise programmierter Mikroprozessor berechnet für jede analysierte Harmonische die Energie der Harmonischen mit dem Integral über den Peak, der aus dem Grundrauschen herausragt, wobei das Grundrauschen in einem Frequenzbereich bestimmt wird, der um das analysierte schmale Band herum liegt.

[0056] Der Wert ΣE_{ui} ist abhängig von der Geschwindigkeit des Fahrzeugs und dem Energieniveau des Geschwindigkeitsspektrums, das mit den Unregelmäßigkeiten des Bodens in Zusammenhang steht. Es können vorteilhaft in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit des Fahrzeugs und dem Wert von E_{Boden} auch mehrere Werte für die Schwelle C eingesetzt werden.

[0057] Der erste Test unter Verwendung von u_0 beruht darauf, dass kein Alarm ausgelöst wird, wenn die Umdrehungsgeschwindigkeit des Rads und damit die Geschwindigkeit des Fahrzeugs unter einem gegebenen Schwellenwert in der Größenordnung von 20 bis 30 km/h liegt.

[0058] Der zweite Test führt dazu, dass ein Alarm auch dann unterbunden wird, wenn die Energie E_{Boden} über einem Schwellenwert B liegt, d.h., wenn die Unebenheiten der Straße sehr stark ausgeprägt und damit geeignet sind, die Messungen deutlich zu stören.

[0059] Mit diesen beiden Tests kann die Anzahl von Fehlalarmen deutlich eingeschränkt werden.

[0060] Da immer die Möglichkeit besteht, dass ein Peak oder mehrere Peaks durch andere Quellen, beispielsweise die Vibrationen des Motors, gestört werden, sollte die energetische Gesamtanalyse vervollständigt werden, indem überprüft wird, ob mindestens zwei der analysierten Harmonischen eine signifikante Energieveränderung gezeigt haben.

[0061] Durch diese Vervollständigung wird die Detektion wesentlich robuster.

[0062] [Fig. 9](#) zeigt ein Beispiel eines Spektrums von Radgeschwindigkeiten beim Fahren mit normalem Fülldruck (weiße Kurve) und beim Fahren ohne Luft in Auflage an einer Sicherheitsunterlage (schwarze Kurve). Das Fahrzeug ist ein Peugeot 405, der mit 70 km/h auf einer herkömmlichen Strecke fährt. Der betrachtete Reifen **12** kommt bei einer Plattlaufsituation in Auflage an der in radialer Richtung äußeren Wand einer herkömmlichen, um die Felge des Rads montierten Sicherheitsunterlage, die keine Elemente aufweist, die Signale zur Erfassung erzeugen. Eine solche Unterlage ist in der Patentanmeldung EP 0 796 747 beschrieben.

[0063] Die weiße Kurve (Fahrt mit normalem Fülldruck) weist ein deutliches Maximum um die Harmonische **1** auf. Das erklärt, warum die Harmonische **1** vorzugsweise aus der Analyse des Schwingungsspektrums des Rads ausgeschlossen werden sollte.

[0064] Die schwarze Kurve (Fahrt in Auflage) zeigt ab der Harmonischen **2** bei jeder Harmonischen ein wesentlich höheres Energieniveau. Daraus wird die Effizienz der Analyse der Harmonischen **2** und **4** zur Detektion einer Plattlaufsituation des Luftreifens gut ersichtlich.

[0065] Das erfindungsgemäße Detektionsverfahren ist bereits wirksam, wenn der Luftreifen an einer Sicherheitsunterlage in Auflage kommt, die keine Schwingungssignale zur Erfassung erzeugt. Das Verfahren ist jedoch besonders gut dazu geeignet, ein Aufliegen auf einer Unterlage zu detektieren, die solche Elemente zur Erfassung aufweist und insbesondere Elemente, die Signale erzeugen, die Harmonische der Radabrollzeit sind.

[0066] Die Erfindung hat ferner einen Luftreifen **50** zum Gegenstand, der mit Elementen **60** ausgestattet ist, die beim Fahren mit einer Einfederung über einem gegebenen Schwellenwert Schwingungssignale zur Erfassung erzeugen.

