



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 06 400 T2 2005.11.17**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 263 616 B1**

(51) Int Cl.7: **B60C 23/06**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 06 400.3**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/EP01/02900**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 925 456.4**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 01/068388**

(86) PCT-Anmeldetag: **14.03.2001**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **20.09.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **11.12.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **13.10.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **17.11.2005**

(30) Unionspriorität:

00830198 16.03.2000 EP

00830416 09.06.2000 EP

212635 P 19.06.2000 US

219696 P 21.07.2000 US

00202649 25.07.2000 EP

222921 P 04.08.2000 US

(74) Vertreter:

v. Fünser Ebbinghaus Finck Hano, 81541 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(72) Erfinder:

MANCOSU, Federico, I-20135 Milano, IT;

MATRASCIA, Giuseppe, I-20038 Seregno, IT;

MONGUZZI, Carlo, I-20052 Monza, IT; SPEZIARI,

Ettore, Diego, I-20139 Milano, IT

(73) Patentinhaber:

Pirelli Pneumatici S.p.A., Mailand/Milano, IT

(54) Bezeichnung: **SYSTEM, REIFEN UND METHODE ZUR BESTIMMUNG DES VERHALTENS EINES BEWEGTEN REIFENS**

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 vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein System zur kontinuierlichen Bestimmung der Interaktion zwischen einem Reifen und dem Boden während der Bewegung eines Kraftfahrzeugs.

[0002] Während der Bewegung eines Kraftfahrzeugs macht es die Kenntnis der Betriebszustände eines Reifens möglich, die Aktionen zu bestimmen, die auszuführen sind, um das Verhalten des Kraftfahrzeugs zu steuern und zu regulieren. Insbesondere ist es nützlich, den Zustand des Rutschens oder das Fehlen eines Rutschens eines Reifens sowie die Änderung der zur Verfügung stehenden Haftung bezogen auf einen Referenzzustand zu kennen, um beispielsweise Vorrichtungen zur Verhinderung des Blockierens der Bremsen (Anti-rutsch- oder ABS-Vorrichtungen), Vorrichtungen zur Unterbindung des Rutschens beim Beschleunigen, eine aktive Aufhängung, usw. zu aktivieren.

[0003] Beim Stand der Technik ist es bekanntlich üblich, Systeme einzusetzen, die so ausgelegt sind, dass sie die Interaktion zwischen einem Reifen, der sich auf einer vorgegebenen Berührungsfläche bewegt, und der Fläche selbst zu erfassen, um eine Information über das Verhalten und/oder über einen speziellen Betriebszustand eines Reifens und allgemeiner für das Verhalten eines mit diesem Reifen bestückten Fahrzeugs abzuleiten.

[0004] Von diesen Systemen hat eine Art Systeme, die auf der Verwendung von Sensoren beruhen, die kontinuierlich Signale zuführen, die Werte spezieller Parameter des Reifens darstellen, beispielsweise Drucksensoren, Temperatursensoren und Sensoren für eine lokalisierte Verformung.

[0005] Zu dieser Art gehören Dehnungsmesser, d.h. so genannte Dehnungsmessstreifen-Sensoren, beispielsweise prismenförmige Elemente eines piezoelektrischen oder magnetischen Polymers, die in die Reifenlauffläche eingesetzt sind, um örtliche Laufflächenverformungen in der Aufstandsfläche zu erfassen.

[0006] Die EP-B1-0 444109 beschreibt ein Verfahren zum Steuern der Bewegung eines Kraftfahrzeugs, das mit Reifen versehen ist, die mit dem Boden zur Bildung von entsprechenden Aufstandsflächen zusammenwirken, wobei das Verfahren die Schritte aufweist:

- Überwachen des Verhaltens der Aufstandsflächen und Erzeugen wenigstens eines entsprechenden Aufstandsflächensignals, welches das Verhalten der Aufstandsfläche anzeigt,
- Verwenden wenigstens eines Aufstandsflächensignals zur Überwachung der Bewegung des Kraftfahrzeugs,
- Erfassen wenigstens eines Fahrsteuersignals, das vom Fahrer des Kraftfahrzeugs erzeugt wird, und
- Verarbeiten wenigstens eines Fahrsteuersignals abhängig von wenigstens einem Aufstandsflächensignal, um die Bewegung des Kraftfahrzeugs zu steuern.

[0007] Zur Erfassung dieses Verhaltens der Aufstandsflächen macht dieses Verfahren Gebrauch von piezoelektrischen Dehnungsmessern, die in das Laufflächenband eingebettet sind, da sie die Verformungen in der Aufstandsfläche messen müssen. Dies führt zu beträchtlichen Nachteilen sowohl im Aufbau eines solchen Reifens als auch bei der Messung der Verformungen.

[0008] Der Grund dafür besteht darin, dass piezoelektrische Dehnungsmesser aus Gummistreifen mit Piezowiderstand hergestellt sind und ein piezoelektrischer oder piezoresistiver Kautschuk kein Elastomer, sondern ein plastisches Material ist, wodurch sich Probleme der Verträglichkeit mit dem Kautschuk der Lauffläche (wegen der unterschiedlichen Module und der unterschiedlichen Haftfähigkeiten) sowie Probleme der Befestigung ergeben.

[0009] Die Anmelderin hat auch beobachtet, dass das vorstehende Verfahren nur die Verformungen des Laufflächenbandes in der Aufstandsfläche erfasst, so dass alle anderen Verformungen, die bei einem sich bewegenden Reifen auftreten, nicht beachtet werden. Schließlich hat die Anmelderin auch beobachtet, dass Verformungen der Aufstandsfläche in einer Wechselbeziehung von eins zu eins zu den Verformungen des Reifens gesetzt werden können.

[0010] In ähnlicher Weise gehören zum Stand der Technik Systeme, die so ausgelegt sind, dass man spezifische Informationen über das Verhalten und/oder den Zustand des Reifens erhält, beispielsweise um die Gesamtsituation des ganzen Reifens zu beschreiben, anstatt, wie es bei den vorher erwähnten Messsystemen, eines örtlichen Abschnitts des Reifens.

[0011] Beispielsweise bezieht sich die US-5,913,240 auf eine Vorrichtung, die in der Lage ist, die Längskraft zu messen, die an einem Fahrzeugreifen wirkt und durch die Torsionsverformung des Reifens verursacht wird, um den Reifenschlupf aufgrund einer positiven oder negativen Beschleunigung des Fahrzeugs zu steuern. Bei diesem Patent kann die Bestimmung der Längskraft auch dazu verwendet werden, den Aufpumpdruck des Reifens zu überwachen. Die Vorrichtung hat einen Tragaufbau, der ein Stück mit dem Bremssattel des Fahrzeugs bildet und wenigstens ein Paar von Sensoren aufweist, die radial an festgelegten Positionen angeordnet sind, einer auf der Außenseite und der andere auf der Innenseite, d.h. in einem größeren und einem kürzeren Abstand von der Drehachse des Rades. Auf der Seite, die dem Fahrzeug zugewandt ist, ist das Rad mit wenigstens einem Paar von Positionsmarkierungen versehen, einer radial äußeren Marke und einer radial inneren Marke, in unterschiedlichen Abständen von der Drehachse. Der Durchgang dieser Marken wird von den Sensoren erfasst, die in den Zeitraum, der zwischen ihrem Durchgang vergeht, die Torsionsverformung des Reifens messen, aus der, wie angezeigt, die auf den Reifen wirkende Längskraft berechnet werden kann. Die auf diese Weise erhaltenen Signale werden zu einer Verarbeitungseinheit gesandt, die den Fahrer des Fahrzeugs warnt, wenn sich der Reifen in einem Rutschzustand befindet, und wahlweise auch bezüglich des Aufpumpzustands des Reifens.

[0012] Eine andere Art von Messsystem hat Systeme, die auf der Verwendung von Sensoren basieren, die diskontinuierliche zyklische Signale zuführen, die für spezielle Ereignisse während des Laufs des Reifens stehen, beispielsweise Sensoren, die anzeigen, wenn sie in die Aufstandsfläche des Reifens eintreten und/oder diese verlassen.

[0013] Die EP-A-0 887 211 beschreibt ein Reifenüberwachungssystem mit einem Sensor, der sich in dem Reifen befindet und in der Lage ist, einen elektrischen Impuls zu erzeugen, wenn der Sensor durch die Aufstandsfläche hindurchgeht, die durch den Kontakt des Reifens mit dem Boden während des Rollens gebildet wird. Das System dieser Patentanmeldung hat auch Einrichtungen zum Bestimmen des Verhältnisses zwischen dem elektrischen Impuls und einer Umdrehungsdauer des Reifens sowie Einrichtungen zum Übertragen des Verhältnisses auf eine Verarbeitungseinheit in dem Fahrzeug.

[0014] Insbesondere ist der Sensor ein Verformungsindikator, beispielsweise ein Dehnungsmesser, der eventuell aus einem piezoelektrischen Material hergestellt ist und in dem Reifen so angeordnet ist, dass der elektrische Impuls eine erste Spitze an der Stelle, wenn der Sensor in die Aufstandsfläche eintritt, und eine zweite Spitze an der Austrittsstelle aus der Aufstandsfläche hat. Der Sensor erfasst somit den Augenblick des Eintritts in die Aufstandsfläche und den Augenblick des Austritts aus dieser Fläche. Nach der Lehre dieses Patents kann das Verhältnis zwischen den beiden Spitzen der abgelaufenen Zeit und der Zeit einer vollständigen Reifenumdrehung dazu verwendet werden, das Flachwerden des Reifens während der Bewegung des Fahrzeugs zu bestimmen. Der Grund dafür besteht darin, dass, wenn die Winkelgeschwindigkeit des Reifens und sein Radius bekannt sind, es möglich ist, die Länge der Aufstandsfläche zu messen. Die Länge der Aufstandsfläche steht deshalb in Beziehung zur Abflachung des Reifens, was ein kritischer Parameter des Reifens in Betrieb ist, insbesondere bei Reifen für Schwerlastfahrzeuge.

[0015] Eine andere Art eines Messsystems hat Systeme, die auf der Verwendung eines Sensors basieren, der ein zyklisches und kontinuierliches Signal über das Verhalten eines einzigen Punktes des sich bewegenden Reifens liefert. Dieser Sensor ist gewöhnlich ein Beschleunigungsmesser.

[0016] An einzelnen separaten Punkten des Reifens ist eine Vielzahl der Sensoren befestigt. Die oben erwähnten Systeme sind so ausgelegt, dass sie das Verhalten des Reifens und/oder des Fahrzeugs aus der Beschreibung der Bewegung in Raum und Zeit der Punkte bestimmen.

[0017] Jeder der Sensoren führt ein Signal zu, das in dem Sinne zyklisch ist, dass es sich bei jeder Umdrehung des Reifens wiederholt, das in der Zeit kontinuierlich ist und das für die Bewegung des einzigen Punktes beschreibend ist, an dem der Sensor befestigt ist.

[0018] Die von dem oben erwähnten System erfassten Daten sollen zweckmäßig für ein Eingreifen in die Kraftfahrzeugsteuerungen (ABS, aktive Aufhängungen, usw.) und zum Modifizieren seines Verhaltens sein, beispielsweise während des Bremsens, des Beschleunigens, des Rutschens und dergleichen.

[0019] Das US-Patent 5,825,286 bezieht sich auf ein System und ein Verfahren zum Ableiten von fahrzeugbezogenen Daten, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

- Erfassen von Parametern bezüglich des Fahrzeugverhaltens von innerhalb eines an dem Fahrzeugrad montierten Reifens,

- Digitalisieren der Daten innerhalb des Reifens und Übertragen der Signale aus dem Reifen heraus in vorgegebenen Intervallen,
- Verkürzen dieser vorgegebenen Intervalle, wenn sich die Parameter um einen vorgegebenen Prozentsatz ändern,
- Empfangen dieser Daten an einer Stelle außerhalb des Reifens,
- Vergleichen dieser Daten mit vorher festgelegten Werten für jeden der Parameter,
- Anzeigen der Daten,
- Aktivieren eines Alarms, wenn diese Daten für jeden der Parameter eine vorher eingestellte Grenze überschreiten.

[0020] Einer der Sensoren zum Erfassen der Parameter ist ein Vibrationssensor, der ein piezoelektrisches Element unbestimmter Art sein kann, das ein elektrisches Spannungssignal aussendet, wenn sich seine Impedanz ändert (Spalte 12, Zeilen 26–29). Alle Sensoren bilden einen Teil eines an jedem Rad angebrachten Moduls. Die Anmelderin hat beobachtet, dass das vorstehend erwähnte Verfahren in gleicher Weise das Erfassen von Informationen von getrennten Punkten des Reifens erfordert.

[0021] Die Anmelderin hat erfasst, dass die Systeme des Standes der Technik wesentliche Begrenzungen aufweisen, die das ideale Überwachen eines Ereignisses bezüglich eines sich bewegenden Fahrzeugs nicht ermöglichen.

[0022] Im Einzelnen hat die Anmelderin festgestellt, dass, obwohl der Sensor der ersten Art, der das Signal zuführt, das eine lokale Verformung der Lauffläche in der Aufstandsfläche beschreibt, ein kontinuierliches Signal zuführt, er die Ableitung einer signifikanten Information für den Zustand der mechanischen Spannung des vollständigen Reifens nicht zulässt. Insbesondere ergibt ein Vergleich zwischen den an zwei aufeinander folgenden Momenten zugeführten Signalen in sich selbst keine brauchbare Information für den Verformungszustand des vollständigen Reifens und über das Fahrzeugverhalten auf der Straße.

[0023] Die zweite Systemart zum Erfassen der Interaktion zwischen dem Reifen und der Kontaktfläche basiert auf einer Analyse der Bewegungen von einzelnen Punkten des Reifens.

[0024] Die Anmelderin hat festgestellt, dass nicht einmal diese Messsysteme eine Gesamtdarstellung des Zustands der mechanischen Spannung des vollständigen Reifens geben. Die Anmelderin hat tatsächlich erfasst, dass es wesentlich ist, in jedem Augenblick den Gesamtzustand der mechanischen Spannung des vollständigen Reifens zu kennen, um in der Lage zu sein, die Ankunft (Frühdiagnose) besonderer Ereignisse (Änderungen in den Bewegungszuständen) vorherzusagen, die die Interaktion Reifen/Straße oder den Zustand des Reifens betreffen. Diese Information ist auch von Bedeutung, um zu erfassen, wann die Ereignisse und/oder der Zustand des Reifens vorher festgelegte Grenzen erreichen.

[0025] Es wurde nun gefunden, dass der Zustand der Interaktion zwischen einem Reifen und dem Boden mit einem System bestimmt werden kann, das wenigstens einen piezoelektrischen Sensor in Zuordnung zu einer Vielzahl von Stellen aufweist, die einen Teil irgendeines Abschnitts des Reifens bilden, beispielsweise eines vorgegebenen Umfangs des Reifens.

[0026] Die Stellen der Vielzahl sind gewöhnlich aufeinander folgend.

[0027] Es wurde auch gefunden, dass der oben erwähnte Sensor es ermöglicht, die strukturelle Gleichförmigkeit des Reifens zu überwachen.

[0028] In der vorliegenden Beschreibung und in den Ansprüchen steht der Ausdruck "charakteristische Elemente" für Spitzen, Rechteckswellen und dergleichen.

[0029] Zusätzlich wird der Ausdruck "langgestrecktes piezoelektrisches Element" zur Bezeichnung eines piezoelektrischen Elements verwendet, dessen Länge wenigstens 2-mal, vorzugsweise wenigstens 3-mal, und besonders bevorzugt wenigstens 5-mal größer ist als eine Breite oder sein Durchmesser. Vorzugsweise beträgt die Länge des "langgestreckten piezoelektrischen Elements" wenigstens 30 mm, da es sonst nicht ausreichend empfindlich für Änderungen der Verformung wäre, der irgendein Teil des Reifens während seiner Drehung unterliegt.

[0030] Das "langgestreckte piezoelektrische Element" erstreckt sich vorteilhafterweise über einen Bogen von wenigstens 90°, vorzugsweise 180°, und besonders bevorzugt von etwa 360° des Reifenumfangs.

[0031] Der Ausdruck "fortlaufend" wird zur Bezeichnung eines Signals verwendet, das von dem Sensor fortlaufend während des Umdrehungszyklus des Reifens auch dann ausgesandt wird, wenn der Sensor sich nicht über den ganzen Umfang des Reifens herum erstreckt und wenn der Teil des Reifens, an dem der Sensor befestigt ist, sich nicht tatsächlich in der Aufstandsfläche befindet. Das fortlaufende Signal beschreibt vorzugsweise den Zustand der Gesamtspannung des Reifens, d.h. der Energie, die ihm während seiner Bewegung in der Zeit zugeordnet ist.

[0032] Der Ausdruck "zyklisch" wird dazu verwendet, anzugeben, dass jedes charakteristische Signalelement bei jeder Reifenumdrehung auftritt. Ihre Struktur (die Form der speziellen Spitzen oder speziellen Wellen, die Amplitude der speziellen Spitzen oder speziellen Wellen, der Abstand zwischen einer speziellen Spitze und einer weiteren speziellen Spitze oder zwischen einer speziellen Welle und einer anderen speziellen Welle usw.) ändert sich von Zyklus zu Zyklus und sogar innerhalb des gleichen Zyklus ansprechend auf Änderungen der mechanischen Spannungen, die auf den Sensor wirken. Diese auf den Sensor wirkenden mechanischen Spannungen können ihre Ursache beispielsweise in der Interaktion zwischen dem Reifen und dem Boden oder in Expansionen aufgrund einer Temperaturänderung des Reifens haben.

[0033] Die Länge des Sensors bestimmt das Ausmaß der Auflösung des abgegebenen Signals. Vorbereitende Labordaten zeigen an, dass, wenn die Länge des Sensors ausreicht, um den Spannungszustand des ganzen Reifens auszudrücken, der Auflösungswert des abgegebenen Signals in der Größenordnung von 0,05 mV liegt.

[0034] Diese Erfindung bezieht sich auf ein System für die fortlaufende Bestimmung der Interaktion zwischen einem Reifen und dem Boden während der Bewegung eines Kraftfahrzeugs nach Anspruch 1.

[0035] Mit anderen Worten, die Erfindung bezieht sich auf ein System, das einen Fahrzeugreifen und Verarbeitungseinrichtungen aufweist, wobei dem Reifen ein langgestrecktes piezoelektrisches Element zugeordnet ist, das sich längs wenigstens eines ersten Abschnitts des Reifens erstreckt und in der Lage ist, ein fortlaufendes Signal zuzuführen, das durch die Drehung des Reifens erzeugt und zyklisch bei jeder Reifenumdrehung gebildet wird. Das erste Signal hat kennzeichnende Elemente, und die Verarbeitungseinrichtung ist in der Lage, das erste Signal zu erfassen und Änderungen des Zeitintervalls zwischen vorgegebenen kennzeichnenden Elementen des ersten Signals zu messen. Die Verarbeitungseinrichtung ist auch in der Lage, die Interaktion zwischen dem Reifen und dem Boden während der Bewegung des Fahrzeugs zu bewerten.

[0036] Die Reifen-/Bodeninteraktion ist ein Anzeichen für das Verhalten eines sich bewegenden Reifens und für das Verhalten eines Fahrzeugs in Bewegung, das mit dem Reifen ausgerüstet ist.

[0037] Vorzugsweise ist das erste Signal proportional zu den Änderungen der Verformung, der der erste piezoelektrische Sensor während der Drehung des Reifens unterliegt.

[0038] Vorteilhafterweise hat das System wenigstens einen zweiten piezoelektrischen Sensor, der dem Reifen zugeordnet ist, und ein langgestrecktes piezoelektrisches Element aufweist, das sich längs wenigstens eines zweiten Abschnitts des Reifens erstreckt und in der Lage ist, ein zweites Signal zuzuführen, das durch die Drehung des Reifens erzeugt wird, und das zyklisch bei jeder Reifenumdrehung gebildet wird, wobei das zweite Signal kennzeichnende Elemente aufweist und die Verarbeitungseinrichtung in der Lage ist, das zweite Signal zusätzlich zu erfassen und Änderungen des Zeitintervalls zwischen vorherbestimmten kennzeichnenden Elementen des ersten und des zweiten Signals zu messen.

[0039] Vorzugsweise ist das zweite Signal ebenfalls proportional zu den Änderungen der Verformung, der der zweite piezoelektrische Sensor während der Drehung des Reifens unterliegt.

[0040] Anders ausgedrückt, ist das von dem Sensor erzeugte Signal eine Anzeige der Änderungen der mechanischen Spannungen, denen der Reifen während der Bewegung eines Fahrzeugs unterliegt, das mit dem Reifen ausgerüstet ist.

[0041] Eine Änderung der mechanischen Spannung, die von einer Reifen/Boden-Interaktion erzeugt wird, wird durch eine Änderung des Signals offensichtlich, das so Informationen bezüglich des Verhaltens eines sich bewegenden Reifens und bezüglich des Verhaltens eines in Bewegung befindlichen Fahrzeuges, das mit dem Reifen ausgerüstet ist, liefert.

[0042] Wenn der Reifen auf der Fahrzeugradfelge montiert ist, enthält das Signal auch Informationen, die sich

aus der Masse der Felge und aus der relativen Verteilung der Masse ergeben, wobei das fortlaufend erzeugte Signal deshalb für die Bewegung des gesamten Rads repräsentativ ist.

[0043] Die vorliegende Erfindung basiert auf dem Ablesen und Interpretierungen von Änderungen von kennzeichnenden Elementen des Signals und berücksichtigt insbesondere, abhängig von der Art der geforderten Messung, die Absolutwerte der kennzeichnenden Elemente oder Änderungen des Abstands oder der Frequenz zwischen den kennzeichnenden Elementen oder einer Kombination der Größen.

[0044] Experimentell wurde gefunden, dass die Änderungen hauptsächlich von der Reifen/Boden-Interaktion abhängen und von Elementen des Signals aufgrund der Felge nicht merklich beeinflusst werden.