[0067] Der Luftreifen **50** weist einen Scheitel **51**, eine Wand **52** und einen Wulst **53** auf. Die Wand **52** und der Wulst **53** sind mit Einlagen **54**, **55**, **56** ausgestattet, die es ermöglichen, dass der Luftreifen seiner Belastung bei einer Fahrt ohne Fülldruck standhält.

[0068] Die Unterlage **54** weist auf Höhe des Wulstes und der Wand eine Verstärkung **60** auf, deren radiale Höhe sich in Abhängigkeit vom Azimut harmonisch ändert, wie dies in [Fig. 11](#) dargestellt ist. Die Verstärkung **60** führt beim Fahren mit einer Einfederung über einem gegebenen Schwellenwert zu einer Veränderung des Radius des Luftreifens unter Last und zum Auftreten eines multiplen harmonischen Signals der

Radabrollzeit, das mit der oben beschriebenen Vorrichtung und dem oben beschriebenen Verfahren detektiert werden kann. Die Verstärkung **60** kann auf beiden Seiten des Luftreifens oder nur auf einer einzigen Seite angeordnet sein. Im letztgenannten Fall sollte es sich vorzugsweise um die Innenseite handeln, um das Verhalten des Luftreifens in Kurven nicht zu beeinträchtigen. Dies hat ferner zum Vorteil, dass kein ungewollter Alarm ausgelöst wird, wenn mit hoher Geschwindigkeit Kurven durchfahren werden.

[0069] Die [Fig. 12](#) und [Fig. 13](#) zeigen ein Rad **70**, das eine Scheibe **71** und eine Felge **72**, die mit Elementen zur Erzeugung von Schwingungssignalen zur Erfassung bei einer Plattlaufsituation ausgestattet ist, aufweist.

[0070] Die Felge **72** weist insbesondere ein inneres Felgenhorn **73** auf. Die radiale Höhe dieses inneren Horns **73** variiert in Abhängigkeit von seinem Azimut gemäß der in [Fig. 14](#) dargestellten Gesetzmäßigkeit. Die Variation erstreckt sich über weniger als die Hälfte des Umfangs.

[0071] Die unterschiedliche radiale Höhe des Felgenhorns kann auch durch Anbringen eines ergänzenden Teils erzielt werden.

[0072] Wenn also das Rad **70** mit einem herkömmlichen Luftreifen ausgestattet ist, der unter einer Last steht oder einen Fülldruck aufweist, die so sind, dass die Einfederung des Luftreifens merklich über den normalen Einsatzbedingungen liegt, führt die Variation in der radialen Höhe des inneren Horns zum Auftreten von Schwingungssignalen zur Erfassung. Diese Signale können mit der oben beschriebenen Vorrichtung oder mit dem oben beschriebenen Verfahren detektiert werden.

[0073] Wenn der Luftreifen unter normalen Last- und Fülldruckbedingungen und damit unter normalen Einfederungsbedingungen gefahren wird, führt die Veränderung des Felgenhorns von [Fig. 12](#) und [Fig. 13](#) nur zu einer sehr kleinen Veränderung der Auflagebedingungen des Wulstes auf dem inneren Horn.

[0074] Wie oben ist es von Interesse, dass die Variation in der radialen Höhe des Horns am inneren Horn erfolgt, damit der Luftreifen in Kurven ungehindert laufen kann, jedoch die Detektion beim Geradeausfahren unterstützt wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Detektion einer Plattlaufsituation eines Luftreifens (**12, 50**) eines Fahrzeugs, wobei der Luftreifen (**12, 50**) auf ein Rad (**1, 70**) montiert ist und wobei das Verfahren so ist, dass:

- eine Größe $f(\alpha, t)$ erfasst wird, die sich zeitlich mit

- der Winkelverschiebung des Rads (**1, 70**) ändert,
- ausgehend von dieser Größe Messsignale erzeugt werden, die sich mit der Winkelgeschwindigkeit des Rads (**1, 70**) $d\alpha(t)/dt$ ändern,
- eine charakteristische Größe (E_{ui}) der Streuung der Messsignale berechnet wird und
- ein Alarm ausgelöst wird, wenn die charakteristische Größe einer gegebenen Beziehung entspricht, und wobei in dem Verfahren zur Berechnung der charakteristischen Größe (E_{ui}) der Streuung der Messsignale:

- die Drehfrequenz (u_0) des Rads bestimmt und
- die Energie (E_{ui}) der Messsignale in zumindest einem schmalen, um eine der ersten Harmonischen (i) der Drehfrequenz (u_0) zentrierten Frequenzband (u_i) über der Dreh- und Grundschwingungsfrequenz (u_0) berechnet wird;

dadurch gekennzeichnet, dass die Größe $f(\alpha, t)$ mit einem Messfühler für die Winkelverschiebung des Rads erfasst wird.