[0045] In einer ersten Variante wird der erste piezoelektrische Sensor längs wenigstens eines Abschnitts eines vorgegebenen Umfangs des Reifens aufgebracht. Vorzugsweise wird er längs wenigstens eines Abschnitts des Äquatorialumfangs des Reifens, besonders bevorzugt längs des gesamten vorgegebenen Umfangs des Reifens, aufgebracht. Der piezoelektrische Sensor kann auch an Stellen mit geeignetem Abstand am Umfang des Reifens befestigt werden.

[0046] Bei einer zweiten Variante wird der erste piezoelektrische Sensor längs eines Abschnitts eines Meridianprofils (in der Querschnittsebene liegend) des Reifens aufgebracht. Vorzugsweise wird er längs eines zentralen Abschnitts des Meridianprofils aufgebracht, der sich auf beiden Seiten der Äquatorialebene erstreckt.

[0047] Vorteilhafterweise wird der erste piezoelektrische Sensor an einer Innenfläche der Karkasse angebracht.

[0048] Alternativ wird der erste piezoelektrische Sensor in die Karkasse, in die Gurtlagen, in die Lauffläche oder in den Wulst eingebettet.

[0049] Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist der erste Sensor wenigstens teilweise in Kontakt mit einem Reifen und mit einer Fahrzeugradfelge angeordnet, an der der Reifen montiert ist.

[0050] Weiter wird besonders bevorzugt, dass der Sensor wenigstens teilweise zwischen einem Wulstsitz einer Fahrzeugradfelge und einem Wulst eines Reifens aufgenommen ist, der auf der Felge montiert ist.

[0051] Vorteilhafterweise hat der Reifen wenigstens einen zweiten piezoelektrischen Sensor mit einem langgestreckten piezoelektrischen Element, das sich längs wenigstens eines zweiten Abschnitts des Reifens erstreckt und in der Lage ist, ein zweites Signal zuzuführen, das durch die Drehung des Reifens erzeugt und zyklisch bei jeder Umdrehung des Reifens gebildet wird, wobei das zweite Signal charakteristische Elemente aufweist und die Änderungen des Zeitintervalls zwischen den vorher festgelegten charakteristischen Elementen des zweiten Signals Änderungen der Winkelgeschwindigkeit des Reifens anzeigen.

[0052] Vorzugsweise ist das zweite Signal ebenfalls proportional zu den Änderungen der Verformung, der der zweite piezoelektrische Sensor während der Drehung des Reifens unterliegt.

[0053] Vorteilhafterweise wird der zweite piezoelektrische Sensor längs eines Umfangs, der einen Teil des Wulstes bildet, oder längs eines Wulstabschnitts eines Meridianprofils des Reifens aufgebracht.

[0054] Bekanntlich ist die Piezoelektrizität der Potenzialunterschied, der sich zwischen zwei Flächen bestimmter Kristalle entwickelt, wenn sie mechanischen Spannungen unterliegen. Dieses Phänomen ist als direkter piezoelektrischer Effekt bekannt. Der piezoelektrische Umkehreffekt ist ebenfalls bekannt und besteht aus mechanischen Verformungen, die in Kristallen, die den direkten piezoelektrischen Effekt ausüben, unter dem Einfluss einer Potenzialdifferenz auftreten.

[0055] In den letzten Jahrzehnten wurden thermoplastische Materialien (piezoelektrische Polymere), die in der Lage sind, reversibel Potenzialdifferenzen zu entwickeln, wenn sie mechanisch beansprucht werden, ebenfalls hergestellt und untersucht.

[0056] Vorzugsweise besteht der piezoelektrische Sensor aus einem piezoelektrischen Koaxialkabel, einem piezoelektrischen Bipolarkabel oder einem piezoelektrischen Streifen mit einem langgestreckten piezoelektrischen Element, beispielsweise einem Streifen, der aus einem piezoelektrischen Polymer besteht.

[0057] Bei einer Variante hat der piezoelektrische Sensor ein Kabel, das aus piezoelektrischen Abschnitten sowie aus nicht-piezoelektrischen und elektrisch leitenden Abschnitten besteht, die elektrisch verbunden sind. Vorzugsweise folgen sie aufeinander in einer abwechselnden Sequenz.

[0058] Insbesondere folgen die piezoelektrischen Abschnitte und die nicht-piezoelektrischen leitenden Abschnitte einander in einer Zickzack-(oder gekräuselten)Form oder sind zueinander ausgerichtet.

[0059] Das System nach der Erfindung ermöglicht es, genaue Informationen zur richtigen Zeit über die Änderungen zu erhalten, die bei den Betriebszuständen des Reifens auftreten, beispielsweise bei irgendeiner Rutschsituation und demzufolge über die Änderung der zur Verfügung stehenden Haftung.

[0060] Wenn diese Information verfügbar ist, ist es möglich, schnell Maßnahmen zum Regulieren und Optimieren des Verhaltens des sich bewegenden Fahrzeugs auf einer geraden Bahn und/oder auf einer gekrümmten Bahn vorzunehmen.

[0061] Insbesondere kann dem piezoelektrischen Sensor nach der Erfindung für den Betrieb mittels eines Senders eine Steuereinheit zugeordnet werden, welche die Signale erfasst und speichert, die von dem Sensor abgegeben werden, Änderungen des Zeitintervalls zwischen den vorher festgelegten kennzeichnenden Elementen der Signale erfasst, die für die Änderungen der Winkelgeschwindigkeit des Reifens und somit der Dehnung entstehen, und sie verarbeitet, um Ausgangssignale zuzuführen, die für Änderungen des Zustands der Interaktion zwischen dem Reifen und dem Boden (Straße) während der Bewegung des Kraftfahrzeugs stehen, und um Reguliervorrichtungen zu steuern (beispielsweise Bremsen, Gas, Differential und Aufhängung), die ausgelegt sind, das Verhalten des Kraftfahrzeugs zu steuern.

[0062] Die Ausgangssignale, die Zustandsänderungen der Interaktion zwischen dem Reifen und dem Boden (Straße) während der Bewegung des Kraftfahrzeugs anzeigen, können auch oder lediglich wenigstens teilweise zu Einrichtungen übermittelt werden, die in der Lage sind, ein optisches und/oder akustisches Signal abzugeben, das das Verhalten des Kraftfahrzeugs anzeigt.

[0063] Der Fachmann ist in der Lage zu entscheiden, wie das Signal, das von dem Sensor erzeugt wurde, auf der Basis bekannter Parameter umgewandelt und übertragen werden soll.

[0064] Im Verlauf von vorher von den Erfindern durchgeführten Versuchen hat sich gezeigt, dass ein bevorzugtes Verfahren der Übermittlung des Signals die Verwendung einer Trägerwelle mit konstanter Frequenz ist, die frequenzmoduliert wird.

[0065] Insbesondere emittiert eine Sendeantenne, die mit einem an dem Rad montierten Sender verbunden ist, diese Welle, die um sich ein elektromagnetisches Feld mit konstanter Stärke erzeugt, die von der Amplitude der Trägerwelle, und von einer variablen Frequenz entsprechend der Frequenzmodulation der Trägerwelle abhängt. Die Stärke des Feldes hängt von der Leistung des Senders und den Eigenschaften der Antenne ab.

[0066] Ein an der Karosserie des Fahrzeugs angebrachter Empfänger ist in der Lage, die empfangenen Signale durch Trennen der Stärke des Magnetfelds von seiner Frequenz zu entschlüsseln. Die Frequenzvariation führt die Informationen für das Verhalten des sich bewegenden Reifens zu. Diese Frequenzmodulation ist unabhängig von der Stärke des Magnetfelds, die jedoch die maximal mögliche Entfernung, über die das Signal übertragen werden kann, und seine Reinheit bestimmt. Wenn das Magnetfeld bezogen auf die Entfernung des Empfängers zu schwach ist, ist der Empfang unscharf und gestört, oder es kann sogar unmöglich sein, das Signal zu empfangen. Zu vermerken ist, dass im Falle eines Fahrzeugs, bei dem sich der Empfänger in einer festgelegten Position befindet und der Sender an dem Rad angebracht ist, die von dem Empfänger erfasste Stärke des Feldes sich mit dem Abstand zwischen Sender und Empfänger ändert. Insbesondere ändert sich der Wert dieser Stärke sinusförmig und ist vorzugsweise innerhalb eines Wertebereichs von 1,6 bis 2,2 V für einen zuverlässigen Signalempfang eingestellt. Diese sinusförmige Welle erreicht ihr Maximum, wenn die Radumdrehung den Sender in die kürzeste Entfernung zum Empfänger bringt, und erreicht ihr Minimum, wenn der Sender sich in seinem größten Abstand von dem Empfänger befindet. Das zyklische Auftreten eines vorgegebenen Punktes in der Sinusform, vorzugsweise, nicht jedoch notwendigerweise das Maximum, kann vorteilhafterweise als Auslöseimpuls verwendet werden.

[0067] Ein Sender hat gewöhnlich auch einen Stromerzeuger für seine Funktion.

[0068] Der Empfänger empfängt das von dem Sender in der Form und durch die gewählten Mittel gesendete

Signal auf der Basis der Kenntnis des Fachmanns für den beabsichtigten Zweck. Bei einer bevorzugten Ausgestaltung der Messvorrichtung des Bausatzes wird dieses Signal, wie vorher beschrieben, für den zusätzlichen Zweck verwendet, einen Auslöseeffekt bei jeder Radumdrehung bereitzustellen, um die Rollgeschwindigkeit des Rads festzustellen und eine diesbezügliche Änderung zu berechnen.

[0069] Die Verarbeitungseinheit kann innerhalb des Fahrzeugs oder außerhalb von ihm angeordnet werden.

[0070] Wie für den Fachmann bekannt ist, können die strukturellen Ungleichförmigkeiten eines Reifens von den Konstruktionsmerkmalen abhängen, beispielsweise vom Vorhandensein und der Position der Verbindungen und der Lagenführung, oder von Herstellungsungenauigkeiten, wie beispielsweise einer ungleichförmigen Verteilung der Massen und der Exzentrizität des Reifens oder vom Verschleiß.

[0071] Kennzeichen und Vorteile der Erfindung werden nun unter Bezug auf eine Anzahl von Ausgestaltungen erläutert, die als Beispiele, ohne beschränken zu wollen, in den beiliegenden Figuren gezeigt sind, in denen:

[0072] [Fig. 1](#) eine erste Ausführungsform des Systems nach der Erfindung für die fortlaufende Bestimmung der Interaktion zwischen einem Reifen und dem Boden zeigt, wobei der Reifen perspektivisch und im Halbschnitt längs einer Äquatorialebene gezeigt ist,

[0073] [Fig. 2](#) eine Querschnittsansicht des Reifens von [Fig. 1](#) ist,

[0074] [Fig. 3](#) in vergrößertem Maßstab eine perspektivische Teilansicht eines im Reifen von [Fig. 1](#) zugeordneten piezoelektrischen Sensors ist,

[0075] [Fig. 4](#), [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) Diagramme sind, die ein Signal zeigen, das von dem dem Reifen von [Fig. 1](#) zugeordneten piezoelektrischen Sensor abgegeben wird,

[0076] [Fig. 7](#) eine zweite Ausführungsform des Systems nach der Erfindung für die fortlaufende Bestimmung der Interaktion zwischen einem Reifen und dem Boden zeigt,

[0077] [Fig. 8](#) eine Querschnittsansicht des Reifens von [Fig. 7](#) ist,

[0078] [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) Diagramme sind, die Signale zeigen, die von den dem Reifen von [Fig. 7](#) zugeordneten piezoelektrischen Sensoren abgegeben werden,

[0079] [Fig. 11](#) eine Querschnittsansicht eines Reifens ist, dem ein piezoelektrischer Sensor zugeordnet ist, der eine Variante des Sensors von [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) ist,

[0080] [Fig. 12](#) eine Querschnittsansicht eines Reifens ist, dem piezoelektrische Sensoren zugeordnet sind, die Varianten von denen der [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) sind,

[0081] [Fig. 13](#) und [Fig. 14](#) Diagramme sind, die Signale zeigen, die von den dem Reifen von [Fig. 12](#) zugeordneten piezoelektrischen Sensoren abgegeben werden,

[0082] [Fig. 15](#) einen Reifen zeigt, dem ein piezoelektrischer Sensor zugeordnet ist, der eine Variante von denen der vorhergehenden Figuren ist,

[0083] [Fig. 16](#) einen Reifen zeigt, dem ein piezoelektrischer Sensor zugeordnet ist, der eine Variante von dem von [Fig. 15](#) ist,

[0084] [Fig. 17](#) eine Längsschnittansicht einer Ausführungsform eines piezoelektrischen Sensors von [Fig. 16](#) ist,

[0085] [Fig. 18](#) eine Schnittansicht in der Ebene XVIII-XVIII von [Fig. 17](#) ist,

[0086] [Fig. 19](#) eine Variante des Systems nach der Erfindung für die fortlaufende Bestimmung der Interaktion zwischen einem Reifen und dem Boden zeigt,

[0087] [Fig. 20](#) in vergrößertem Maßstab eine Querschnittsansicht des Reifens von [Fig. 19](#) ist,

- [0088] [Fig. 21](#) eine Variante des Reifens von [Fig. 19](#) zeigt,
- [0089] [Fig. 22](#) eine weitere Variante des Reifens von [Fig. 19](#) zeigt,
- [0090] [Fig. 23](#) eine Querschnittsansicht des Reifens von [Fig. 22](#) ist,
- [0091] [Fig. 24](#) einen Sender zeigt, der an dem Reifen von [Fig. 19](#) festgelegt ist,
- [0092] [Fig. 25](#) und [Fig. 26](#) Diagramme sind, die die Signale zeigen, die von einem Sensor abgegeben werden, der an dem Reifen von [Fig. 19](#) festgelegt ist,
- [0093] [Fig. 27](#) bis [Fig. 31](#) Diagramme zeigen, die ein Signal veranschaulichen, das von einem an einem Reifen festgelegten piezoelektrischen Sensor abgegeben wird, wobei das Signal ein spezielles Ereignis wiedergibt,
- [0094] [Fig. 32](#) das Spektrum von Frequenzen zeigt, die aus dem Signal von [Fig. 28](#) nach der Bearbeitung mit der Fourier-Transformationsmethode extrahiert werden,
- [0095] [Fig. 33](#) und [Fig. 34](#) abhängig von der Zeit den dem Komfort des Fahrzeugs zugeordneten Index im ersten Fall momentan und im zweiten Fall progressiv zeigen,
- [0096] [Fig. 35](#) den Komfortindex und die darauf folgenden Prozesse zeigt, die an ihm ausgeführt werden, um denselben bei zwei unterschiedlichen Betriebsbedingungen eines Reifens zu erhalten, und
- [0097] [Fig. 36](#) und [Fig. 37](#) die Berechnung des Lastübertragungsindex in zwei gesonderten Fällen zeigen.
- [0098] [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) zeigen einen Reifen für ein Kraftfahrzeug mit einer Karkasse **2**, einer Lauffläche **3**, Gurtlagen (Gurtpaket) **6**, Seitenwänden **4** und Wulsten **5**. Der Reifen **1** ist auf eine Felge **15** aufgebracht. Die Karkasse **2** hat eine innere Fläche **9**, die von einer Überzugsschicht (Auskleidung) abgedeckt sein kann. Dem Reifen **1** ist nach der Erfindung ein langgestrecktes piezoelektrisches Element **7** zugeordnet, das von einem piezoelektrischen Kabel **10** gebildet wird. Das piezoelektrische Kabel **10** ist auf die innere Fläche **9** der Karkasse **2** aufgebracht und erstreckt sich längs (in der Richtung X, senkrecht zur Ebene YZ) in der Richtung der Vorwärtsbewegung des Kraftfahrzeugs entlang des ganzen äquatorialen Umfangs der inneren Fläche der Karkasse. Man erhält Ergebnisse der gleichen Art, wenn sich das piezoelektrische Kabel **10** nur längs eines Abschnitts des äquatorialen Umfangs (eines Bogens des Umfangs) erstreckt.
- [0099] Allgemein gesehen hat der piezoelektrische Sensor ein langgestrecktes piezoelektrisches Element, das eine erste Oberfläche und eine zweite Oberfläche bildet, wobei jede dieser Oberflächen in elektrischem Kontakt mit einem Leiter steht.
- [0100] Dieses piezoelektrische Element hat vorzugsweise die Form eines Schlauchs mit einer inneren Oberfläche und einer äußeren Oberfläche. Der elektrische Leiter, der in Kontakt mit der äußeren Oberfläche des langgestreckten piezoelektrischen Elements steht, ist vorzugsweise eine Einlage eines elektrisch leitenden Materials, das um diese Oberfläche herum angeordnet ist.
- [0101] Der in Kontakt mit der inneren Oberfläche des langgestreckten piezoelektrischen Elements stehende elektrische Leiter hat vorzugsweise die Form eines Drahtes oder eines Kordes aus Drähten eines leitenden Materials. In einer alternativen Form hat er die Form einer Einlage, die um einen nichtleitenden Träger herumgelegt ist.
- [0102] Wie in [Fig. 3](#) gezeigt ist, hat das piezoelektrische Kabel **10** einen zentralen Kern **11** aus einem elektrisch leitenden Material, eine Isolierschicht **12** und eine Netzhülle **13**, die ebenfalls aus elektrisch leitendem Material hergestellt ist. Der Kern **11** ist beispielsweise aus einem Kord aus verdünnten Stahldrähten hergestellt, während die Umhüllung **13** aus Kupfer hergestellt ist. Die Isolierschicht **12** ist zwischen dem Kern **11** und der Umhüllung **13** angeordnet und besteht aus einem piezoelektrischen Polymer, beispielsweise Polyvinylidenfluorid (PVDF). Auf die Umhüllung **13** ist eine äußere abdeckende und schützende Hülle **14** aus einem elastoplastischen Material aufgebracht, beispielsweise aus Polyethylen oder Butylhalogenkautschuk. Das piezoelektrische Kabel **10** hat beispielsweise einen Durchmesser von etwa 3 mm.
- [0103] Wenn das Kabel in den Reifen eingebettet ist, beispielsweise in die Karkasse **2**, in die Gurtlagen **6**, in

die Lauffläche **3** oder in den Wulst **4**, wird bevorzugt ein piezoelektrisches Kabel **10** ohne eine äußere Hülle **14** verwendet, um Unverträglichkeitsprobleme zwischen dem Material dieser äußeren Hülle **14** und den Materialien zu vermeiden, aus denen der Reifen hergestellt ist.

[0104] Die Anmelderin hat gefunden, dass diese Lösung in vorteilhafter Weise auch dann verwendet werden kann, wenn das Kabel an einem inneren oder äußeren Oberflächenabschnitt des Reifens angeordnet ist.

[0105] Bei dem Reifen **1** ist das piezoelektrische Kabel **10** an der inneren Oberfläche der Karkasse **2** angebracht. Ähnliche Ergebnisse lassen sich jedoch durch Einbetten des piezoelektrischen Kabels **10** in die Karkasse **2**, wo es einen Kord der Karkassenlage **2** ersetzen kann, in den Gurt **6**, wo es einen Kord der Gurtlage ersetzen kann, in die Lauffläche **3** oder in einen Wulst **5** erreichen. Zusätzlich kann das piezoelektrische Kabel **10** innerhalb einer Umfangsnut der Lauffläche **3** angebracht werden, vorzugsweise am Boden eines Kanals, oder an einer Seitenwand **4**.

[0106] Wenn der von dem piezoelektrischen Kabel **10** gebildete piezoelektrische Sensor **7** einer Verformung unterworfen wird, erzeugt es elektrische Ladungen, die eine Potenzialdifferenz erzeugen, die proportional, vorzugsweise auf lineare Weise, zu der Änderung der auftretenden Verformung ist.

[0107] Bei einer anderen Art von Kabel kann die erzeugte Potenzialdifferenz nichtlinear variieren, wenn sich die Verformung des piezoelektrischen Sensors ändert.

[0108] Es ist bekannt, dass elektrische Ladungen immer dann erzeugt werden, wenn das piezoelektrische Kabel einer mechanischen Spannung unterliegt, insbesondere einer Änderung des Zustands seiner vorhandenen mechanischen Spannung, beispielsweise, wenn es sich alternierend ändernden Drucken oder wiederholten Biegungen ausgesetzt wird.

[0109] Während der Bewegung des Fahrzeugs unterliegt der piezoelektrische Sensor **7** Verformungen, die elektrische Signale erzeugen, wie sie beispielsweise in [Fig. 4](#) bis [Fig. 6](#), [Fig. 9](#), [Fig. 10](#), [Fig. 13](#), [Fig. 14](#) und [Fig. 19](#), [Fig. 20](#) gezeigt sind. Die Signale zeichnen sich durch charakteristische Elemente aus, die aus Spitzen, Rechteckswellen und dergleichen bestehen.

[0110] Die Anmelderin hat gefunden, dass diese charakteristischen Elemente durch die Interaktion mit der Straße von Ungleichförmigkeiten in dem Reifen erzeugt werden (beispielsweise Laufflächenblöcken, Verbindungen zwischen den Geweben, die in den Karkassenaufbau des Reifens eingebunden sind, ungleichförmige Massenverteilung, usw.), die bei einer Anordnung um den Umfang des Reifens herum zyklische Änderungen im Zustand der mechanischen Spannung des drehenden Reifens verursachen. Die zyklischen Änderungen stehen in einer Beziehung zu der Bewegung (Drehgeschwindigkeit und Rutschen) der Räder.

[0111] Bei einer alternativen Ausgestaltung der Erfindung ist eine Ungleichförmigkeit willkürlich an einem Reifen angebracht, um ein spezielles kennzeichnendes Element in dem Signal zu erzeugen, das von dem Sensor abgegeben wird.

[0112] Insbesondere kann der Sensor selbst die Ungleichförmigkeit sein, die das kennzeichnende Element bildet.

[0113] Anders ausgedrückt, die Anmelderin hat gefunden, dass diese Ungleichförmigkeiten die Wellenform (Amplitude der Spitzen und/oder Intervall zwischen den Spitzen) des Signal beeinflussen, das während der Drehung des Reifens abgegeben wird. Diese Wellenform wird bei Abwesenheit von Vorkommnissen, die die Drehung des Reifens mit einer konstanten Drehzahl stören könnten, faktisch identisch bei jeder Radumdrehung wiederholt.

[0114] Dadurch wird es äußerst einfach, experimentell die Wirkung festzustellen, die jedes für sich untersuchte Ereignis an der Wellenform erzeugt. Betrachtet man noch komplexere Situationen, die sich durch das gleichzeitige Vorhandensein einer Vielzahl von Ereignissen auszeichnen, ist es nicht weniger einfach, das Vorhandensein eines jedes individuellen Ereignisses zu erkennen. Diese komplexen Situationen können experimentell beginnend mit einem Rad reproduziert werden, das frei auf dem Prüfstand drehen kann und sich fortschreitend zu dem gleichen Rad bewegt, das sich auf einem Straßenrad dreht (einer an sich bekannten Laborvorrichtung), das glatt ist, rau ist, Hindernisse hat und geeignet ausgewählte Sturz- und Driftwinkel hat, was letztendlich zu einem Rad führt, das an einem Fahrzeug montiert ist.

[0115] Die Basis dafür besteht darin, dass jedes Ereignis eine Störung bildet, die die Wellenform modifiziert. Wenn die von jedem Ereignis erzeugte Störung auch in komplexen Situationen bekannt ist, ist es möglich, jedes individuelle Ereignis dadurch zu erkennen, dass die Wellenform eines individuellen Signals zu einem genauen Zeitpunkt mit der entsprechenden Wellenform (die in einem Speicher gespeichert ist) des Signals zu einem anderen Zeitpunkt, beispielsweise bei einem vorhergehenden Drehzyklus, verglichen wird.

[0116] Die vorliegende Erfindung interpretiert somit erfolgreich komplexe Situationen auf der Basis der Kenntnis aller elementaren Situationen, aus denen sie zusammengesetzt sind. Für diesen Zweck reicht es nach der Erfindung aus, eine einzige Art von Sensor zu verwenden und ein einziges Signal zu analysieren. Im Gegensatz dazu beginnen die Verfahren nach dem Stand der Technik, die komplexe Situationen untersuchen, die sich durch das gleichzeitige Vorhandensein von mehreren Ereignissen auszeichnen, mit den komplexen Situationen und versuchen, die Elementarsituationen, aus denen sie bestehen, durch Analysieren einer Vielzahl von Signalen herauszuzondieren, von denen jedes durch eine andere Art von Sensor erzeugt wird, der für jedes Ereignis spezifisch ist, die überwacht werden sollen (d.h. jede Elementarsituation).

[0117] Die zu den Verformungsänderungen proportionalen elektrischen Signale, die von dem piezoelektrischen Sensor **7** abgegeben werden, werden mit Hilfe eines Senders (nicht gezeigt) in analoge oder digitale Signale umgewandelt, die über eine Entfernung, beispielsweise in Form von Radiosignalen, gesendet werden können.

[0118] Dem piezoelektrischen Sensor **7** ist für den Betrieb mit Hilfe des erwähnten Senders eine Steuereinheit **8** ([Fig. 1](#)) zugeordnet, die die von dem Sensor **7** abgegebenen Signale erfasst und speichert und Änderungen des Zeitintervalls zwischen vorgegebenen kennzeichnenden Elementen der Signale erfasst, die die Änderungen der Winkelgeschwindigkeit des Reifens **1** und somit der Dehnung anzeigen. Die Steuereinheit verarbeitet sie und liefert Ausgangssignale, die die Änderungen des Zustands der Interaktion (Rutschen) zwischen dem Reifen **1** und dem Boden (Straße) während der Bewegung des Kraftfahrzeugs anzeigen. Die Ausgangssignale werden dazu verwendet, Reguliervorrichtungen zu betätigen, die für die Steuerung des Verhaltens des Fahrzeugs ausgelegt sind, beispielsweise der Bremsen, des Gaspedals, des Differentials und der Aufhängung.

[0119] Beispiele für Signale, die von dem piezoelektrischen Sensor **7** abgegeben werden, sind in den Diagrammen von [Fig. 4](#), [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) für einen Reifen der Größe 195/65 R15 mit einer Felge 6J bei einem Aufpumpdruck von 2,2 bar und bei einer Aufbringung einer vertikalen Last von 350 kg bei konstanter Geschwindigkeit längs einer geraden Bahn gezeigt.

[0120] Das Diagramm in [Fig. 4](#) zeigt die Änderung der Amplitude (mV) des Signals a, das von dem piezoelektrischen Kabel über einem Zeitraum (s) in jedem Umdrehungszyklus des Reifens bei Geradeausbewegung auf glatter Straße mit konstanter Geschwindigkeit von 20 km/h abgegeben wird.

[0121] Das Diagramm in [Fig. 5](#) zeigt die Änderung der Amplitude (mV) des Signals b, das von dem piezoelektrischen Kabel während eines Zeitraums (s) in jedem Umdrehungszyklus des Reifens bei Geradeausbewegung auf glatter Straße mit einer konstanten Geschwindigkeit von 80 km/h abgegeben wird.

[0122] Das Diagramm in [Fig. 6](#) zeigt das Signal a verglichen mit dem Signal b.

[0123] Dieser Vergleich zeigt, dass es möglich ist, bei jeder Drehzahl sehr genaue Spitzen (kennzeichnende Elemente) bei jeder Reifenumdrehung zu unterscheiden, die als äquivalent zu denjenigen angesehen werden können, die von den Zähnen eines phonischen Rades abgegeben werden. Wenn sich der Reifen mit konstanter Geschwindigkeit dreht, befinden sich diese Spitzen an festgelegten Intervallen, während sich beim Bremsen diese Spitzen wegbewegen und die Änderungen im Zeitintervall zwischen den Spitzen die Änderungen der Winkelgeschwindigkeit des Reifens anzeigen und somit der entsprechenden Dehnung.

[0124] [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) zeigen eine Variante des erfindungsgemäßen Systems, bei der dem Reifen **1** der piezoelektrische Sensor **7** und ein piezoelektrischer Sensor **107** zugeordnet sind. Der piezoelektrische Sensor **107** wird von einem piezoelektrischen Kabel **10** ([Fig. 3](#)) gebildet, das auf die innere Oberfläche **9** in der Nähe des Wulstes **5** des Reifens **1** aufgebracht ist. Das piezoelektrische Kabel **10** erstreckt sich längs des gesamten Umfangs des Wulstes, der durch das Schneiden des Wulstes mit einer zu der Äquatorialebene des Reifens parallelen Ebene identifiziert ist. Es können Ergebnisse der gleichen Art erreicht werden, wenn der Sensor **107** nur längs eines Abschnitts des Umfangs angebracht oder in einen Wulst **5** eingebettet ist.

[0125] Beispiele für Signale, die von den piezoelektrischen Sensoren **7** und **107** abgegeben werden, sind in

den Diagrammen von [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) für einen Reifen der Größe 195/65 R15 -P6000 bei einem Aufpumpdruck von 2,2 bar und einer aufgetragenen vertikalen Last von 280 kg bei einer Geradeausbewegung mit konstanter Geschwindigkeit von 80 km/h gezeigt.

[0126] Das Diagramm in [Fig. 9](#) zeigt die Änderung der Amplitude (mV) der Signale c und d, die von dem piezoelektrischen Sensor **7** bzw. von dem piezoelektrischen Sensor **107** während eines Zeitraums (s) in dem Umdrehungszyklus des Reifens bei Fehlen eines Drehmoments (Drehen mit konstanter Geschwindigkeit) abgegeben werden. Die Signale c und d sind synchron. [Fig. 9](#) zeigt die kennzeichnenden Elemente (homologe Spitzen) PP1 und PP2 des Signals c bzw. des Signals d.

[0127] Die homologen Spitzen beziehen sich auf die gleiche "Ungleichförmigkeit" des Reifens, bestehend aus einer ungleichförmigen Massenverteilung, beispielsweise durch individuelle Teilungen des Laufflächenmusters oder durch Einrichtungen zum Befestigen des piezoelektrischen Kabels an dem Reifen.

[0128] Bei jeder Umdrehung des Reifens wird das Zeitintervall zwischen den homologen Spitzen PP1 und PP2 gemessen. Dieses Intervall zeigt die Phasenverschiebung zwischen dem Signal, das von der "Ungleichförmigkeit" in dem piezoelektrischen Sensor **7** erzeugt wird, und demjenigen, das in dem piezoelektrischen Sensor **107** erzeugt wird. Die Änderungen der Phasenverschiebung zwischen den homologen Spitzen bei jeder Reifenumdrehung messen die Dehnung, der die Gurtlagen **6** bezüglich der Wulste **5** unterworfen sind, und demzufolge bezüglich der Nabe **15**, an der der Reifen **1** angebracht ist.

[0129] Im Falle von [Fig. 9](#) bildet die Phasenverschiebung zwischen den bei konstanter Geschwindigkeit gemessenen Spitzen PP1 und PP2 den Referenzterm für die Änderungen der Phasenverschiebung, die bei anderen Betriebsbedingungen des Reifens auftreten (Bremsen, Gasgeben und dergleichen).

[0130] Das Diagramm in [Fig. 10](#) ist ähnlich dem in [Fig. 9](#) und zeigt die Änderung der Amplitude (mV) der Signale e und f, die von dem piezoelektrischen Sensor **7** bzw. dem piezoelektrischen Sensor **107** in einem Zeitraum (s) in jedem Umdrehungszyklus des Reifens bei Vorhandensein eines Drehmoments abgegeben werden. In diesem Fall hat eine zwischen den Spitzen PP1 und PP2 gemessene Phasenverschiebung einen Wert, der verschieden ist von dem, der im Zustand konstanter Geschwindigkeit ([Fig. 9](#)) gemessen wird. Demzufolge bildet der Wert der Phasenverschiebung eine Messung der Dehnung, der die Gurtlagen **6** bezüglich der Wulste **5** unterworfen sind. Jede Änderung des Zeitwerts der beiden Phasenverschiebungen gemessen in dem i-ten Zyklus und in dem (i+1)-ten zeigt die Änderung der Dehnung zwischen den Gurtlagen **9** und den Wulsten **5** des Reifens in Betriebszuständen der beiden aufeinander folgenden Zyklen an.

[0131] [Fig. 11](#) zeigt einen piezoelektrischen Sensor **207**, der dem Reifen **1** zugeordnet ist. Der piezoelektrische Sensor **207** wird von einem Stück eines piezoelektrischen Kabels **10** gebildet, das eine Länge von etwa 40 mm hat und an einem Wulst **5** aufgebracht ist. Der piezoelektrische Sensor **7** erstreckt sich quer (in der Richtung Y) längs eines Wulstabschnittes eines Meridianprofils **16** des Reifens **1**.

[0132] [Fig. 12](#) zeigt einen piezoelektrischen Sensor **307** und den piezoelektrischen Sensor **207**, die dem Reifen **1** zugeordnet sind. Der piezoelektrische Sensor **307** wird von einem Stück eines piezoelektrischen Kabels **10** gebildet, das eine Länge von etwa 40 mm hat und auf der inneren Oberfläche **9** der Karkasse **2** aufgebracht ist. Der piezoelektrische Sensor **307** erstreckt sich quer (in der Richtung Y) längs eines zentralen Abschnitts des Meridianprofils **16**, das sich auf beiden Seiten der Äquatorialebene des Reifens **1** erstreckt.

[0133] Das Diagramm in [Fig. 13](#) zeigt die Änderung der Amplitude (mV) der Signale g und h, die von dem piezoelektrischen Sensor **307** bzw. von dem piezoelektrischen Sensor **207** in einem Zeitraum (s) in jedem Umdrehungszyklus des Reifens bei Fehlen eines Drehmoments (konstante Geschwindigkeit) abgegeben werden.

[0134] Das Diagramm in [Fig. 14](#) zeigt die Änderung der Amplitude (mV) der Signale i und l, die von dem piezoelektrischen Sensor **307** bzw. von dem piezoelektrischen Sensor **207** in einem Zeitraum (s) in jedem Umdrehungszyklus des Reifens bei Vorhandensein eines Drehmoments abgegeben werden. Auch in diesem Fall hat die Phasenverschiebung zwischen den Spitzen PP1 und PP2 einen Wert, der von dem verschieden ist, der im Zustand mit konstanter Geschwindigkeit ([Fig. 13](#)) gemessen wird.

[0135] [Fig. 15](#) zeigt einen piezoelektrischen Sensor **407** mit einem Kabel **110**, das sich in einer Umfangsrichtung an der inneren Oberfläche eines Wulstes **5** des Reifens **1** mit einer Kräuselungs-(Zickzack-)Form erstreckt. Das Kabel **110** besteht aus einer abwechselnden Folge von piezoelektrischen Abschnitten **20** und nicht-piezoelektrischen, aber elektrisch leitenden Abschnitten **21**, die alle elektrisch miteinander verbunden

sind. In der Praxis wird das Kabel **110** von einem Satz von Abschnitten **20** eines piezoelektrischen Kabels gebildet, die in Reihe miteinander durch die Abschnitte **21** verbunden sind, die die elektrische Kontinuität zwischen den einzelnen Abschnitten des piezoelektrischen Kabels bereitstellen.

[0136] Insbesondere hat jeder der piezoelektrischen Abschnitte **20** ein langgestrecktes piezoelektrisches Element.

[0137] Der Anfang und das Ende des Kabels **110** sind mit einer Vorrichtung, beispielsweise einem Sender, verbunden, der das von dem Kabel bei Betrieb der Steuerung **8** abgegebene Signal sendet.

[0138] Gewöhnlich hat das Zickzackkabel die folgenden Eigenschaften und Abmessungen:

Durchmesser des Kabels	3 mm
Anzahl der piezoelektrischen Abschnitte (20)	10 (Länge K = jeweils 45 mm)
Anzahl der nicht-piezoelektrischen Abschnitte (21)	10 (Länge H = jeweils 140 mm)

[0139] Wie in [Fig. 15](#) zu sehen ist, sind die Abschnitte **21** ohne das piezoelektrische Material in der Längsrichtung (der Richtung der Vorwärtsbewegung des Reifens) angeordnet, während die piezoelektrischen Abschnitte **20** in Richtungen senkrecht zu den anderen Abschnitten angeordnet sind. Die Gesamtlänge des Kabels **110** beträgt 1850 mm, und seine Längserstreckung beträgt 1400 mm. Dieses Kabel ist für einen Reifen der Größe 195/65 R15 vorgesehen.

[0140] Die piezoelektrischen Abschnitte **20** können alle die gleiche Länge haben, und die nicht-piezoelektrischen (rein leitenden) Abschnitte **21** können die gleiche Länge haben, die sich von der der piezoelektrischen Abschnitte **20** unterscheidet. Es sind jedoch Varianten möglich, bei denen alle Abschnitte die gleiche Länge haben oder bei denen umgekehrt jeder Abschnitt eine Länge hat, die sich von dem der anderen Abschnitte unterscheidet, oder verschiedene Kombinationen davon.

[0141] Das piezoelektrische Kabel **110** hat einen solchen Aufbau und eine solche Form (abwechselnd piezoelektrische und nicht-piezoelektrische Abschnitte), dass es automatisch eine Folge von kennzeichnenden Elementen während der Drehung des Reifens unabhängig von den Ungleichförmigkeiten des Reifens oder der Art erzeugt, in der das Kabel an der inneren Oberfläche des Reifens befestigt ist.

[0142] Wie bei den oben beschriebenen Ausführungsformen überträgt das Kabel **110**, das auf diese Weise aufgebaut und geformt ist, (mittels des von dem Kabel erzeugten elektrischen Signals) die Informationen über die Bewegung des Kabels während der zyklischen Drehung des Reifens. Im Falle des Kabels **110** erzeugt die Bewegung des Kabels, oder stattdessen die seiner unterschiedlichen piezoelektrischen Abschnitte **20**, ein elektrisches Signal, das die Drehgeschwindigkeit des Reifens **1** angibt. Wenn die Messung der Drehgeschwindigkeit des Reifens im i -ten Zyklus dann mit der verglichen wird, die beim $(i+1)$ -ten Zyklus gefunden wird, ist es möglich, unmittelbar das Ausmaß eines Rutschens zu bestimmen.

[0143] Zusätzlich können Rutschstufen innerhalb eines individuellen Umdrehungszyklus des Reifens dadurch unterschieden werden, dass die einzelnen kennzeichnenden Elemente (Spitzen) verglichen werden.

[0144] Der Vorteil eines Kabels dieser Bauweise liegt darin, dass das abgegebene Signal im Wesentlichen frei von Störungen oder Hintergrundrauschen ist.

[0145] Die "Zickzack"-Form ist besonders vorteilhaft für ein Kabel mit piezoelektrischen Eigenschaften auf seiner ganzen Länge.

[0146] [Fig. 16](#) zeigt einen piezoelektrischen Sensor **507** mit einem Kabel **210**, das aus piezoelektrischen Abschnitten **20** und nicht-piezoelektrischen leitenden Abschnitten **21** besteht, die in abwechselnder Folge angeordnet und längs des gleichen Umfangs fluchtend ausgerichtet sind.

[0147] Insbesondere haben die piezoelektrischen Abschnitte wenigstens ein langgestrecktes piezoelektrisches Element.

[0148] Es ist auch möglich, ein Kabel, beispielsweise das Kabel **210**, längs wenigstens eines Abschnitts des

Meridianprofils anzuordnen, mit anderen Worten, ein Kabel, das in der gleichen Ebene wie ein Querschnitt des Reifens liegt.

[0149] Die von den piezoelektrischen Sensoren **407** und **507** abgegebenen Signale sind ähnlich denjenigen der vorstehend veranschaulichten Sensoren.

[0150] [Fig. 17](#) und [Fig. 18](#) zeigen eine spezielle Ausführungsform des piezoelektrischen Kabels **210**. In einer in Längsrichtung abwechselnden Anordnung um einen zentralen leitenden Kern **211** herum folgen aufeinander rohrförmige Abschnitte **112** aus isolierendem piezoelektrischen Material und rohrförmige Abschnitte **121** aus nicht-piezoelektrischem, jedoch einfach isolierendem Material.

[0151] Um die Abschnitte **112** und **121** ist ein elektrisch leitendes Gitter **213** herumgewickelt, während ein Mantel **214** zum Abdecken und Schützen des Kabels um das leitende Netz **213** herumgelegt ist.

[0152] Diese Art von Kabel kann dadurch hergestellt werden, dass ein Kabel, das eine Schicht aus elektrisch isolierendem Polymer hat, das in der Lage ist, piezoelektrische Eigenschaften zu entwickeln, wenn es einem geeigneten elektromagnetischen Feld ausgesetzt wird, durch ein abwechselnd aktiviertes und deaktiviertes elektromagnetisches Feld mit einer fortlaufenden gleichförmigen Bewegung hindurchgeführt wird.

[0153] [Fig. 19](#) und [Fig. 20](#) zeigen einen piezoelektrischen Sensor **607** mit einem piezoelektrischen Kabel **10** ([Fig. 3](#)), das an dem Wulst **5** des Reifens **1** an dessen Basis **30** angebracht ist. Das piezoelektrische Kabel **10** erstreckt sich ganz um den Umfang der Basis **30** oder nur um einen Teil von ihm und ist vorzugsweise in einer Ringnut **31** aufgenommen, die in dem Wulst **5** ausgespart ist, oder alternativ kann das oben erwähnte piezoelektrische Kabel in einer Ringnut (nicht gezeigt) aufgenommen sein, die in einer Basis **32** der Felge **15** ausgespart ist.

[0154] Bei einer Variante kann das piezoelektrische Kabel **10** in einem Verbundstreifen eingebettet sein, der längs des Umfangs der Basis **30** aufgebracht ist. Bei dieser Version kann die Ringnut für den Verbundstreifen entweder in der Basis **30** des Wulstes **5** oder in der Basis **32** der Felge **15** oder tatsächlich auch in beiden Basen ausgespart sein.

[0155] Ähnliche Ergebnisse erhält man, wenn das Kabel **10** längs nur eines Abschnitts des Umfangs der Basis **30** angebracht ist.

[0156] [Fig. 21](#) zeigt einen piezoelektrischen Sensor **707** mit einem piezoelektrischen Kabel **10**, das in einer Vertiefung **33** in dem Wulst **5** angeordnet ist. Alternativ kann das Kabel **10** in einer Ringnut **35** aufgenommen sein, die in eine Schulter **34** der Felge **15** ausgespart ist, und steht in Kontakt mit der äußeren Oberfläche des Wulstes **5**. Das Kabel **10** erstreckt sich ganz um den Umfang herum (oder nur längs eines Teils dieses Umfangs) der Vertiefung **33** des Wulstes oder der Vertiefung **35** der Schulter.

[0157] Bei einer Variante kann das Kabel **10** in einen Kautschukstreifen eingebettet sein, der auf die Vertiefung **33** des Wulstes aufgebracht wird.

[0158] Ähnliche Ergebnisse erhält man, wenn sich das Kabel **10** nur längs eines Abschnitts des Umfangs der Vertiefung **33** erstreckt.

[0159] Die Sensoren **607** und **707** können unter Verwendung eines Kabels **210** hergestellt werden, das aus piezoelektrischen Abschnitten und aus nicht-piezoelektrischen und leitenden Abschnitten besteht, wie es in [Fig. 17](#) und [Fig. 18](#) gezeigt ist.

[0160] Im Falle der kleinsten Innendurchmesser von 15" kann das Kabel **10** die folgende Ausgestaltung haben: Anzahl der piezoelektrischen Abschnitte **5** (Länge jeweils 50 mm), abwechselnd mit nicht-piezoelektrischen Segmenten, deren Länge sich voneinander unterscheiden kann (beispielsweise 4 Segmente mit der Länge von 190 mm und ein Segment mit der Länge von 240 mm).