2. Verfahren zur Detektion nach Anspruch 1, wobei die Drehfrequenz (u_0) des Rads aus den Messsignalen bestimmt wird.

3. Verfahren zur Detektion nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei die Energie der Messsignale in mindestens zwei schmalen, um eine der ersten Harmonischen (i, j) der Drehfrequenz des Rads zentrierten Frequenzbändern (u_i, u_j) über der Dreh- und Grundschwingungsfrequenz (u_0) berechnet wird.

4. Verfahren zur Detektion nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei dann, wenn festgestellt worden ist, dass die Summe der Energien der Messsignale (ΣE_{ui}) in mindestens zwei schmalen Frequenzbändern (u_i, u_j), die jeweils um eine der ersten Harmonischen (i, j) zentriert sind, einer gegebenen Beziehung entspricht, die Energie der Messsignale (E_{ui}, E_{uj}) in den einzelnen Frequenzbändern jeweils mit einem gegebenen entsprechenden Schwellenwert verglichen wird und ein Alarm ausgelöst wird, wenn bei mindestens zwei der Frequenzbänder die Energie der Signale über dem entsprechenden Schwellenwert liegt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Energie oder die Energien der Messsignale (E_{ui}, E_{uj}) des Rads (**1, 70**) des Luftreifens (**12, 50**) mit der Energie oder den Energien der Messsignale (E_{ui}, E_{uj}) mindestens eines der anderen Räder (**1, 70**) des Fahrzeugs verglichen werden und ein Alarm ausgelöst wird, wenn das Ergebnis des Vergleichs einer gegebenen Beziehung entspricht.

6. Verfahren zur Detektion nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei Messsignale erzeugt werden, die sich mit der Winkelbeschleunigung des Rads $d^2\alpha(t)/dt^2$ ändern.

7. Verfahren zur Detektion nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das schmale Frequenzband oder die schmalen Frequenzbänder eine Breite von kleiner oder gleich 10 Hertz aufweisen.

8. Verfahren zur Detektion nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei zusätzlich die Energie der Messsignale (E_{Boden}) in mindestens einem zweiten Frequenzband berechnet wird, in dem die Messsignale im Wesentlichen unabhängig von der Plattlaufsituation des Luftreifens sind, und kein Alarm ausgelöst wird, wenn die Energie der Messsignale (E_{Boden}) in dem zweiten Frequenzband eine gegebene Schwelle überschreitet.

9. Verfahren zur Detektion nach Anspruch 8, wobei das zweite Frequenzband außerhalb der Frequenzvielfachen der Drehfrequenz (u_0) des Rads (**1, 70**) liegt.

10. Verfahren zur Detektion nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei kein Alarm ausgelöst wird, wenn die Geschwindigkeit des Fahrzeugs unter einer gegebenen Schwelle liegt.

11. Verfahren zur Detektion nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei die Position des Luftreifens (**12, 50**), der ohne Luft läuft, identifiziert und an den Fahrer des Fahrzeugs weitergeleitet wird.

12. Verfahren zur Detektion nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei für den Fall, dass das Fahrzeug eine Antiblockier-Vorrichtung für die Räder besitzt, die Messsignale mit Hilfe der Messfühler dieser Antiblockier-Vorrichtung für die Räder erzeugt werden.