[0161] [Fig. 22](#) und [Fig. 23](#) zeigen einen piezoelektrischen Sensor **807** mit einem piezoelektrischen Kabel **10**, das auf die Schulter **34** der Felge **15** aufgebracht ist. Das piezoelektrische Kabel **10** hat aktive Abschnitte **36**, d.h. Abschnitte, die für die Verformung des Reifens empfindlich sind, abwechselnd mit inaktiven Abschnitten **37**, d.h. die für die Verformung des Reifens unempfindlich sind. Die abwechselnden Abschnitte **36** und **37** haben eine vorgegebene Länge und werden dadurch hergestellt, dass das Kabel **10** durch Löcher **38** in der

Schulter **34** der Felge **15** geführt wird, um die Abschnitte **36** und **37** zu bilden, die sich auf der Innenseite bzw. der Außenseite der Schulter **34** befinden. Auf diese Weise bleiben die Abschnitte **36** des Kabels **10** in Kontakt mit dem Reifenwulst **5** und erfassen seine Verformungen, während die Abschnitte **37** nicht in Kontakt mit dem Wulst bleiben und seine Verformungen nicht erfassen.

[0162] Der piezoelektrische Sensor **807** kann beispielsweise aus einem piezoelektrischen Kabel hergestellt werden, das einen Durchmesser von 3 mm hat, während der Abstand zwischen den Löchern in der Schulter der Felge so bemessen ist, dass fünf Abschnitte gebildet werden, die für die Verformung empfindlich sind, jeweils eine Länge von 50 mm haben und sich mit fünf unempfindlichen Abschnitten abwechseln, von denen jeder eine Länge von 200 mm hat.

[0163] [Fig. 24](#) zeigt einen Sender **39** für Radiosignale, der an der Schulter **34** der Felge **15** befestigt ist. Der Sender **39** ist an der Felge durch Umbördelung festgelegt, was in herkömmlicher Weise zum Befestigen der Gewichte für das Auswuchten der Reifen-/Felgenanordnung verwendet wird.

[0164] Diese Anordnung des Senders hat eine Anzahl von Vorteilen. Sie erleichtert das Befestigen des Senders, da bereits bekannte und geprüfte Verfahren zur Anwendung kommen, die in Reifenaufziehwerkstätten verfügbar sind. Sie ermöglicht das Befestigen des Senders am Umfang der Felge in dem Bereich, der am besten vor potenziellen Stößen "geschützt" ist. Zusätzlich kann die Masse des Senders als eine Masse zum Auswuchten des Reifens wirken.

[0165] Bekanntlich ist ein Signalsender mit einer Antenne versehen. Bei den Sensoren **607**, **707** und **807** kann die Antennenfunktion von dem Netz ausgeübt werden, welches das piezoelektrische Kabel umhüllt.

[0166] [Fig. 25](#) und [Fig. 26](#) zeigen Beispiele von Signalen, die von dem piezoelektrischen Sensor **607** oder **707** für einen P 6000-Reifen der Größe 195 60 R15 mit einer Felge 6J, einem Aufpumpdruck von 2,2 bar und ausgesetzt einer vertikalen Last von 300 kg bei der Geschwindigkeit von 50 km/h abgegeben werden.

[0167] Das Diagramm in [Fig. 25](#) zeigt die Amplitude (V) des von dem piezoelektrischen Kabel in einer Intervallzeit (s) entsprechend einer Radumdrehung abgegebenen Signals.

[0168] [Fig. 26](#) zeigt die Amplitude (V) von drei Signalen, die von dem gleichen piezoelektrischen Kabel in einem Zeitintervall (s) entsprechend einer Radumdrehung bei drei Versuchen abgegeben werden, die unter identischen Bedingungen in Abständen von 24 h ausgeführt werden. Die Kurven zeigen, dass die Ergebnisse eine gute Wiederholbarkeit haben.

[0169] Die Positionierung der piezoelektrischen Sensoren **607**, **707** und **807** an dem Wulst und an der Reifefelge hat die folgenden Vorteile.

[0170] Es wird die Konsistenz der Positionierung des piezoelektrischen Kabels gewährleistet.

[0171] Es ist möglich, dass man einen Ring eines piezoelektrischen Kabels hat, dessen Länge proportional zum kleinsten Innendurchmesser der Felge und unabhängig sowohl von den verschiedenen Messungen des Reifens und ihrer Einsatzzustände (Druck, Belastung, usw.) ist.

[0172] Es wird die Mobilität des piezoelektrischen Kabels während einer Hochgeschwindigkeitsfunktion des Reifens verringert, und somit werden die Ermüdungswirkungen reduziert, tatsächlich wird die Ermüdung fast auf null verringert und somit die Lebensdauer des Kabels auf die Größe der Lebensdauer des Reifens erstreckt.

[0173] Durch Vergleichen der von dem piezoelektrischen Sensor mit der Zeit abgegebenen Signalen ist es möglich, einen Reifenverschleiß (unregelmäßig und/oder regelmäßig) zu bestimmen und somit rechtzeitig etwas zu unternehmen. Wenn identische piezoelektrische Kabel an beiden Schultern der Felge befestigt sind, kann das seitliche Verhalten des Reifens (Drift) direkt erkannt werden.

[0174] Der piezoelektrische Sensor nach der Erfindung kann zum Analysieren sowohl des Signals, das während eines einzigen Umdrehungszyklus des Reifens abgegeben wird, als auch des Signals verwendet werden, das innerhalb des Zeitraums von zwei aufeinander folgenden oder insgesamt einander nahen Zyklen abgegeben wird, beispielsweise Zyklen, die innerhalb des Intervalls von 25 Umdrehungszyklen liegen, die dem zu prüfenden Zyklus vorhergehen.

[0175] Insbesondere ist es während eines einzigen Umdrehungszyklus des Reifens möglich, eine "relative/absolute" Analyse des Signals auszuführen, das von dem piezoelektrischen Sensor abgegeben wird. Die Analyse des Signals ist dahingehend absolut, dass sie sich auf eine einzige Drehung (Umdrehung) des Reifens bezieht, ist jedoch relativ dadurch, dass sie die Änderungen des Signals, die während einer einzigen Reifenumdrehung auftreten, mit denjenigen vergleicht, die bei konstanter Geschwindigkeit aufgezeichnet werden. Durch Analysieren der Änderungen des Signals während eines einzigen Umdrehungszyklus ist es möglich zu bestimmen, wie die Ungleichförmigkeiten des Reifens, die aus einer ungleichförmigen Massenverteilung bestehen, beispielsweise wie sie durch die individuellen Teilungen des Laufflächenmusters oder durch die Befestigung des piezoelektrischen Kabels an dem Reifen verursacht werden, die Straße "lesen" oder, mit anderen Worten, mit ihr interagieren.

[0176] Der Vergleich zwischen zwei aufeinander folgenden Zyklen ermöglicht die Bestimmung, ob es eine Änderung der Haftzustände zwischen dem Reifen und dem Boden während der Rotation des Reifens gegeben hat. Insbesondere gibt bei Vorhandensein einer ungleichförmigen Straßenoberfläche oder bei anderen äußeren Störungen der piezoelektrische Sensor ein Signal ab, welche diese Störungen erfasst, behält jedoch die Eigenschaften bei, die ihn für die Zwecke der Erfindung nützlich machen. Der Vergleich zwischen dem während der Umdrehung des Reifens bei konstanter Geschwindigkeit abgegebenen Signals und dem Signal, das beispielsweise während des Bremsens abgegeben wird, ermöglicht die Bestimmung von Änderungen des Zeitintervalls zwischen vorgegebenen kennzeichnenden Elementen der Signale und die Erfassung der Änderung, die im Verhalten des Reifens aufgetreten ist, beispielsweise das Vorhandensein oder Fehlen des Rutschens, der Verlust oder die Beibehaltung der Haftung des Reifens, die Änderung der vertikalen Last und das Vorhandensein von Störungen auf der Straße (Hindernisse, usw.).

[0177] Wie bereits erwähnt, ermöglicht die Erfindung an erster Stelle die Analyse des Signals, das während eines vorgegebenen Zeitintervalls abgegeben wird, beispielsweise eines einzigen Umdrehungszyklus des Reifens oder eines Teils davon oder von zwei oder mehr aufeinander folgenden Zyklen. Zusätzlich ist auch ein Vergleich zwischen dem Signal, das während des vorgegebenen Zeitintervalls abgegeben wird, und dem entsprechenden Signal möglich, das in einem früheren Zeitintervall abgegeben wurde.

[0178] Insbesondere können sowohl die Analyse als auch der Vergleich absolut oder relativ sein. Sie sind absolut, wenn der Referenzterm ein vorgegebener Wert ist, und relativ, wenn dieser Referenzterm ein Wert ist, der zu einem der früheren Zeitintervalle gehört.

[0179] Eine Analyse der Eigenschaften des Signals in einem einzigen Zeitintervall, d.h. innerhalb eines Umdrehungszyklus, zeigt, wie die Ungleichförmigkeiten des Reifens die Straße "lesen", d.h. wie sie damit interagieren.

[0180] Ein Vergleich der Eigenschaften bei zwei unterschiedlichen Zeitintervallen, beispielsweise bei zwei aufeinander folgenden Zyklen, zeigt, ob die Bedingungen der Interaktion zwischen dem Reifen und dem Boden sich geändert haben, wenn sich der Reifen bewegt hat.

[0181] Ein Vergleich zwischen den Eigenschaften der Signale, die während zweier unterschiedlicher Zeitintervalle abgegeben wurden, beispielsweise während des Bremsens, zeigt Änderungen des Zeitintervalls zwischen vorgegebenen kennzeichnenden Elementen der Signale und lässt Änderungen erkennen, die in dem Verhalten des Reifens aufgetreten sind, beispielsweise das Vorhandensein oder das Fehlen eines Schlupfs, der Verlust oder dergleichen des Haftens des Reifens, eine Änderung in der vertikalen Last, das Vorhandensein von Störungen auf der Straße (Hindernisse und dergleichen).

[0182] Die [Fig. 27](#) bis [Fig. 37](#) beziehen sich auf Versuche, die an einem Fahrzeug (Opel Astra 2000) ausgeführt wurden, das mit Reifen der Größe 195/60 R15 ausgerüstet war, die auf Felgen 6J montiert waren und die auf einen normalen Betriebsdruck von 2,2 bar aufgepumpt und jeweils einer vertikalen Last von 3000 N bei einem Sturzwinkel an der Vorderachse von 0,5° ausgesetzt waren. Die Räder sind mit einem langgestreckten piezoelektrischen Element eines piezoelektrischen Kabels, wie oben beschrieben, ausgerüstet, das sich zwischen dem Wulst und der Schulter und der Montagefelge befindet und am Umfang um den Reifen über einen Winkel von etwa 360° verläuft.

[0183] Im Einzelnen zeigt das Diagramm von [Fig. 27](#) die Amplitude (ausgedrückt in mV) des kontinuierlich von dem piezoelektrischen Sensor abgegebenen Signals über der Zeit (ausgedrückt in s). Das gezeigte Signal bezieht sich auf einen Zeitraum von 0,4 s, was 2,36 Radumdrehungen entspricht. Genauer gesagt, bezieht sich dieses Diagramm auf das Signal, das von dem vorderen linken Rad des oben erwähnten Fahrzeugs kommt,

das geradeaus auf glattem Asphalt mit einer konstanten Geschwindigkeit von 40 km/h fährt.

[0184] In gleicher Weise zeigt das Diagramm von [Fig. 28](#) die Amplitude des fortlaufenden Signals, das von dem piezoelektrischen Sensor abgegeben wird, über der Zeit. Das gezeigte Signal bezieht sich auf einen Zeitraum von 0,8 s, was 4,71 Radumdrehungen entspricht. Genauer gesagt, bezieht sich dieses Diagramm auf das Signal, das vom vorderen linken Rad des oben erwähnten Fahrzeugs kommt, das geradeaus auf einer gepflasterten Straße mit konstanter Geschwindigkeit von 40 km/h fährt. Ein Vergleich der Signale von [Fig. 27](#) und [Fig. 28](#) macht deutlich, dass beim Fahren mit der gleichen Geschwindigkeit das von dem Reifen in Kontakt mit einer unregelmäßigen Oberfläche (Pflastersteine) abgegebene Signal größere Amplituden als ein Signal hat, das von einem Reifen kommt, der auf einer ebeneren Oberfläche (glatter Asphalt in [Fig. 27](#)) rollt.

[0185] Das Diagramm von [Fig. 29](#) zeigt die Amplitude des fortlaufenden Signals, das von dem piezoelektrischen Sensor abgegeben wird, über der Zeit, die einen Zeitraum von 0,5 s abdeckt, was 8,47 Radumdrehungen entspricht. Dieses Diagramm bezieht sich auf das Signal, das von dem vorderen linken Rad des oben erwähnten Fahrzeugs kommt, das auf glattem Asphalt mit einer konstanten Geschwindigkeit von 115 km/h geradeaus fährt. Aus einem Vergleich von [Fig. 27](#) und [Fig. 29](#) wird deutlich, dass beim Fahren über die gleiche Oberfläche der Geschwindigkeitsparameter ebenfalls die Signale beeinflusst. So hat das in [Fig. 29](#) gezeigte Signal, das von einem Rad mit hoher Geschwindigkeit (115 km/h) erhalten wird, größere Amplituden als das von dem gleichen Rad, das sich mit einer geringeren Geschwindigkeit (40 km/h) bewegt.

[0186] Die elektrischen Signale werden beispielsweise von einem Sender zu einem Empfänger und von da zu einer elektronischen Steuerung übermittelt, die die Signale unter Verwendung an sich bekannter mathematischer Algorithmen verarbeitet.

[0187] Bei einer Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung, wie es im Einzelnen in den nachstehend folgenden Beispielen angegeben ist, hat die Anmelderin das Signal, das von dem Sensor kommt, durch eine Spektralfrequenzanalyse unter Verwendung einer Fourier-Transformation verarbeiten lassen (nachstehend "FFT-Analyse" – Schnelle Fourier-Transformation).

[0188] Diese Analyse wird vorzugsweise bei dem Signal ausgeführt, das in einem vorgegebenen Zeitintervall mit einer vorgegebenen Rate erfasst wird. Das Frequenzspektrum, das durch diese Analyse extrahiert wird, wird dann auf den Bereich von Frequenzen eingeeengt, die das spezielle Ereignis beschreiben, das überwacht werden soll (beispielsweise zwischen 70 und 250 Hz im Falle des Komforts).

[0189] Zu dem Verfahren nach der Erfindung kann in Kombination mit oder als Alternative zu der FFT-Analyse die Verwendung eines zweiten mathematischen Algorithmus gehören, der einen numerischen Wert (Index) der Amplitude der kennzeichnenden Elemente des Signals oder der Frequenzen des entsprechenden Spektrums zuordnet, die durch die FFT-Analyse dem Zeitintervall oder dem Frequenzbereich extrahiert wird, der das Ereignis darstellt, das überwacht werden soll.

[0190] Der von der Anmelderin vorzugsweise verwendete mathematische Algorithmus besteht darin, die Quadratwurzel aus der Summe der Quadrate der Amplituden der kennzeichnenden Elemente oder der Frequenzen zu bestimmen, die zu dem vorgegebenen Intervall oder Bereich gehören. Dieses Berechnungsverfahren ist üblicherweise als RMS bekannt (Root Mean Square - Quadratischer Mittelwert - nachstehend als "RMS-Berechnung" bezeichnet).

[0191] Die RMS-Berechnung kann durch in gleicher Weise signifikante mathematische Algorithmen ausgetauscht werden, die dafür ausgelegt sind, das gleiche Ergebnis zu erhalten. Diesbezüglich kann das Berechnungsverfahren zitiert werden, das als M-E-V- (Mean Effective Value - Mittlerer Effektivwert) bekannt ist. Ein anderes mögliches Berechnungsverfahren ist die Berechnung, die nach dem British Standard Nr. 6841, 1987, als V.D.V. (Vibration Dose Value – Schwingungsdosiswert) bekannt ist.

[0192] Das mit diesen Berechnungen erhaltene Ergebnis ist ein Index, der die Größe des in Prüfung befindlichen Ereignisses wiedergibt und der sich auf das fragliche Zeitintervall bezieht.

[0193] Das oben beschriebene Verarbeitungsverfahren erzeugt einen dem überwachten Ereignis entsprechenden Index, der sich fortlaufend mit dem Ereignis und bei der vorgegebenen Signalmessrate ändert.

[0194] Dieser Index kann in einer Anzahl von unterschiedlichen Weisen verwendet werden.

[0195] Beispielsweise:

- zur Darstellung der Änderung dieses Index als Funktion der gefahrenen Entfernung oder der Zeit,
- Speichern eines Werts (Maximum, Mittel, Minimum) dieses Index oder der zeitlichen Folge der Werte, beispielsweise um Informationen über den Fahrstil des Fahrers und/oder eine vorgegebene Straßenroute zu gewinnen (beispielsweise wenn der Fahrer jeden Tag die gleiche Route fährt, ist es möglich, zusätzliche Informationen über die Art des für seine oder ihre Anforderungen am besten geeigneten Reifens zu gewinnen),
- für die Einstellung eines Schwellenwerts dieses Index, bei dem ein Alarmsignal (beispielsweise in Form eines Leucht- oder Akustiksignals) aktiviert wird, das der Fahrer erfassen kann,
- für die Berechnung eines Momentanindex (mit einer Erfassungsrate des Signalwerts von Moment zu Moment) und zum Vergleichen des Index mit einem vorgegebenen Schwellenwert, so dass der Fahrer mit dauernd aktualisierten Informationen über das zu überwachende Ereignis versorgt wird,
- zur Berechnung eines fortschreitenden Index des Ereignisses (was die Summe der Momentanindizes in einem speziellen Zeitintervall bedeutet) und zum Vergleichen des progressiven Index mit einem vorgegebenen Schwellenwert, um den Fahrer vor dem unmittelbaren Bestehen einer gefährlichen Situation oder einer Verringerung des verfügbaren Sicherheitsspielraums zu warnen, und
- wie vorstehend erörtert, in die Steuervorrichtungen der Fahrzeugbewegung einzugreifen.

[0196] Nachstehend wird eine Anzahl von Beispielen gegeben, die die Berechnung der Indizes zeigen, die den spezifischen Ereignissen bei der Bewegung des Fahrzeugs und den entsprechenden Beanspruchungszuständen des Reifens zugeordnet sind. Diese werden auf der Basis des Verfahrens zur Erfassung und Bestimmung des Verhaltens eines Reifens nach der Erfindung ausgeführt. Alle nachstehend beschriebenen Beispiele beziehen sich auf Versuche, die an dem oben genannten Fahrzeug und Sensor ausgeführt sind.

Beispiele

Erster Teil

Beispiel 1

Index, der für den Straßenzustand repräsentativ ist

[0197] Die Beschreibung dieser Art von Ereignis umfasst das fortlaufende Überwachen der Oberflächeneigenschaften des Bodens, über den sich das Fahrzeug bewegt, indem das Vorhandensein von makroskopischen Unregelmäßigkeiten, wie Schlaglöcher, Wellen, Rissen in der Straßenoberfläche usw. festgestellt wird.

[0198] Der Index, der den Straßenzustand wiedergibt, wurde berechnet durch:

- Erfassen des Signals, das von einem Sensor nach der Erfindung in einem Zeitintervall von 6 s und mit einer Abtastgeschwindigkeit (d.h. Erfassen des Momentanwerts des Signals) von 3000 Punkten pro Sekunde abgegeben wird,
- Ausführen einer FFT-Analyse an dem erfassten Signal zur Bestimmung des entsprechenden Spektrums von Frequenzen,
- Begrenzen dieses Spektrums auf den Bereich von Frequenzen, der zwischen 0 und 70 Hz liegt,
- Ausführen der RMS-Berechnung innerhalb des oben erwähnten Bereichs von Frequenzen.

[0199] Wie erwähnt, ist das Ergebnis dieser Berechnung ein numerischer Wert (oder Index), der durch einen der vorher erwähnten Vorgänge, beispielsweise durch Darstellen dieses Index als Funktion eines Raumintervalls (vom Fahrzeug durchfahrene Entfernung) oder in der Zeit veranlasst werden kann. Er kann auch mit einem vorgegebenen Schwellenwert (Alarm) verglichen werden, der die Akzeptierbarkeit des Verhaltens des Reifens oder Fahrzeugs definiert. Dies gibt dem Fahrer periodische Informationen über den Straßenzustand und über den entsprechenden Beanspruchungszustand des Reifens oder Fahrzeugs.

[0200] Durch den vorstehend erwähnten Index können Unregelmäßigkeiten in der Straßenoberfläche, die in dem Signal reflektiert werden, das vom Sensor übertragen wird, wie bereits unter Bezug auf [Fig. 27](#) und [Fig. 29](#) erläutert wurde, quantifiziert werden. Beispielsweise entspricht der Index L einer glatten Straße, der Index I einer unebenen Straße und der Index S einer unbefestigten Straße.

[0201] Die in dem von diesem Index angenommenen Wert zusammengefassten Informationen können vom Fahrer beispielsweise zum Abwenden von Gefahrensituationen verwendet werden, indem er sein Fahrverhalten entsprechend ändert.

[0202] Wenn beispielsweise der Index nahe bei einem vorgegebenen Wert (Gefahrschwelle) liegt, wird der Fahrer darüber informiert, dass der Zustand der Straße besondere Sorgfalt beim Bremsen erfordert oder dass das System Fahrzeug oder Mensch ungewöhnlich beansprucht ist.

Beispiel 2

Index zur Wiedergabe des Wirkungsgrads/der Regulierung der Dämpfer eines Fahrzeugs

[0203] Das von einem Sensor nach der Erfindung gesandte Signal kann anomale Frequenzen enthalten, die als Resonanzfrequenzen der Fahrzeugaufhängungen feststellbar sind, die durch eine raue Straßenoberfläche erregt werden.

[0204] Unter normalen Bedingungen werden die Schwingungen der Aufhängungen von den Dämpfern gedämpft und haben deshalb eine begrenzte Größe.

[0205] Im Falle einer Fehlfunktion der Dämpfer, beispielsweise wenn sie entleert sind, schwingen die Aufhängungen mit ihren eigenen Resonanzfrequenzen auf eine Weise, die von ihrem Normalbetrieb verschieden ist.

[0206] Das von dem Sensor abgegebene Signal wird danach modifiziert, und diese Vibrationen sind aus der spektrographischen Analyse des Signals leicht erfassbar.

[0207] Der entsprechende Index wird berechnet durch:

- Erfassen des von dem Sensor über ein Zeitintervall von 6 s bei einer Abtastrate von 3000 Punkten pro Sekunde abgegebenen Signals,
- Ausführen einer FFT-Analyse an dem erfassten Signal zur Bestimmung des entsprechenden Spektrums von Frequenzen,
- Begrenzen dieses Spektrums innerhalb des Bereichs von Frequenzen, die zwischen 0 und 20 Hz liegen, und
- Ausführen der RMS-Berechnung für den obigen Bereich von Frequenzen.

[0208] Die Beschreibung der Interaktion zwischen Straße, Reifen und Dämpferaufhängungen ermöglicht es, dass dieser Index zum Einstellen der Aufhängungen verwendet wird, auch während sich das Fahrzeug bewegt, wenn das Fahrzeug mit einer "aktiven Aufhängung" ausgerüstet ist.

Beispiel 3

Index, der den Zustand der Momentanspannung eines Reifens wiedergibt

[0209] Wie bereits oben erwähnt und erläutert, kann das von dem Sensor nach der Erfindung erhaltene Signal auch dazu verwendet werden, die Interaktion zwischen dem Reifen und der Kontaktfläche objektiv zu analysieren und den Zustand einer mechanischen Beanspruchung des Reifens (sowohl momentan als auch fortschreitend) anzuzeigen, wenn er sich über die Oberfläche bewegt.

[0210] D.h. mit anderen Worten, dass das von dem Sensor erhaltene Signal dazu verwendet werden kann, die strukturelle Integrität des Reifens zu überwachen.

[0211] Der fortschreitende Beanspruchungszustand des Reifens, also die Veränderung der Spannungen, denen der Reifen mit der Zeit unterworfen wird, kann dazu verwendet werden, die Gesamtermüdung des Reifens zu quantifizieren, um seine restliche Lebensdauer vorherzusagen.

[0212] Der den Spannungszustand des Reifens wiedergebende Index wurde berechnet durch:

- kontinuierliches Erfassen (jede Sekunde) des Signals, das von dem Sensor über dem Zeitintervall von 1 s bei einer Abtastrate von 5000 Punkten pro Sekunde abgegeben wird,
- Ausführen einer FFT-Analyse bei dem erfassten Signal zur Bestimmung des entsprechenden Spektrums von Frequenzen,
- Begrenzen des Spektrums auf den Bereich von Frequenzen, der zwischen 0 und 200 Hz liegt, und
- Ausführen der RMS-Berechnung innerhalb des oben erwähnten Bereichs von Frequenzen.

[0213] Der durch dieses Verfahren erzeugte Index kann mit einem Momentanschwellenindex und/oder mit einem Index verglichen werden, der die maximal zulässige Schwelle angibt. Der Reifenhersteller liefert diese In-

dizes direkt an die Kraftfahrzeughersteller. Der fragliche Index ist extrem wichtig im Falle von Reifen, die erneuert werden, wobei die Karkassenermüdung ein wesentlicher Faktor für die Entscheidung ist, ob eine Erneuerung durchgeführt werden soll.

Beispiel 4

Index, der die verfügbare Haftung wiedergibt

[0214] Erfindungsgemäß hat die Anmelderin in weitem Umfang das Problem gelöst, wie in Realzeit der Wirkungsgrad einer Bremswirkung bestimmt wird, wenn sie bei einem Reifen angelegt wird (d.h. die zwangsweise Reduzierung seiner Winkelgeschwindigkeit).

[0215] Der Wirkungsgrad der Bremswirkung wird durch eine Unzahl von Parametern beeinflusst, von denen der wichtigste der Reibungskoeffizient zwischen dem Reifen und der Kontaktfläche ist, auf der er sich bewegt.

[0216] Der Reibungskoeffizient kann jedoch nicht momentan gemessen und a priori definiert werden, weil er sich fortlaufend von Stelle zu Stelle an seiner Oberfläche ändert und von dem Zustand (trocken, nass, schnee- oder eisbedeckt) der Oberfläche abhängt.

[0217] Bei Verwendung der Erfindung hat sich gezeigt, wie der Zustand zu identifizieren ist, wenn sich der Reifen an der Grenze seiner Haftung befindet.

[0218] Das von dem Sensor erhaltene Signal hat einen harmonischen Inhalt, der proportional zur Drehzahl ist. An der Haftungsgrenze beginnen wenigstens einige der Laufflächenreliefs (Blöcke und/oder Rippen) zu rutschen, und es hat sich gezeigt, dass ein Rutschzustand zwischen diesen Reliefs und der Straße Schwingungen in dem Frequenzbereich von 500 Hz bis 1000 Hz unabhängig von der Drehzahl erzeugt.

[0219] Diese Frequenzen sind in dem Signal erhalten, das von einem Sensor nach der Erfindung abgegeben wird. Es ist deshalb möglich, einen Zustand zu erfassen, bei dem sich die Haftung in einer Längsrichtung (Bremsen oder Beschleunigen), seitwärts (Reifendriften) und in einem Zustand einer kombinierten Spannung in diesen beiden Richtungen an ihrer Grenze befindet, indem in dem Signal das Vorhandensein von Frequenzen erfasst wird, die in dem oben erwähnten Bereich liegen.

[0220] Der Index der verfügbaren Haftung wurde definiert durch:

- kontinuierliches Erfassen (jede Sekunde) des Signals, das von dem Sensor in dem Zeitintervall von 1 Sekunde bei einer Abtastrate von 4000 Punkten pro Sekunde abgegeben wird,
- Ausführen einer FFT-Analyse des erfassten Signals zur Bestimmung des entsprechenden Spektrums von Frequenzen,
- Begrenzen des Spektrums innerhalb des Bereichs von Frequenzen zwischen 500 und 1000 Hz, und
- Ausführen der RMS-Berechnung für den oben erwähnten Bereich von Frequenzen.

[0221] Der auf diese Weise berechnete Index misst die Gesamtgröße der Schwingungen, die von dem Rutschen des erwähnten Laufflächenreliefs auf der Kontaktfläche erzeugt wird. Die Vibrationen erhöhen sich, wenn das Rutschen zunimmt. Der Haftungsindex ist deshalb mit dem Rutschen korreliert.

Beispiel 5

Index für die Reifengleichförmigkeit

[0222] Ein Rad mit einer Felge, die frei von baulichen Ungleichförmigkeiten ist, und mit einem Reifen, der mit einem Sensor nach der Erfindung ausgerüstet ist, wird auf einer glatten Oberfläche unter vorgegebenen Lastbedingungen und bei einem Nennbetriebsdruck und bei einer konstanten Geschwindigkeit rollen gelassen. Dadurch können die Ungleichförmigkeiten des Reifens aufgrund beispielsweise seines Herstellungsprozesses bewertet werden.

[0223] Dies kann durch ein Verfahren der Erfindung erfolgen, wobei die folgenden Schritte ausgeführt werden:

- Erfassen des Signals, das von dem Sensor in einem Zeitintervall von 6 s bei einer Abtastrate von 3000 Punkten pro Sekunde abgegeben wird,
- Ausführen einer FFT-Analyse an dem erfassten Signal zur Bestimmung des entsprechenden Spektrums

von Frequenzen,

- Analysieren dieses Spektrums durch Ausfiltern der Oberschwingungen des Reifens, d.h. durch Ausführen einer "Oberschwingungsanalyse" des Spektrums in dem Bereich, der zwischen der ersten harmonischen und der zwanzigsten harmonischen Schwingung liegt, und
- Ausführen der RMS-Berechnung in dem oben erwähnten Bereich von Oberschwingungen.

[0224] Die oben erwähnte Oberschwingungsanalyse identifiziert diejenigen spezifischen Ungleichförmigkeiten, die Spitzen erzeugen, deren Amplituden dazu führen, dass die Akzeptanzgrenzen, wie sie vom Hersteller des Reifens und/oder des Fahrzeugs erstellt sind, überschritten werden.

[0225] Das Ergebnis der RMS-Berechnung ist deshalb ein Index, der dafür verwendet werden kann, am Reifen auszuführende Modifizierungen zu planen, um diese Ungleichförmigkeiten zu beseitigen.

Beispiel 6

Den Laufflächenverschleiß wiedergebender Index

[0226] Wenn zunächst eine Bezugsgeschwindigkeit und eine Bezugsfahrt, beispielsweise 40 km/h auf einer geraden Straßenstrecke von wenigstens 200 m Länge mit einer insgesamt glatten und gleichförmigen Oberfläche in vorgegebenen Zeitabständen (beispielsweise einmal im Monat) ausgewählt wurden, besteht eine erste Ausgestaltung der Erfindung darin, einen Vergleich auszuführen (in Ausdrücken der Amplitude und der sich hinziehenden Fläche) zwischen den Spitzen der kennzeichnenden Elemente des Signals, das von einem Sensor der Erfindung erzeugt wird, wenn sich der Reifen längs der Straßenstrecke mit der vorstehend erwähnten Geschwindigkeit bewegt, und den entsprechenden Signalspitzen, die während eines früheren, auf die gleiche Weise ausgeführten Versuchs in einem Speicher gespeichert wurden.

[0227] Eine Änderung der Amplitude und/oder der abgeschnittenen Fläche zeigt, dass inzwischen ein Laufflächenverschleiß eingesetzt hat, während eine nicht-homogene Änderung in einer oder mehreren der Spitzen (verglichen mit den anderen Spitzen) das mögliche Vorhandensein eines ungleichförmigen Laufflächenverschleißes anzeigt.

[0228] Bei einer alternativen Ausgestaltung der Erfindung kann, wie bei dem vorstehenden Beispiel 5 beschrieben ist, dieses Ereignis alternativ erfasst werden, indem eine Oberschwingungsanalyse des Frequenzspektrums ausgeführt wird, das aus der FFT-Analyse des erfassten Signals extrahiert wird, indem die Oberschwingungen analysiert werden, die sich auf die Teilungen des Laufflächenmusters beziehen.

[0229] Die oben erwähnte Oberschwingungsanalyse gibt die Werte der Amplituden dieser Oberschwingungen, die proportional zur Dicke des Reliefs (Rippen und/oder Blöcke) des Laufflächenmusters sind, und die RMS-Berechnung ordnet den obigen Werten einen Verschleißindex zu. Diese Werte sind am höchsten bei neuen Reifen und am niedrigsten bei vollständig verschlissenen Reifen. Für den Verschleißindex wird ein Schwellenwert definiert, unter dem der Reifen als verschlissen angesehen wird und deshalb durch einen neuen Reifen ausgetauscht werden muss.

Zweiter Teil

[0230] Die Information, die in dem Signal enthalten ist, das aus einem Sensor nach der Erfindung kommt, der an einem Fahrzeugrad angebracht ist, ist für Änderungen der Kräfte und Geschwindigkeiten, die an dem Rad anliegen, beschreibend.

[0231] Abhängig von der Art des Ereignisses, das überwacht und/oder gesteuert werden soll, ist es erforderlich, das Signal in seine Komponenten (d.h. die obigen Änderungen in Kräfte und Geschwindigkeiten) längs dreier, zueinander senkrechter Bezugsachsen x, y, z wie folgt aufzubrechen:

- Änderung der vertikalen Kraft ΔF_z ,
- Änderung der Längskraft ΔF_x ,
- Änderung der seitlichen Kraft ΔF_y ,
- Änderung der Winkelgeschwindigkeit $\Delta \omega$.

[0232] Nach einer Ausführung der Erfindung wird dieses Aufbrechen des Signals bei jedem Signal ausgeführt, das aus jedem einzelnen Rad des Fahrzeugs kommt.

[0233] Um die individuellen Komponenten aus einem globalen Wert, beispielsweise einem einzigen Signal, das von einem einzigen Sensor abgegeben wird, errechnen zu können, werden die folgenden Gleichungen verwendet, die die Fahrzeugdynamik beschreiben:

- eine Gleichung, die die Lastübertragung von einer Seite des Fahrzeugs zur anderen beschreibt,
- eine Gleichung, die die Lastübertragung zwischen der Vorderachse und der Hinterachse beschreibt,
- eine Gleichung, die die Gierbewegung des Fahrzeugs beschreibt, und
- eine Gleichung für eine Geradeausbewegung (vertikale Dynamik des Fahrzeugs).

[0234] Wenn man beispielsweise die Änderungen der seitlichen Kraft ΔF_y während der Kurvendurchfahrt haben möchte, gilt folgendes Vorgehen:

- Es werden die Signale für die vier Fahrzeigräder erfasst, nämlich vorne rechts (FR), vorne links (FL), hinten rechts (RR) und hinten links (RL),
- es wird jedes dieser Signale durch eines oder mehrere Verfahren analysiert, die ausgewählt werden aus der FFT-Analyse, der Frequenzauswahl im Spektrum und der RMS-Berechnung, und
- es werden die RMS-Werte der Vorderräder (Vorderachse) getrennt von denen der Hinterräder (Hinterachse) berechnet.

[0235] Dieses Vorgehen besteht, wie zu sehen ist, im Bewerten der einzelnen Komponenten, die für die Vorderachse charakteristisch sind, d.h. des RMS-Gesamtwerts der Vorderachse (RMS_FRO), die durch die Summe der RMS-Werte des vorderen rechten Rades (RMS_FR) und des vorderen linken Rades (RMS_FL) angegeben ist und gleich der Summe gesetzt wird aus:

- Änderungen der Vertikalkraft an beiden Vorderrädern (d.h. $\Delta F_z_{FR} + \Delta F_z_{FL}$),
- Änderungen in der seitlichen Kraft an beiden Vorderrädern (d.h. $\Delta F_y_{FR} + \Delta F_y_{FL}$),
- Änderungen in der Längskraft an beiden Vorderrädern (d.h. $\Delta F_x_{FR} + \Delta F_x_{FL}$), und
- Änderungen in der Winkelgeschwindigkeit der beiden Vorderräder (d.h. $\Delta \omega_{FR} + \Delta \omega_{FL}$).

[0236] Hinsichtlich der Ausdrücke dieser Gleichung ist hervorzuheben, dass

- a) das analysierte Signal fortlaufend und zyklisch und daneben beschreibend für den Gesamtzustand der Spannungen des Reifens bei Perioden ist, die gleich einer Radumdrehung sind. Es ist möglich, die Winkelgeschwindigkeit des Rads zu berechnen, indem die Periode des Signals (somit jeder Radumdrehungs-Auslöseeffekt) gemessen wird oder indem das Signal innerhalb des Zeitraums analysiert wird, d.h. bevor die Radumdrehung abgeschlossen ist. Bei dem letzteren Verfahren werden die Abschnitte zwischen den Spitzen des Momentensignals mit entsprechenden Abständen eines sich auf einen vorhergehenden Zeitraum beziehenden Signals verglichen, woraus die Winkelgeschwindigkeit auch innerhalb einer Radumdrehung gelesen werden kann. Auf diese Weise können schnelle und plötzliche Änderungen der Geschwindigkeit des Rads bewertet werden. Dementsprechend sind die Ausdrücke bekannt, die sich auf die Winkelgeschwindigkeiten in der oben erwähnten Gleichung beziehen;
- b) Änderungen der Vertikalkraft, wenn die niederfrequente Dynamik des Fahrzeugs ignoriert wird, gleich und entgegengesetzt an den Rädern der gleichen Achse sind, was bedeutet, dass die algebraische Summe dieser Änderungen an jeder Achse null ist; und
- c) unter der Annahme, dass bei dem fraglichen Beispiel das Kurvendurchfahrmanöver ohne Beschleunigen oder Verzögern ausgeführt wird, die algebraische Summe der Änderungen der Längskraft an jeder Achse wiederum null ist.

[0237] Unter diesen Voraussetzungen wird in dem speziellen fraglichen Fall die zu untersuchende Gleichung auf die Gleichheit zwischen RMS_FRO und die Änderung der seitlichen Kraft an der Vorderachse reduziert. Da RMS_FRO bekannt ist (abgeleitet aus dem Signal durch das oben beschriebene Verfahren), gibt diese Gleichung den Wert für die oben erwähnte Änderung der seitlichen Kraft an der Vorderachse.

[0238] Für die Hinterachse folgt das gleiche Vorgehen.

[0239] Sollte die in Punkt c) angegebene Voraussetzung nicht zutreffen, d.h. sollte das Kurvendurchfahrmanöver mit Beschleunigung oder Verzögerung ausgeführt werden, ist die algebraische Summe der Änderungen der Längskraft an jeder Achse nicht null. Damit man die Gleichung lösen kann, muss sie mit der Gleichung für die Gierbewegung des Fahrzeugs kombiniert werden. Auf diese Weise ist es möglich, alle Unbekannten zu berechnen, d.h. die Änderungen der seitlichen Kraft und der Längskraft.

[0240] In gleicher Weise ist es möglich, dann die anderen Kraftänderungen zu bestimmen. In dem Fall, dass beispielsweise das fragliche Manöver rein eine Angelegenheit der Beschleunigung oder Verzögerung ist, wird die Gleichung, die die Überführung der Last zwischen der Hinterachse und der Vorderachse beschreibt, in

Kombination mit der Giergleichung geschrieben. Dies ergibt die Änderungen der Längskraft.

[0241] Nachstehend wird eine Anzahl von Beispielen wiedergegeben, die die Berechnung der Indizes zeigen, die mit den speziellen Ereignissen in einer Wechselbeziehung stehen, die sich auf das Verhalten des Fahrzeugs beziehen, und zwar auf der Basis des Verfahrens nach der Erfindung in einem Fall, in dem es erforderlich ist, das Signal in seine Komponenten, wie oben beschrieben, aufzubrechen.

Beispiel 7

Den Komfort wiedergebender Index

[0242] Erfindungsgemäß können die Eigenschaften des Signals, das aus dem dem Reifen zugeordneten Sensor kommt, für eine objektive Analyse der Reifen/Kontaktflächen-Interaktion und zum Quantifizieren der Störung dieser Interaktion zum Vorteil des Fahrers des Fahrzeugs und von Insassen verwendet werden. D.h. mit anderen Worten, dass einer der Informationspunkte, die in dem Signal enthalten sind, dazu verwendet wird, einen Komfortindex zu bestimmen, der das Wohlbefinden der Fahrzeuginsassen wiedergibt.

[0243] Der den Komfort wiedergebende Index wird berechnet durch:

- Erfassen des Signals, das von dem Sensor in einem Zeitintervall von 6 s mit einer Abtastrate von 3000 Punkten pro Sekunde abgegeben wird,
- Ausführen einer FFT-Analyse an dem erfassten Signal zur Bestimmung des entsprechenden Spektrums von Frequenzen,
- Begrenzen dieses Spektrums auf den Bereich von Frequenzen, der zwischen 70 und 250 Hz liegt, und
- Ausführen der RMS-Berechnung in dem oben erwähnten Bereich von Frequenzen.

[0244] Das Diagramm von [Fig. 32](#) zeigt das Frequenzspektrum, das durch die FFT-Analyse des Signals extrahiert wird, und identifiziert den vorgegebenen Bereich von Frequenzen, der genommen wird, um das fragliche Phänomen zu beschreiben. Dieser Bereich wurde mit einer Auflösung von 0,5 Hz aufgeteilt. Das Spektrum kann ebenfalls auf der Basis der Frequenzbänder aufgeteilt werden, die die physiologische Empfindlichkeit eines Menschen kennzeichnen, wie es in der spezifischen internationalen Norm angegeben ist (beispielsweise in der Norm ISO 2631/1, erste Ausgabe mit dem Datum 15/05/1985, und 2631/2, erste Ausgabe mit dem Datum 15/02/1989).

[0245] Der Vorgang des Aufbrechens des Signals, wie vorstehend beschrieben, wird für jede der seitlichen, Längs- und Vertikalrichtung ausgeführt, um drei Komfortindizes zu erhalten, einen für jede Bezugsachse.

[0246] Insbesondere werden ein geradliniger Komfortindex, der Änderungen in der vertikalen Kraft zugeordnet ist, die von den Eigenschaften der Kontaktfläche erzeugt werden, ein Kurvendurchlauf-Komfortindex, der den Änderungen der seitlichen Kraft zugeordnet ist, die von dem Verhalten des Fahrzeugs beim Driften erzeugt wird, und ein Längs-Komfortindex bestimmt, der Änderungen in der Längskraft zugeordnet ist, die von dem Vorhandensein eines Antriebs- oder Bremsdrehmoments erzeugt wird.

[0247] Es ist natürlich möglich, dass man einen "globalen" Komfortindex erhält, indem man das Signal bei den vorherigen Beispielen verarbeitet, ohne es in seine axialen Komponenten aufzubrechen, wobei in diesem Fall der Index sich auch auf einen einzelnen Reifen beziehen kann.

[0248] Ein durch die RMS-Berechnung nach der Erfindung erhaltener Komfortindex ist in den [Fig. 33](#) und [Fig. 34](#) dargestellt.

[0249] Diese Figuren zeigen jeweils im Einzelnen den Momentankomfortindex und den progressiven Komfortindex über der Zeit. Der progressive Komfortindex, abgelesen bei einer gegebenen Zeit t_1 , stellt die Summierung aller Komfortindizes über der Zeit bis zur Zeit t_1 dar.

[0250] [Fig. 35](#) zeigt einen Vergleich zwischen dem Komfortindex, der aus einem Signal erhalten wird, das sich auf einen Reifen bezieht, der sich über zwei Kontaktflächen bewegt, die voneinander verschieden sind.