13. Vorrichtung zur Detektion einer Plattlaufsituation eines Luftreifens (**12, 50**) eines Fahrzeugs, wobei der Luftreifen auf ein Rad (**1, 70**) montiert ist und wobei die Vorrichtung aufweist:

- erste Elemente (**2, 21**) zum Erfassen einer Größe $f(\alpha, t)$, die sich zeitlich mit der Winkelverschiebung des Rads ändert,
- zweite Elemente (**3**) zur Durchführung des Detektionsverfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12,
- dritte Elemente (**4**) zur Übermittlung des Alarms an den Fahrer des Fahrzeugs und
- vierte Elemente (**19, 191, 60, 73**), die in der montierten Luftreifen/Rad-Einheit angeordnet sind, zur Erzeugung von Schwingungssignalen zur Erfassung, die zumindest eine Sinusfunktion hervorbringen, deren Periode ein ganzzahliger Teil der Radabrollzeit ist, wenn der Luftreifen (**12, 50**) ohne Luft fährt.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, wobei die Elemente (**19, 191, 60, 73**) zur Erzeugung von Schwingungssignalen zur Erfassung im Wesentlichen eine einzige Sinusfunktion hervorbringen, deren Periode ein ganzzahliger Teil der Radabrollzeit ist.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 oder 14, wobei für den Fall, dass das Fahrzeug mit einer Antiblockier-Vorrichtung für die Räder ausgestattet ist, die ersten und die zweiten Elemente von den Messfühlern (**2, 21**) und dem Rechner (**3**) der Antiblockier-Vorrichtung für die Räder gebildet werden.

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

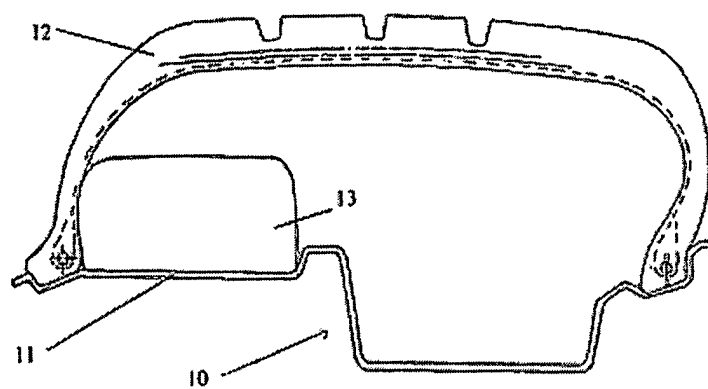


Fig. 1

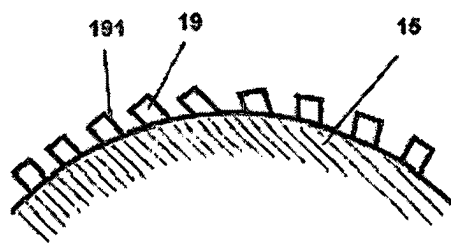
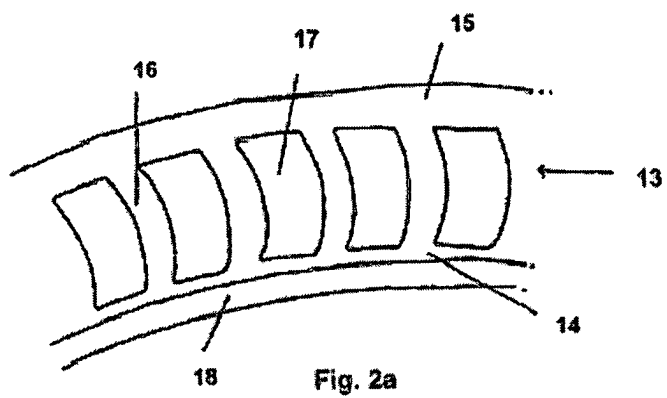