[0251] Im Einzelnen kommt das Signal **200** in [Fig. 35](#) von einem Sensor nach der Erfindung, der dem Reifen an dem vorderen rechten Rad des oben erwähnten Autos zugeordnet ist, das sich geradlinig auf Asphalt mit einer Geschwindigkeit von 60 km/h bewegt. Dieses durch die FFT-Analyse verarbeitete Signal ergab ein Fre-

quenzspektrum **210**. In gleicher Weise kommt das Signal **300** in [Fig. 35](#) von einem identischen Sensor, der dem Reifen an dem vorderen rechten Rad des gleichen Autos zugeordnet ist, das sich geradlinig auf Pflastersteinen mit einer Geschwindigkeit von 60 km/h bewegt. Dieses durch die FFT-Analyse verarbeitete Signal ergibt das Frequenzspektrum **310**. Die für die Spektren **210** und **310** ausgeführte RMS-Berechnung erzeugte die jeweiligen Komfortindizes, die bei **220** und **320** angegeben sind. Wenn der optimale Komfortindex auf 100 gesetzt wird, ist das Ergebnis ein Komfortindex von 70 für das Fahrzeug auf Asphalt und ein Komfortindex von 30 für das Fahrzeug auf Pflastersteinen.

[0252] Zu erwähnen ist, dass man entschieden hat, eine Konvention zu verwenden, wodurch der Komfort umso geringer ist, je geringer der Komfortindex ist.

[0253] Es ist möglich, einen Schwellenwert für den Komfortindex zu setzen, mit dem sich der Fahrer Augenblick für Augenblick oder in vorgegebenen Zeitintervallen vergleichen kann.

[0254] Dieser Schwellenwertindex kann von dem Fahrer selbst gesetzt oder dadurch definiert werden, dass Fahrer in eine Anzahl von Gruppen aufgeteilt werden, die sich durch unterschiedliche Fahrgewohnheiten auszeichnen. Es ist wahrscheinlich, dass dieser Schwellenwert tatsächlich zwischen Personen sehr unterschiedlich sein kann, die lange Fahrten gewohnt sind, und zwischen Personen, die das Auto nur selten benutzen.

[0255] Zusätzlich kann der progressive Komfortindex, wenn er aus dem Beginn der Fahrt berechnet wird, die körperliche Ermüdung des Fahrers, die sich im Lauf der Fahrt einstellt, ausdrücken, und ihr Vergleich mit einem vorgegebenen Schwellenwertindex kann den Fahrer anweisen, wann er anhalten muss, ohne seine Sicherheit und die der Fahrgäste zu gefährden. Auf diese Weise ist das Erfordernis einer Pause nicht auf die Anzahl von Kilometern bezogen, die tatsächlich gefahren wurden, sondern auf die körperliche Ermüdung des Fahrers, da eine Straße, die ungerade ist, und ein Handeln erfordert, zu einer größeren Müdigkeit führt als eine gerade Straße bei guten Bedingungen.

[0256] Erfindungsgemäß kann der Komfortindex dazu verwendet werden, Fahrzeugsteuervorrichtungen zu betätigen, beispielsweise die Aufhängungen, indem ihre Steifigkeiten verändert wird, um sie dem Straßenzustand und/oder den Präferenzen des Fahrers anzupassen.

Dritter Teil

[0257] Es wurde gefunden, dass abhängig von der Art des zu überwachenden Ereignisses die oben erwähnte spektrale Frequenzanalyse (FFT) unnötig sein kann.

[0258] Wenn beispielsweise die Größe des in Betracht gezogenen Ereignisses in Beziehung zu der Amplitude des Signals steht, das von dem Sensor der Erfindung geliefert wird, reicht eine Analyse dieses Signals über der Zeit.

[0259] Zu dieser Variante der Erfindung gehört lediglich das Stadium der Verarbeitung des Signals durch die vorstehend erwähnte RMS-Berechnung.

[0260] Nachstehend folgt eine Anzahl von Beispielen, die die Bestimmung der Indizes zeigen, die in einer Wechselbeziehung zu spezifischen Ereignissen stehen, die sich auf das Verhalten eines Fahrzeugs auf der Basis dieser Variante der Erfindung beziehen.

Beispiel 8

Das Phänomen des Aquaplanings darstellender Index

[0261] Unter Aquaplaning-Bedingungen erreicht für eine vorgegebene Vorwärtsgeschwindigkeit des Fahrzeugs das Wasser, das auf die Oberfläche des Reifens trifft, einen hydraulischen Druck, der gleich dem ist, den der Reifen mit der Kontaktfläche austauscht, über die er sich bewegt.

[0262] Das bedeutet, dass das Wasser, das sich unter der Aufstandsfläche des Reifens aufbaut, dazu neigt, den Reifen (hydraulischer Druck) abzuheben und den Teil des Reifens in Kontakt mit der Oberfläche zu verringern, mit anderen Worten, die Aufstandsfläche wird kleiner.

[0263] Die Überwachung dieses Ereignisses erfordert die Verwendung von wenigstens einem Sensor der Er-

findung, der an wenigstens einem der Vorderräder des Fahrzeugs angebracht ist, da es die Vorderräder sind, die zuerst das Aquaplaning-Phänomen entwickeln.

[0264] Die Amplitude der Signale, die von den Sensoren kommen, hängt von der Interaktion zwischen dem Reifen und der Straße und somit auch von den Abmessungen der Aufstandsfläche des Reifens ab. Während des Aquaplanings verringert sich letztere, wenn das Phänomen zunimmt, und somit die Amplitude des Signals geringer wird.

[0265] Deshalb ist es für Aquaplaning-Zustände wesentlich, die Amplitude der Signale zu überwachen, die von den Vorderrädern kommen. Insbesondere ist es wesentlich, den Gradienten (d.h. die Änderung über der Zeit) dieser Amplitude zu überwachen.

[0266] Der Gradient nimmt zu, wenn die Stärke des Phänomens zunimmt.

[0267] Wenn die obige RMS-Verarbeitung direkt auf das Signal angewendet wird, das aus dem Sensor abgegeben wird, wird ein Aquaplaning-Index erzeugt, der genauso, wie bereits beschrieben, von einer der Operationen verarbeitet werden kann, die in den vorstehenden Beispielen angegeben sind.

[0268] Insbesondere ist es nach Definition eines Ereignis-Schwellenwertindex möglich, den momentan berechneten Index mit dem Schwellenwertindex zu vergleichen und den Fahrer bezüglich der Wahrscheinlichkeit eines unmittelbaren vorstehenden Aquaplanings zu warnen, wobei es in diesem Fall ratsam ist, die Fahrzeuggeschwindigkeit zu verringern.

[0269] Nochmals, der Momentanindex kann zur Regulierung der oder zu einem automatischen Eingreifen in die relevanten Steuersysteme des Fahrzeugs (ABS und dergleichen) verwendet werden.

Beispiel 9

Das Reifenplattwerden wiedergebender Index

[0270] Wenn ein Reifen auf den normalen Betriebsdruck aufgepumpt ist und sich über der Kontaktfläche unter vorgegebenen Standardbedingungen bewegt, erzeugt der Sensor der Erfindung mit einer Periode, die gleich einer Umdrehung des Rads ist, ein periodisches Signal, das eine gut definierte Form hat, die insbesondere von den Eigenschaften des Reifens abhängig ist.

[0271] [Fig. 30](#) zeigt das Signal, das von einem Sensor der Erfindung erhalten wird, der dem vorderen rechten Rad des oben erwähnten Fahrzeugs zugeordnet ist, wenn es sich geradlinig auf einer grundsätzlich glatten und ebenen Oberfläche mit einer Geschwindigkeit von 60 km/h bewegt. Die Form des Signals, insbesondere die Amplitude der kennzeichnenden Elemente dieses Signals, über dem betrachteten Zeitintervall (0,5 s) gibt diesen Zustand wieder.

[0272] Im Falle eines Plattwerdens ändert sich die Form dieser Kurve gemäß [Fig. 31](#) grundsätzlich, wo das Signal gezeigt ist, das von dem gleichen Rad wie in [Fig. 30](#) erzeugt wird, das sich unter dem gleichen Zustand mit einem Aufpumpdruck bewegt, der 50% des normalen Betriebsdrucks beträgt.

[0273] Auch in diesem Fall kann das von dem Sensor der vorliegenden Erfindung erzeugte Signal noch verwendet werden, insbesondere durch RMS-Berechnung, um einen Augenblick für Augenblick beschreibenden Index des Aufpumpzustands eines Reifens zu erhalten. Vorteilhafterweise ist es nach Bestimmen eines Schwellenwertindex möglich, mit Hilfe eines Vergleichs des Schwellenwertindex mit dem Momentanindex ein spezifisches Signal, beispielsweise einen Alarm zu erzeugen, der dann dem Fahrer des Fahrzeugs übermittelt wird, um ihn vor dem teilweisen oder vollständigen Plattwerden des Reifens zu warnen.

[0274] Zu betonen ist, dass das Wissen dieses Momentanindex eine automatische Einstellung und/oder Eingreifen auf die Fahrzeugsteuersysteme und/oder die Wiederherstellung des Aufpumpdrucks der Reifen an dem fahrenden Fahrzeug ermöglicht.

Beispiel 10

Die Straßenhaftung auf Geradeausfahrt wiedergebender Index

[0275] Die Straßenhaftung bei Geradeausfahrt wird als Änderung der dynamischen vertikalen Last auf ein Rad eines vorgegebenen fahrenden Fahrzeugs ausgedrückt. Je kleiner diese Änderung der vertikalen dynamischen Last ist, wenn sich die Betriebszustände ändern, desto größer ist die Straßenhaftung des an dem Rad angebrachten Reifens. D.h. mit anderen Worten, dass der Reifen, der dazu neigt, sich am wenigstens abzuheben, wenn er sich über die Kontaktfläche bewegt, derjenige ist, der die besten Straßenhaftungseigenschaften hat.

[0276] Der Index dieses Ereignisses, das die Änderung der Vertikallast darstellt, die sich bei dem Rad ergibt, kann, wie bei den vorherigen Beispielen 6 und 7 beschrieben wurde, berechnet und in Analogie zu den Aufzählungen, die wiederholt unter Bezug auf die anderen Fälle angegeben wurden, verwendet werden, die automatischen Fahrzeugsteuereinrichtungen einzustellen.

Vierter Teil

[0277] Es wurde gefunden, dass, auch wenn die Bestimmung des Ereignisses, bezogen auf eine Art, auf eine Analyse der Änderung des Signals begrenzt werden kann, das von einem Sensor der Erfindung als Funktion der Zeit erzeugt wird, es erforderlich und/oder ratsam sein kann, das Signal in seine axialen Komponenten, wie vorstehend beschrieben, zu zerlegen.

[0278] Zu dieser Variante der Erfindung gehört nur die Verarbeitung von einzelnen Komponenten des Signals durch die oben beschriebene RMS-Berechnung.

[0279] Es folgt nun eine Anzahl von Beispielen, die die Berechnung der Indizes bezogen auf spezifische Ereignisse im Verhalten eines Fahrzeugs auf der Basis dieser Variante der Erfindung zeigen.

Beispiel 11

Die Überführung einer vertikalen Last wiedergebender Index

[0280] Die Information über die Überführung einer vertikalen Last ist durch gleichzeitiges Analysieren von Änderungen der vertikalen Kraftkomponente (Last) erhältlich, die in Signalen enthalten ist, die von den Sensoren der Erfindung kommen, die wenigstens einem Paar von Rädern des Fahrzeugs zugeordnet sind.

[0281] Da die Amplitude dieser Komponente von der vertikalen Last an jedem Rad abhängt, wird während der Ereignisse, beispielsweise beim Durchfahren einer Kurve, beim Bremsen und Beschleunigen, beobachtet, dass die Amplitude des Signals an den stärker belasteten Rädern während des fraglichen Ereignisses zunimmt und bei anderen Rädern kleiner wird.

[0282] Dieses Ereignis kann leicht von einer Erhöhung der Amplitude des Signals unterschieden werden, die durch eine Geschwindigkeitszunahme verursacht wird, indem die Signale eines fahrenden Fahrzeugs (in Geradeausfahrt mit konstanter Geschwindigkeit) bei einer Geschwindigkeit v_1 und danach bei einer Geschwindigkeit $v_2 > v_1$ miteinander verglichen werden. Man sieht, dass die größere Amplitude der Signale, wenn man ein Fahrzeug betrachtet, das mit der Geschwindigkeit v_2 fährt, verglichen mit dem gleichen Fahrzeug, das mit der Geschwindigkeit v_1 fährt, an allen Rädern gleichzeitig auftritt, da alle vier Räder die gleiche Geschwindigkeitsinformation liefern.

[0283] [Fig. 36](#) und [Fig. 37](#) zeigen die Abfolge der Operationen, die erforderlich sind, um den Überführungsindex einer Last in den Fällen eines Fahrzeugs zu berechnen, das nach rechts bzw. nach links dreht.

[0284] Gemäß der vorstehend erwähnten Variante der Erfindung zeigt [Fig. 36](#) im Einzelnen die Amplitude über der Zeit der Signale **410** und **420**, die von einem vorderen rechten Reifen bzw. einem vorderen linken Reifen kommen, die sich mit einer Geschwindigkeit von 110 km/h auf einem Kurvenweg nach rechts bewegen. Das Signal **420** zeigt verglichen mit dem Signal **410** eine größere Amplitude als das letztere, wodurch demonstriert wird, dass beim Drehen nach rechts es der vordere linke Reifen ist, der unter die größte Beanspruchung kommt.

[0285] [Fig. 36](#) zeigt den durch die RMS-Berechnung erhaltenen Differenzwert zwischen dem Signal, das von einem Sensor der Erfindung kommt, der dem vorderen rechten Rad zugeordnet ist einerseits, und dem von einem gleichen Sensor, der dem vorderen linken Rad zugeordnet ist, andererseits, was dem Index einer Überführung einer Last entspricht, die diesem Ereignis zugeordnet ist. Insbesondere dann, wenn 100 der optimale Index der Lastüberführung ist, liegt der in [Fig. 36](#) gezeigte Bezugsindex **430** bei 70.

[0286] In gleicher Weise wie [Fig. 36](#) zeigt [Fig. 37](#) die zeitabhängige Amplitude der Signale **510** und **520**, die einerseits von einem Sensor der Erfindung, der dem vorderen rechten Reifen zugeordnet ist, und andererseits von einem ähnlichen Sensor kommt, der dem vorderen linken Reifen zugeordnet ist, und zwar des oben erwähnten Fahrzeugs, das mit einer Geschwindigkeit von 110 km/h auf dem Weg fährt, der eine Kurve nach links bildet. In diesem Fall hat das Signal **510**, verglichen mit dem Signal **520**, eine Amplitude, die größer ist als die des letzteren, wodurch bestätigt ist, dass beim Drehen nach links der der größten Beanspruchung unterliegende Reifen der vordere rechte Reifen ist.

[0287] [Fig. 37](#) zeigt den durch die RMS-Berechnung erhaltenen Differenzwert zwischen den jeweiligen Signalen **510** und **520**, was dem Index der Überführung der Last entspricht, der diesem Ereignis zugeordnet ist. Insbesondere dann, wenn 100 der optimale Index der Lastüberführung ist, liegt der Bezugsindex **530** in [Fig. 37](#) bei 50.

Beispiel 12

Die Beanspruchung aus dem Drehmoment wiedergebender Index

[0288] Ein Signal aus einem Sensor der Erfindung, das erzeugt wird, wenn das an ein sich bewegendes Rad angelegte Drehmoment sich ändert, hat plötzliche zeitliche Änderungen in der Entfernung zwischen den verschiedenen kennzeichnenden Elementen des Signal aufgrund der Änderungen der Geschwindigkeit des Rads, wenn es durch eine Reihe von Längsbeschleunigungen und Verzögerungen des Fahrzeugs hindurchgeht. Diese Beschleunigungen und Verzögerungen sind für den Fahrer des Fahrzeugs und für die Fahrgäste unangenehm.

[0289] Erfindungsgemäß ist es wiederum durch Verwendung der RMS-Berechnung möglich, einen Index zu erhalten, der das Ereignis (Beschleunigungen und Verzögerungen in Längsrichtung, d.h. der x-Achse) beschreibt, das, falls erforderlich, mit einem vorgegebenen Schwellenwertindex verglichen werden kann, wie es vorstehend unter Bezug auf die anderen Arten von Ereignissen beschrieben ist.

Patentansprüche

1. System zur kontinuierlichen Bestimmung der Interaktion zwischen einem Reifen (**1**) und dem Boden während der Bewegung eines Kraftfahrzeugs,
 - wobei zu dem System der Reifen (**1**) und eine Verarbeitungseinrichtung (**8**) gehören,
 - wobei der Reifen (**1**) eine Karkasse (**2**), eine Lauffläche (**3**), Gurtlagen (**6**), Seitenwände (**4**), Wulste (**5**) und wenigstens einen ersten Sensor (**7**; **307**; **407**; **507**; **607**; **707**; **807**) aufweist, der für ein Zusammenarbeiten der Verarbeitungseinrichtung (**8**) zugeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet**,
 - dass der erste Sensor (**7**; **307**; **407**; **507**; **607**; **707**; **807**) ein langgestrecktes piezoelektrisches Element (**10**; **12**; **20**; **210**) aufweist, dessen Länge wenigstens zweimal größer ist als seine Breite und das sich längs eines ersten Abschnitts des Reifens (**1**) erstreckt, um ein erstes elektrisches Signal zu liefern, das durch die Drehung des Reifens (**1**) erzeugt und zyklisch bei jeder Umdrehung des Reifens (**1**) gebildet wird,
 - wobei das erste elektrische Signal aufgrund von Ungleichförmigkeiten des Reifens (**1**) charakteristische Elemente aufweist und
 - wobei die Verarbeitungseinrichtung (**8**) in der Lage ist, das erste elektrische Signal zu erfassen und Änderungen bei den charakteristischen Elementen des ersten elektrischen Signals festzustellen, wodurch die Interaktion zwischen dem Reifen (**1**) und dem Boden während der Bewegung des Kraftfahrzeugs bestimmt wird.
2. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Signal proportional zu Änderungen der Verformung ist, denen der erste piezoelektrische Sensor (**7**; **307**; **407**; **507**; **607**; **707**; **807**) während der Drehung des Reifens (**1**) unterliegt.
3. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der erste piezoelektrische Sensor (**7**) längs wenigstens eines Abschnitts eines vorgegebenen Umfangs des Reifens (**1**) aufgebracht ist.

4. System nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Umfang ein Äquatorialumfang ist.
5. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der erste piezoelektrische Sensor (**307**) längs eines Abschnitts eines meridianen Profils (**16**) des Reifens (**1**) aufgebracht ist.
6. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der erste piezoelektrische Sensor (**7**) an einer Innenfläche der Karkasse (**2**) aufgebracht ist.
7. System nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der erste piezoelektrische Sensor (**7**) in die Karkasse (**2**), in die Gurtlagen (**6**), in die Lauffläche (**3**) oder in einen Wulst (**5**) eingebettet ist.
8. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass es wenigstens einen zweiten piezoelektrischen Sensor (**107**; **207**) aufweist, der dem Reifen (**1**) zugeordnet ist und der ein langgestrecktes piezoelektrisches Element (**12**) aufweist, dessen Länge wenigstens zweimal größer als seine Breite ist und das sich längs eines zweiten Abschnitts des Reifens (**1**) erstreckt und in der Lage ist, ein zweites elektrisches Signal zuzuführen, das durch die Drehung des Reifens (**1**) erzeugt und zyklisch bei jeder Umdrehung des Reifens (**1**) gebildet wird, wobei das zweite elektrische Signal aufgrund von Ungleichförmigkeiten des Reifens (**1**) charakteristische Elemente aufweist und die Verarbeitungseinrichtung (**8**) in der Lage ist, das zweite elektrische Signal zu erfassen und Änderungen der charakteristischen Elemente der ersten und zweiten elektrischen Signale festzustellen, wodurch die Interaktion zwischen dem Reifen (**1**) und dem Boden während der Bewegung des Kraftfahrzeugs kontinuierlich bestimmt wird.
9. System nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Signal proportional zu den Änderungen der Verformung ist, der der zweite piezoelektrische Sensor (**107**; **207**) während der Drehung des Reifens (**1**) unterliegt.
10. System nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite piezoelektrische Sensor (**107**) längs eines Umfangs aufgebracht ist, der einen Teil des Wulstes (**5**) bildet.
11. System nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite piezoelektrische Sensor (**207**) längs eines Wulstabschnitts eines meridianen Profils (**12**) des Reifens (**1**) aufgebracht ist.
12. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der erste und der zweite piezoelektrische Sensor (**10**) piezoelektrische Koaxialkabel sind.
13. System nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das piezoelektrische Koaxialkabel (**10**) einen zentralen Kern aus elektrisch leitendem Material, eine Isolierschicht (**12**), die von einem piezoelektrischen Polymer gebildet wird, eine Netzhüllung (**13**), die vor einem elektrisch leitenden Material gebildet wird, und einen Mantel (**14**) aufweist.
14. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der piezoelektrische Sensor (**407**; **507**) ein Kabel (**110**; **210**) aufweist, das aus piezoelektrischen Abschnitten (**20**) und nichtpiezoelektrischen elektrisch leitenden Abschnitten (**21**) besteht, die elektrisch verbunden sind.
15. System nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die piezoelektrischen Abschnitte (**20**) und die nichtpiezoelektrischen leitenden Abschnitte (**21**) abwechselnd aufeinanderfolgend angeordnet sind.
16. System nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die piezoelektrischen Abschnitte (**20**) und die nichtpiezoelektrischen leitenden Abschnitte (**21**) in einer Zick-Zack-Form aufeinanderfolgen.
17. System nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die piezoelektrischen Abschnitte (**20**) und die nichtpiezoelektrischen leitenden Abschnitte (**21**) fluchtend ausgerichtet sind.
18. System nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass das piezoelektrische Kabel (**210**) einen zentralen leitenden Kern (**211**), rohrförmige Abschnitte (**112**) aus einem isolierenden piezoelektrischen Material und rohrförmige Abschnitte (**121**) aus einem nichtpiezoelektrischen isolierenden Material, welche den Kern abdecken und in Längsrichtung in einer abwechselnden Anordnung aufeinanderfolgen, ein elektrisch leitendes Netz (**213**), das um die Abschnitte (**112**, **121**) herumgewickelt ist, und einen abdeckenden Mantel (**214**) aufweist.