Fig.2b

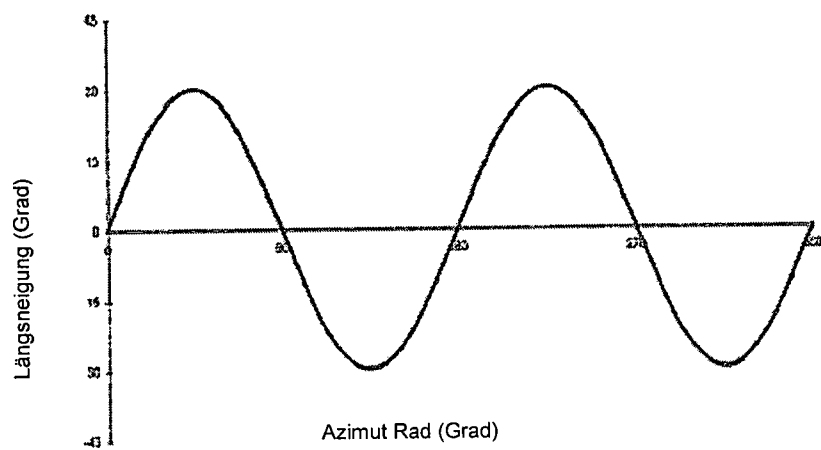


Fig. 3

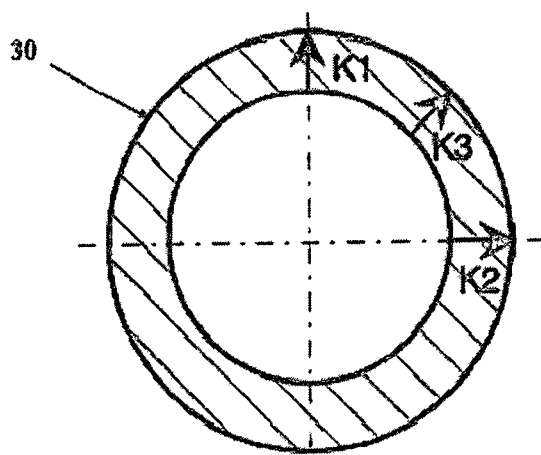
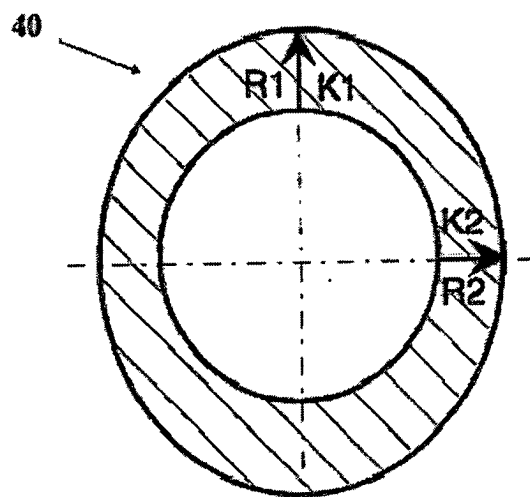
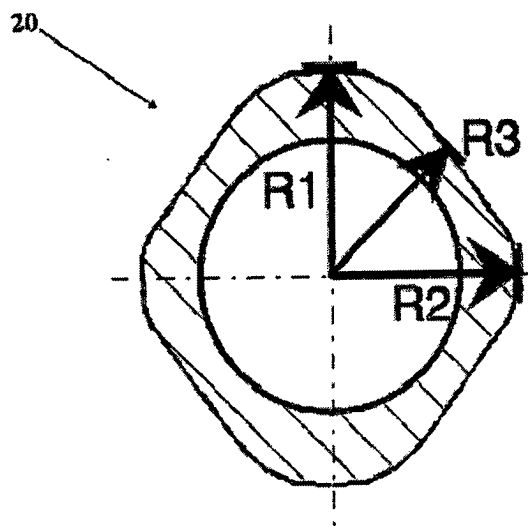


Fig. 5



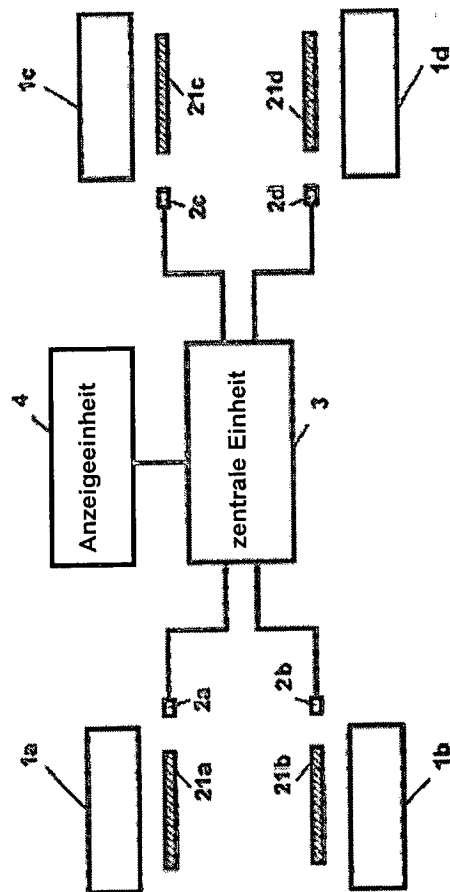


Fig. 7

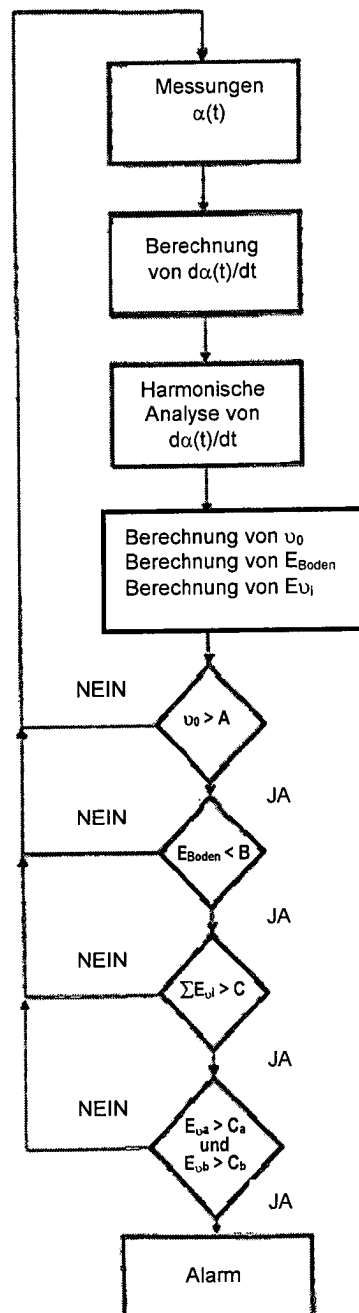


Fig. 8

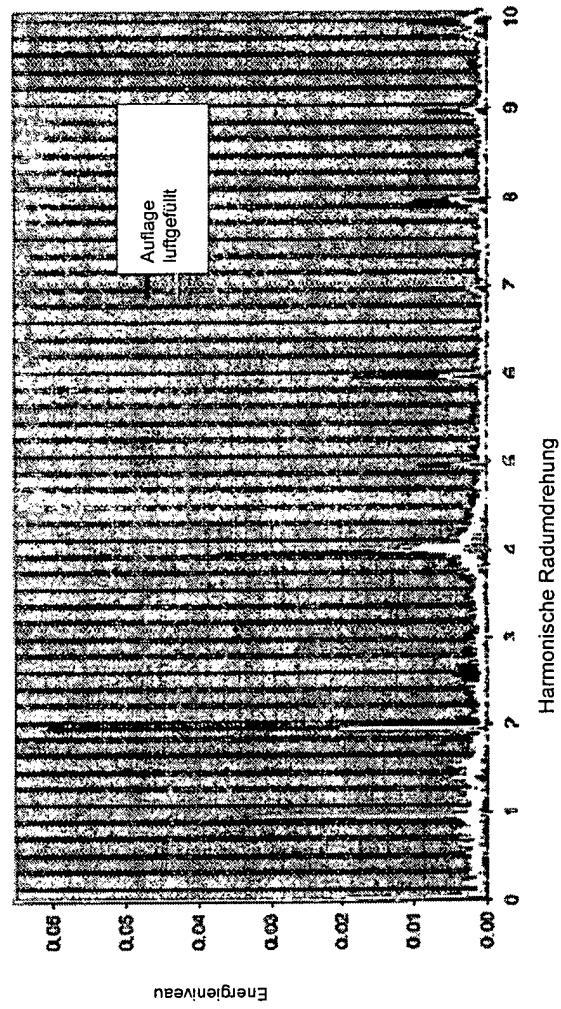


Fig. 9

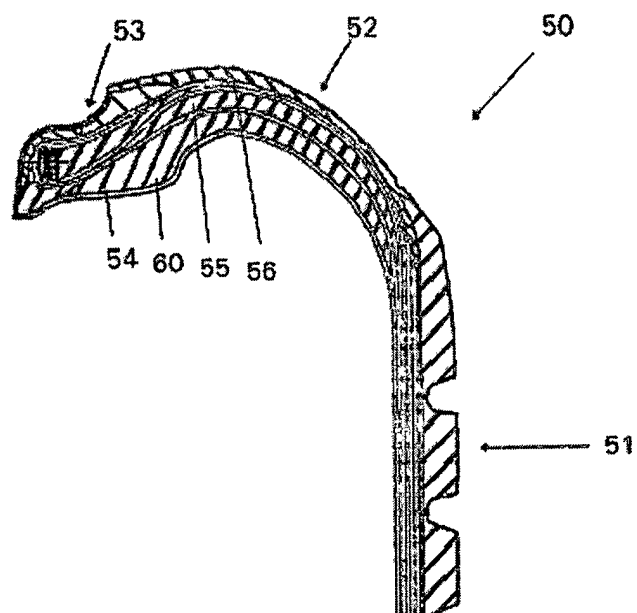


Fig. 10

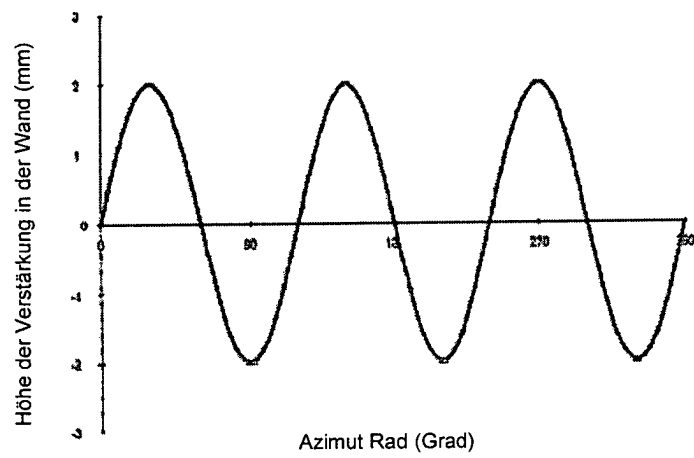


Fig. 11

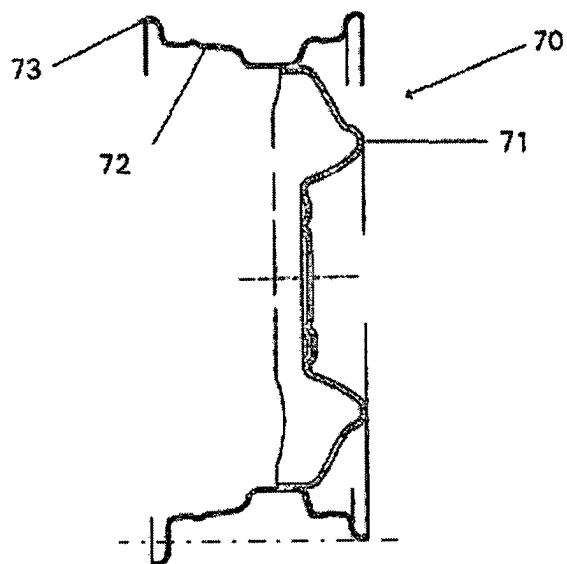


Fig. 12

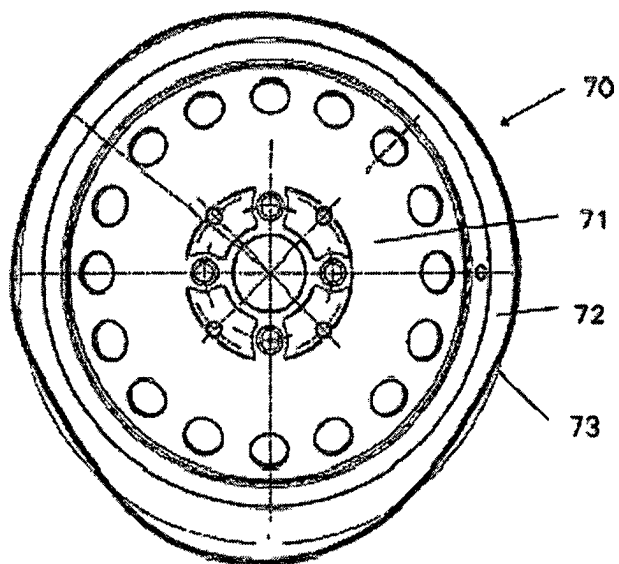


Fig. 13

Fig. 14