19. System nach Anspruch 1 zur kontinuierlichen Bestimmung der Interaktion zwischen einem Reifen **1**, der auf einer Felge montiert ist, und dem Boden während der Bewegung eines Kraftfahrzeugs, dadurch gekennzeichnet, dass der erste piezoelektrische Sensor (**707**) in einer Ringnut (**35**) aufgenommen ist, die in einer Schulter (**34**) einer Felge (**15**) ausgespart ist und in Kontakt mit der Außenfläche des Wulstes (**5**) bleibt.

20. System nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass der erste piezoelektrische Sensor (**807**) an einer Schulter (**34**) einer Felge (**15**) angebracht ist und Abschnitte (**36**) aufweist, die für die Verformung eines Wulstes (**5**) empfindlich sind, sich auf der Innenseite der Schulter (**34**) befinden und mit Abschnitten (**37**) abwechseln, die für die Verformung des Wulstes (**5**) unempfindlich sind und sich auf der Außenseite der Schulter (**34**) befinden.

21. System nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass an der Schulter (**34**) der Felge (**15**) ein Funksignalsender angebracht ist.

Es folgen 18 Blatt Zeichnungen

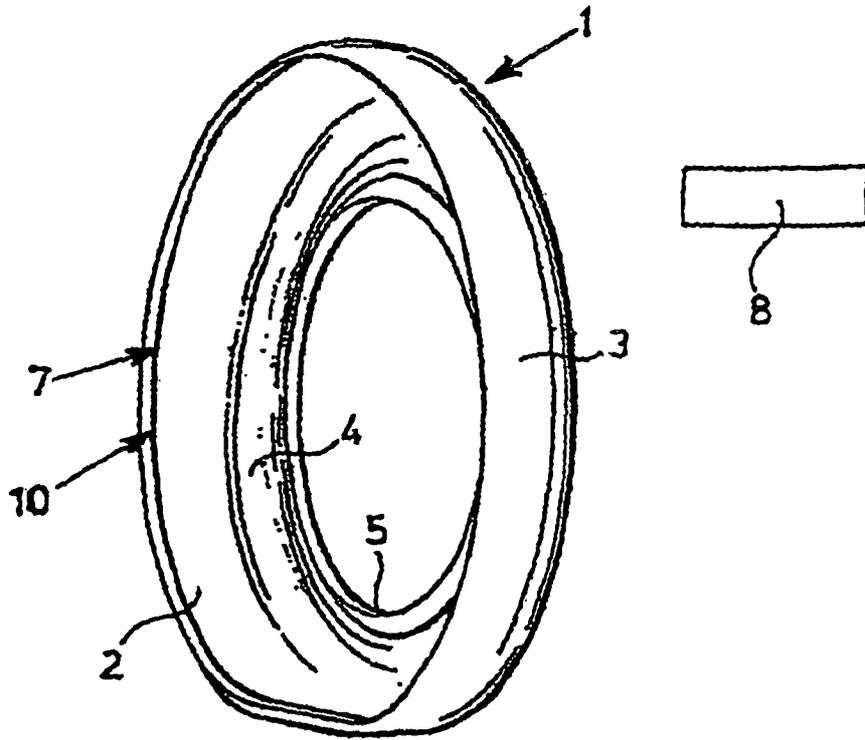


Fig. 1

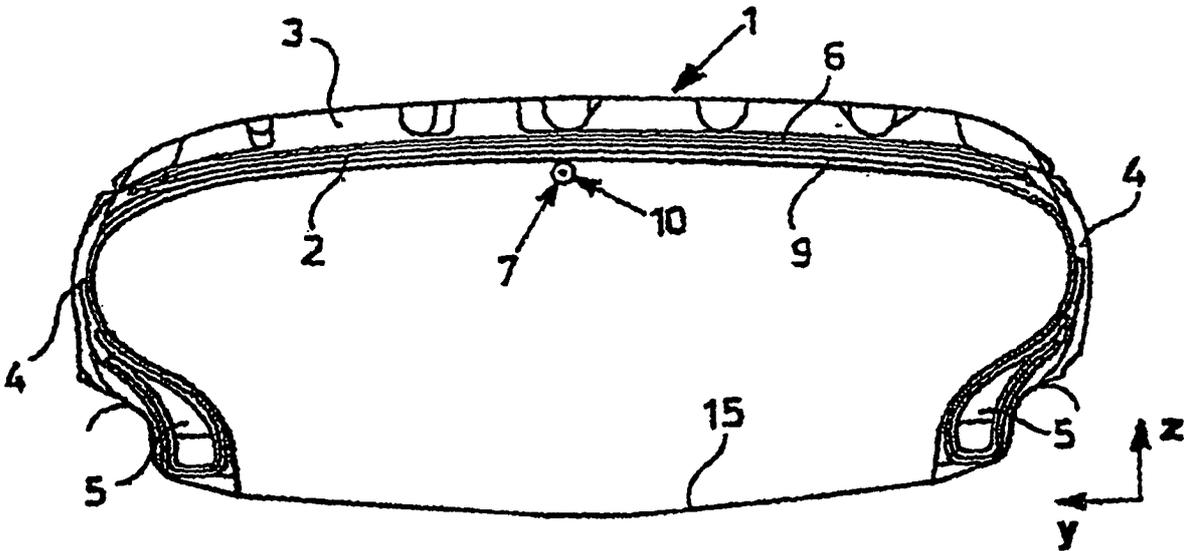


Fig. 2

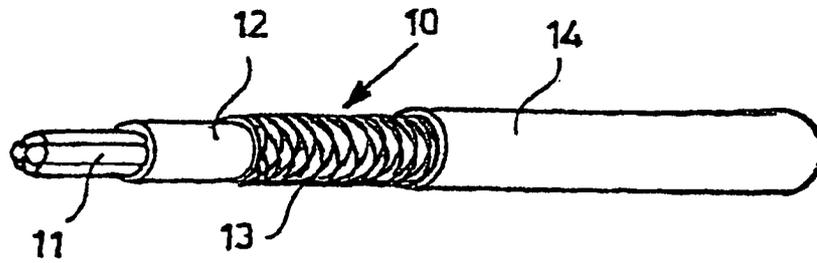


Fig. 3

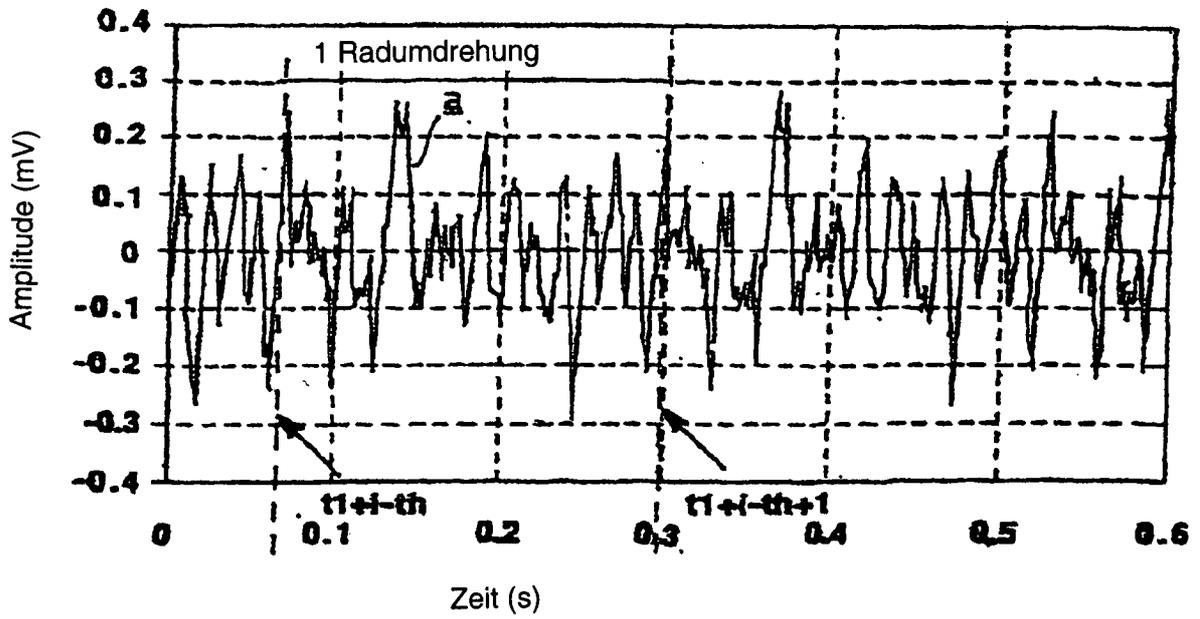


Fig. 4

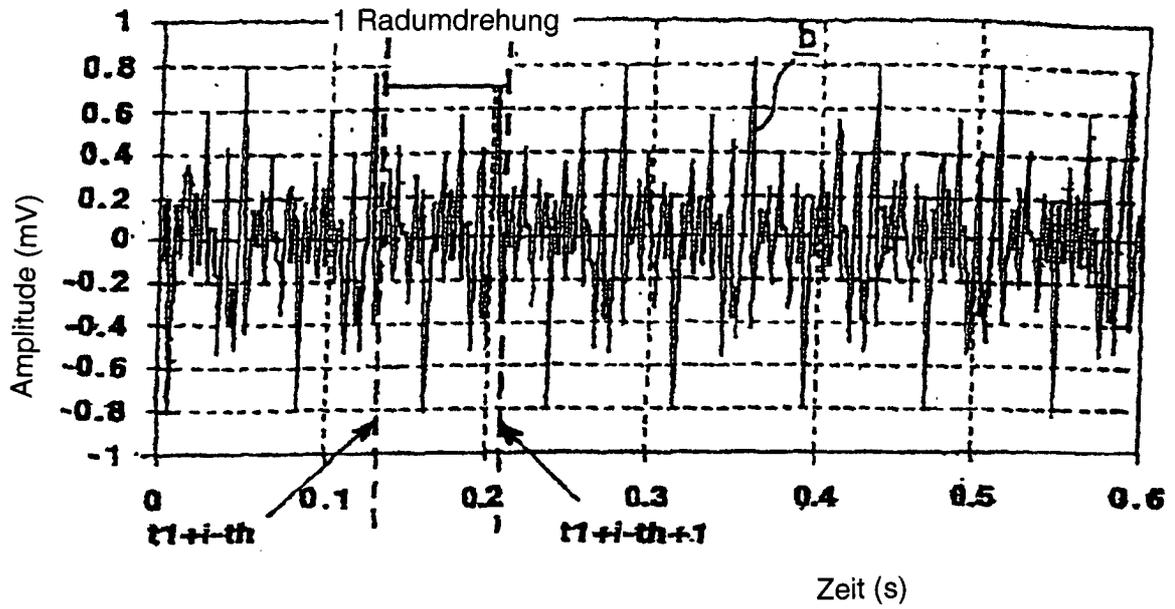


Fig. 5

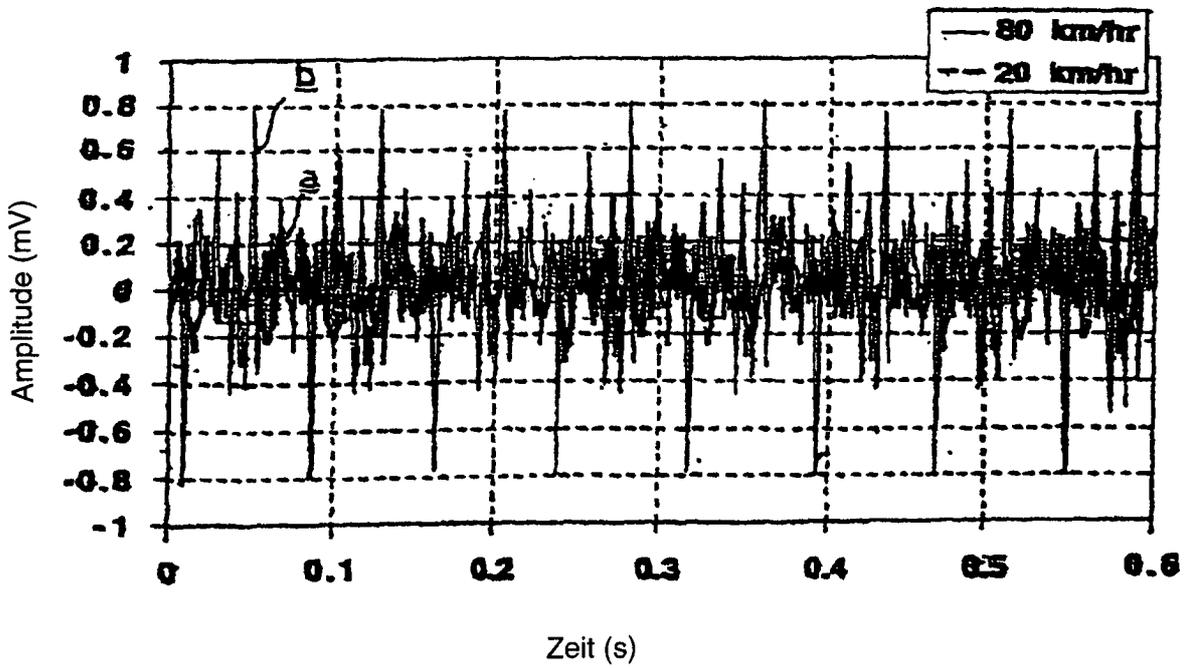


Fig. 6

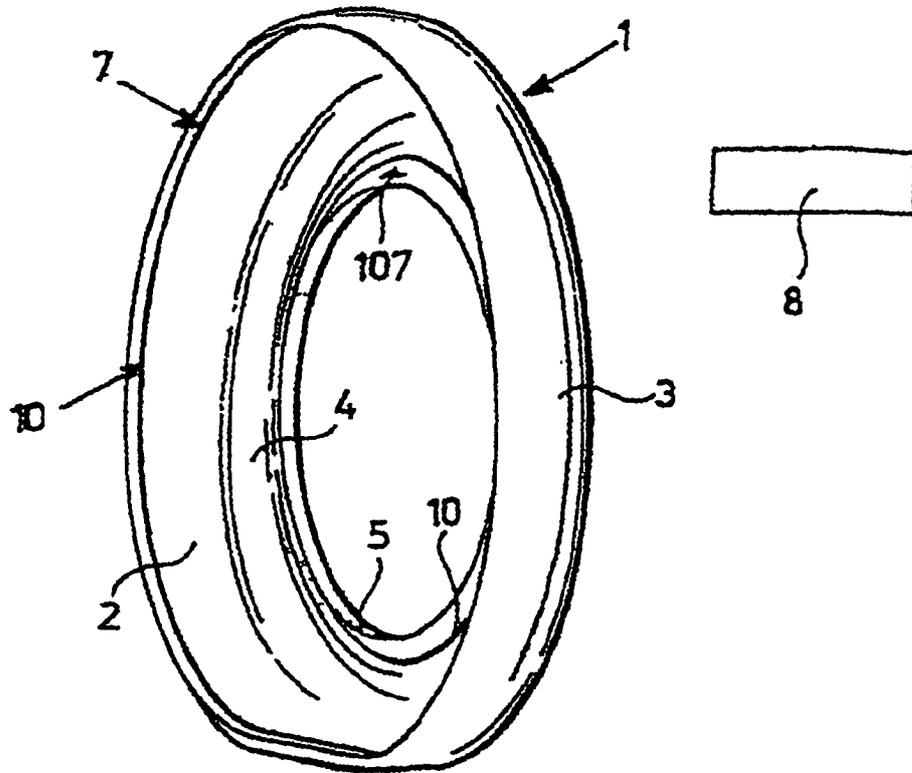


Fig. 7

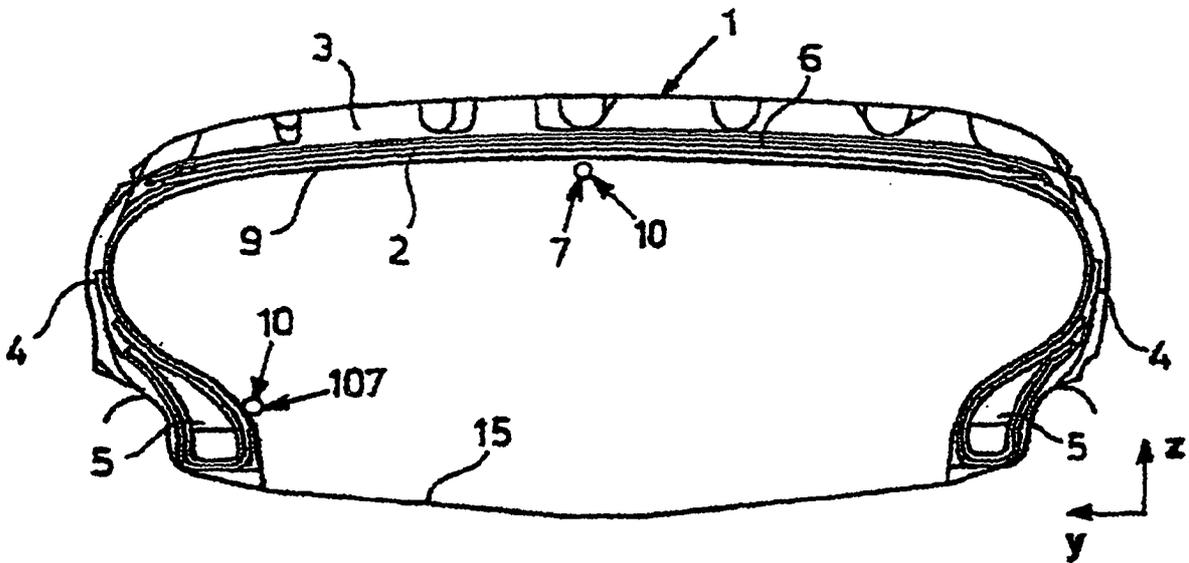


Fig. 8

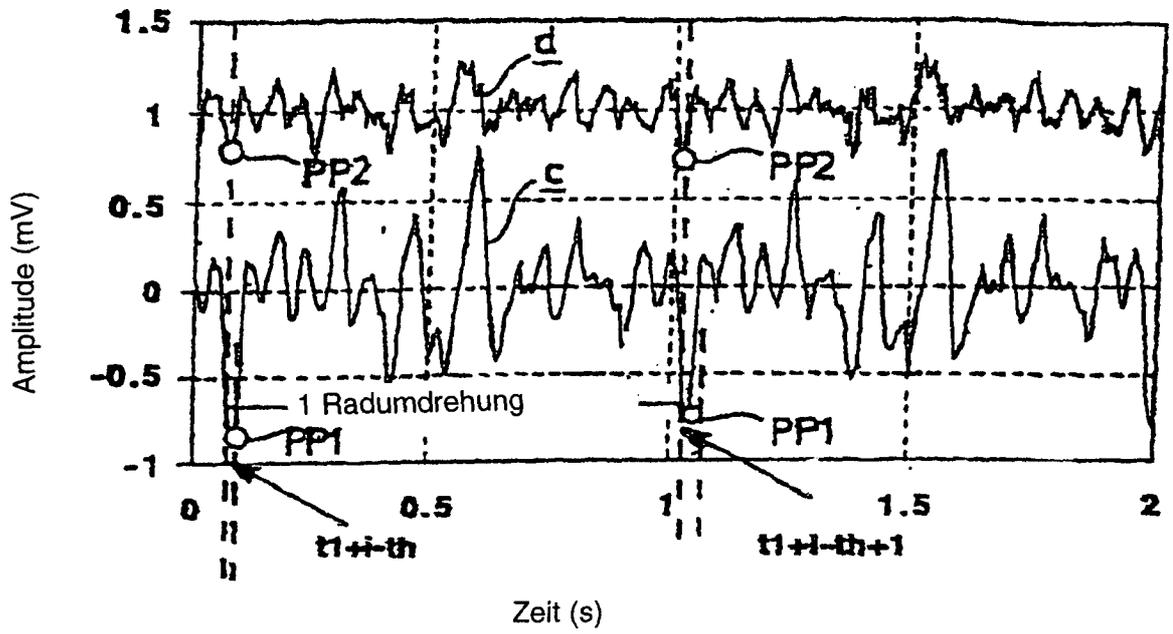


Fig. 9

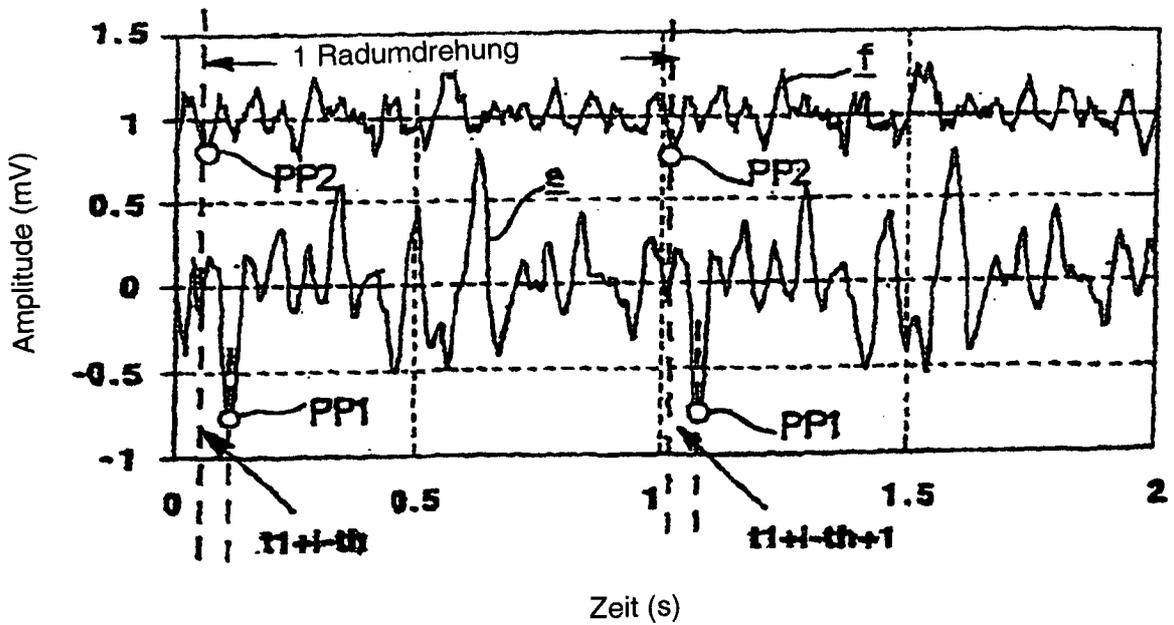


Fig. 10

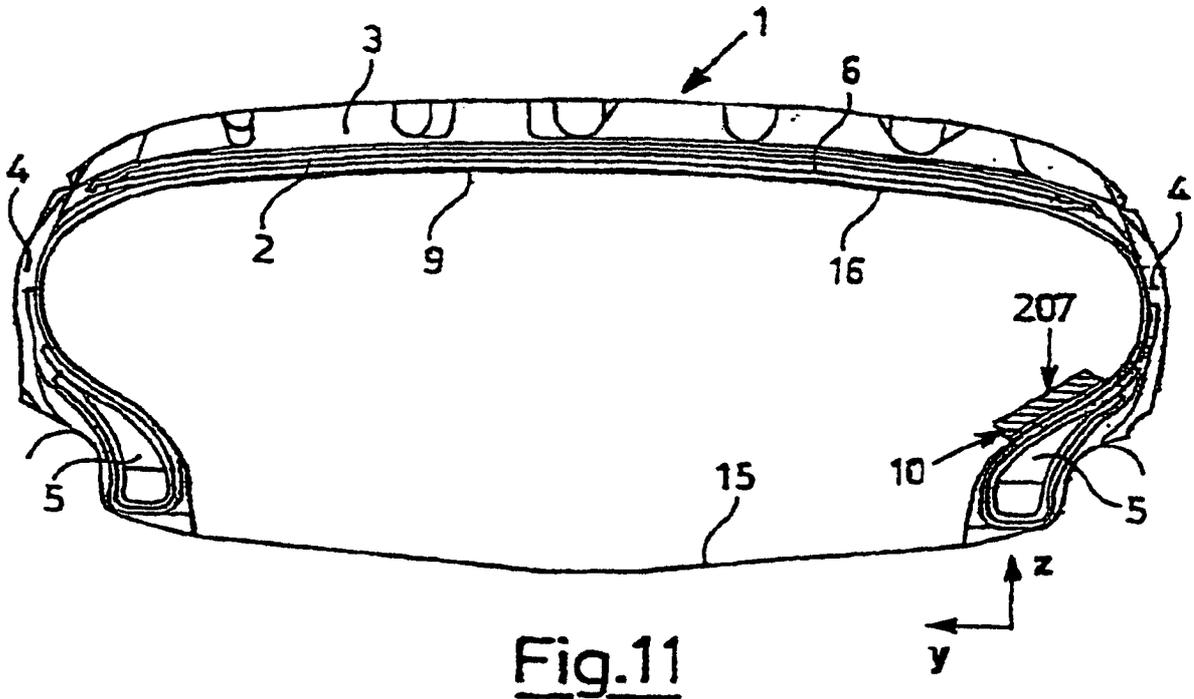


Fig.11

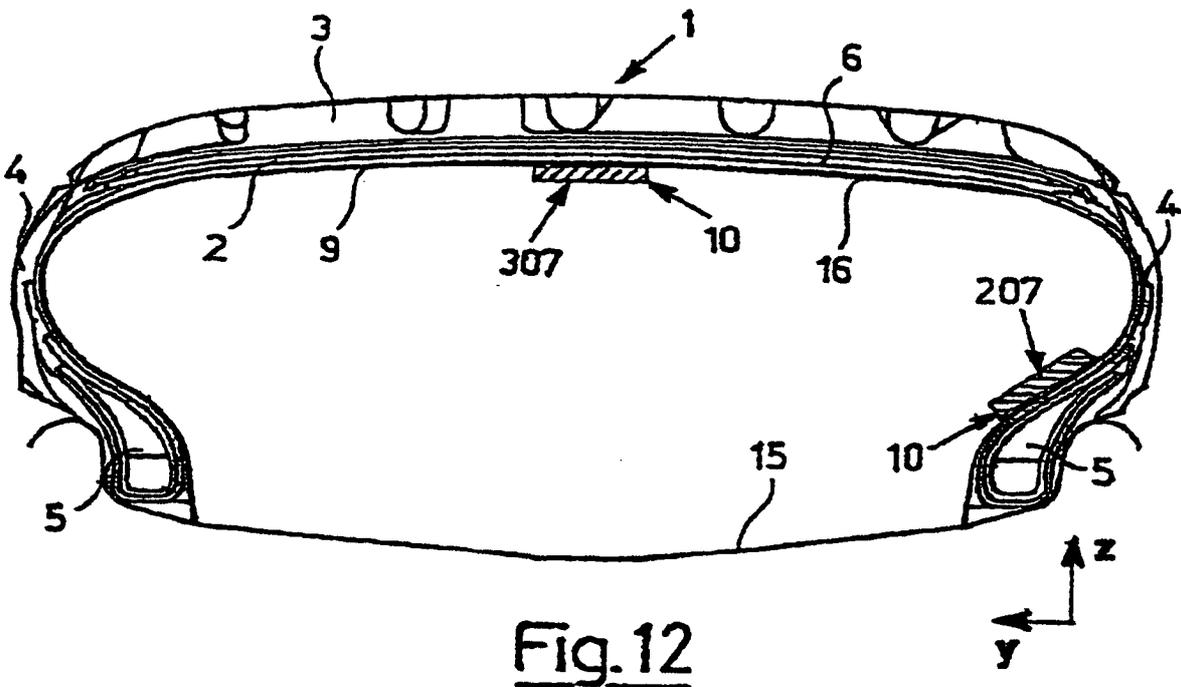


Fig.12

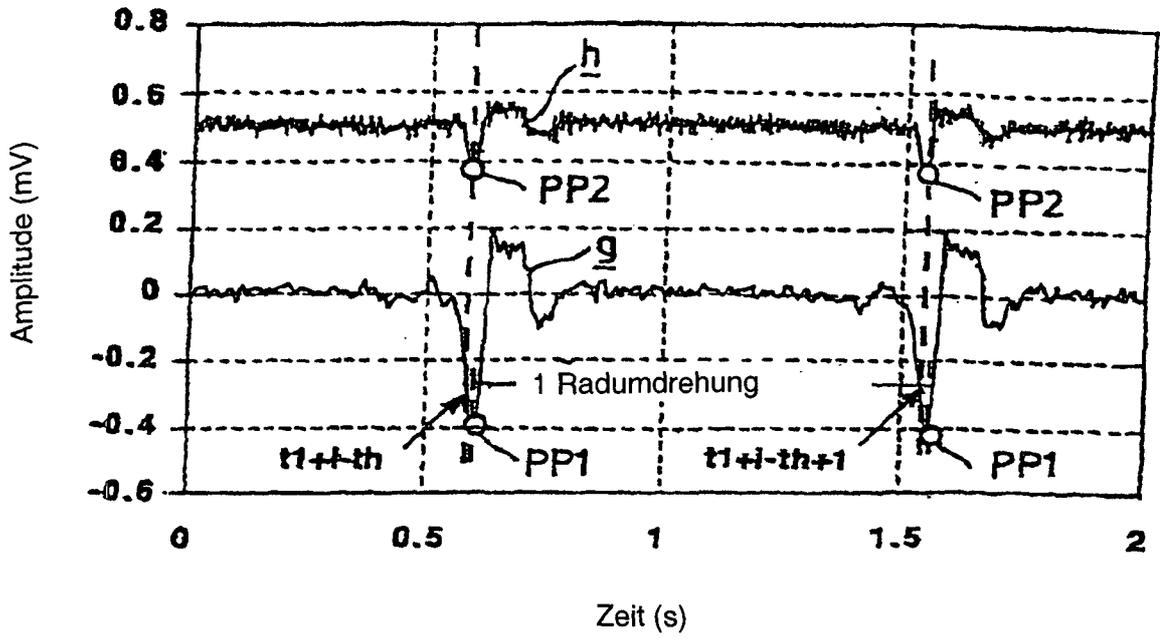


Fig. 13

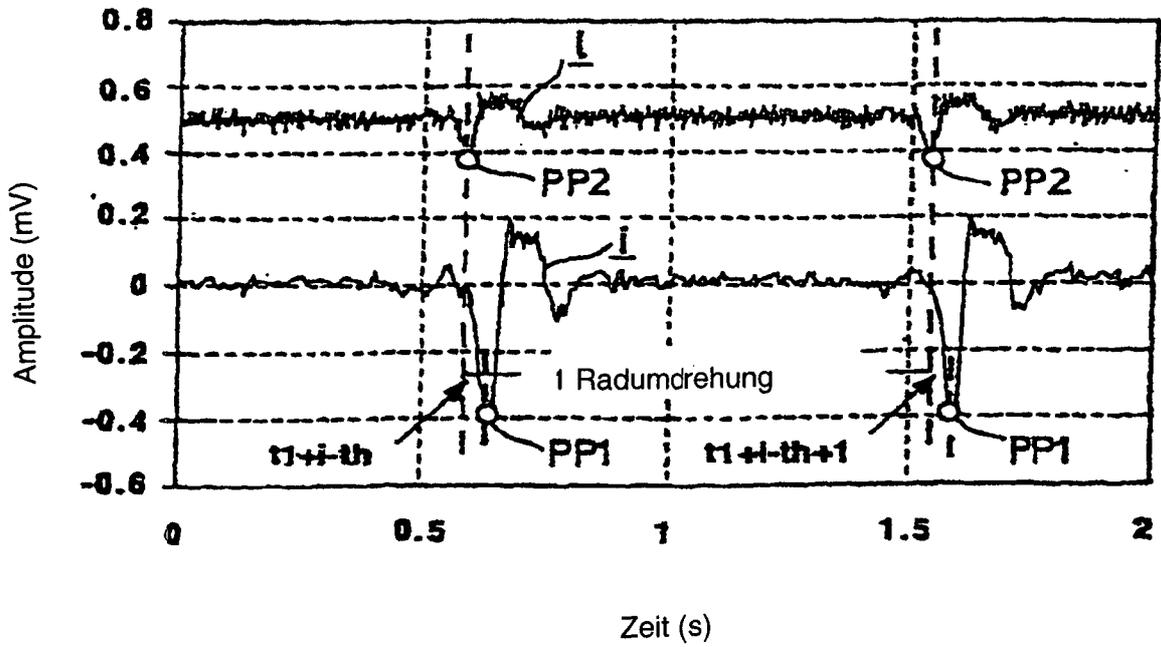


Fig. 14

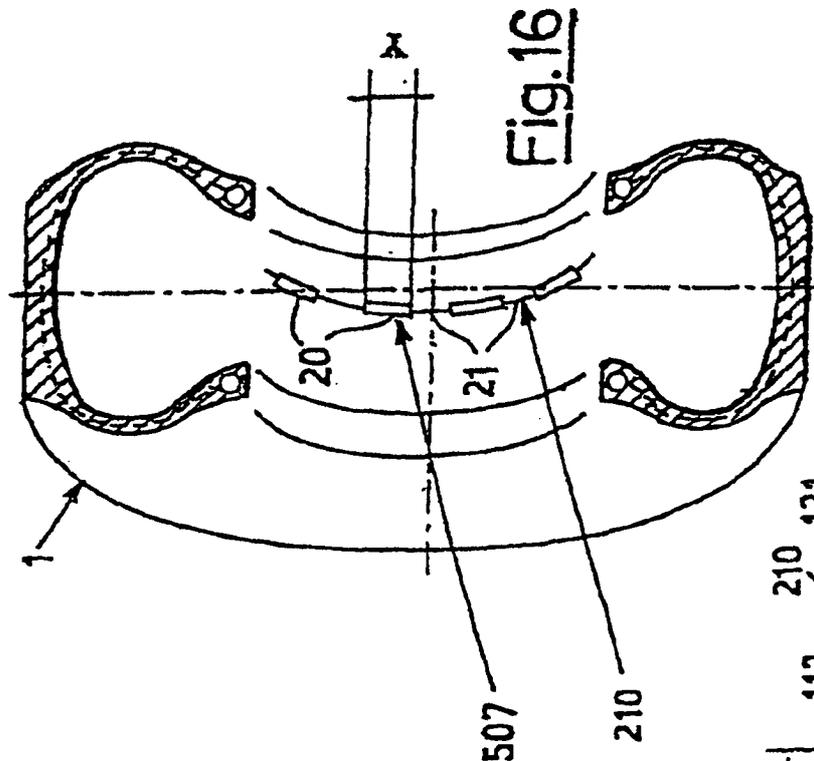


Fig. 15

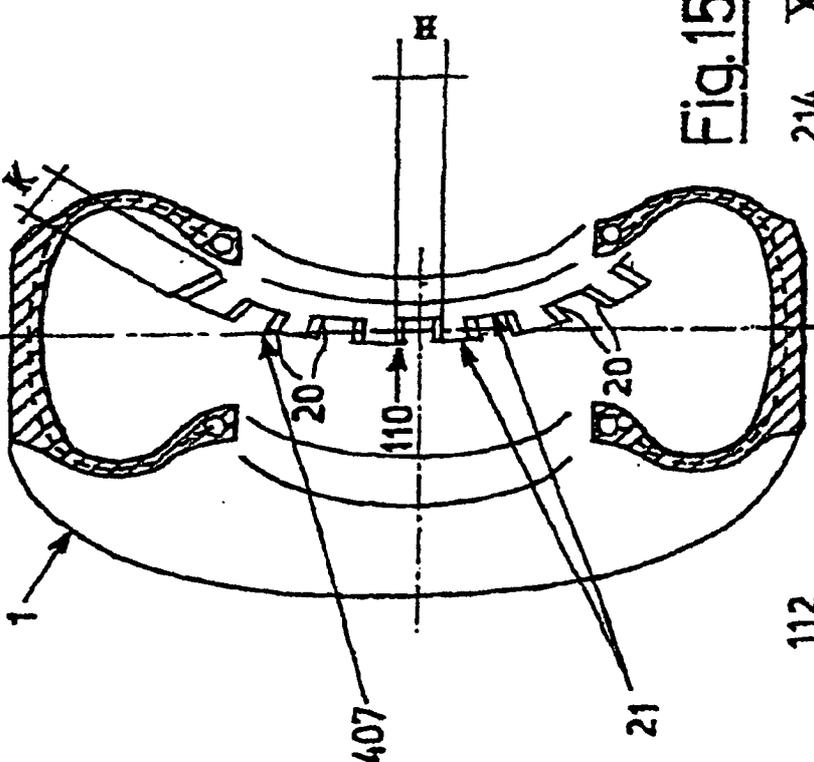


Fig. 16

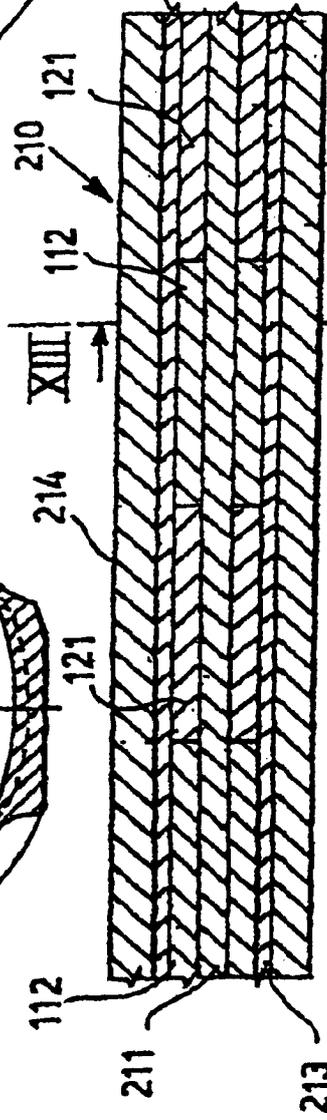


Fig. 17

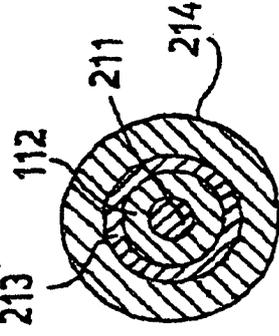


Fig. 18

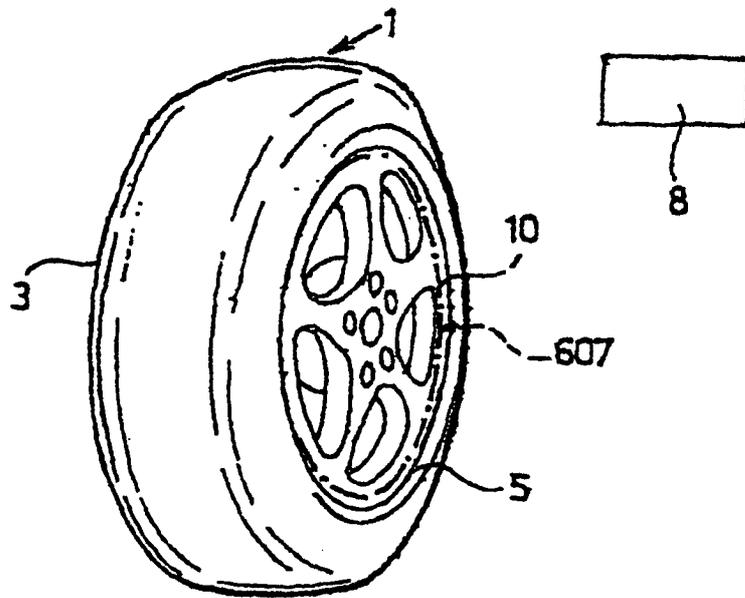


Fig. 19

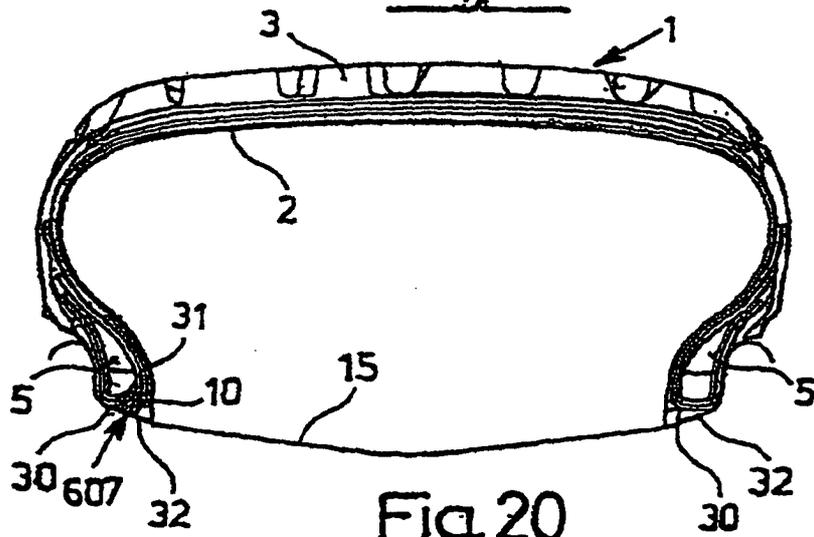


Fig. 20

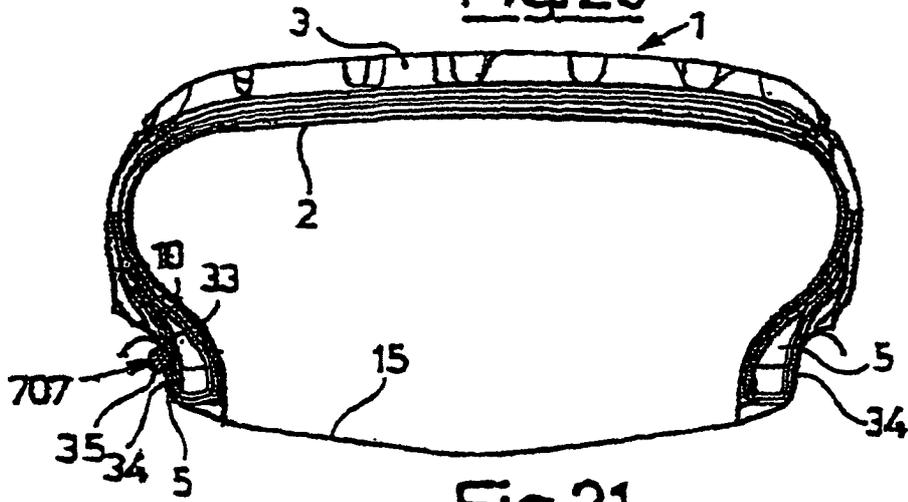


Fig. 21

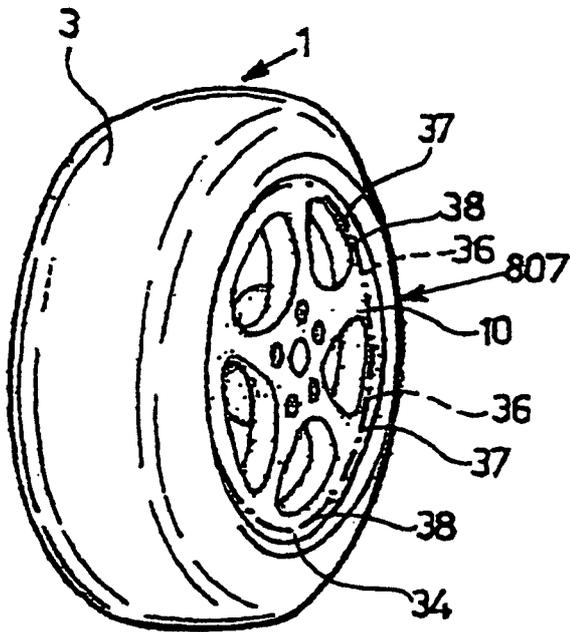


Fig. 22

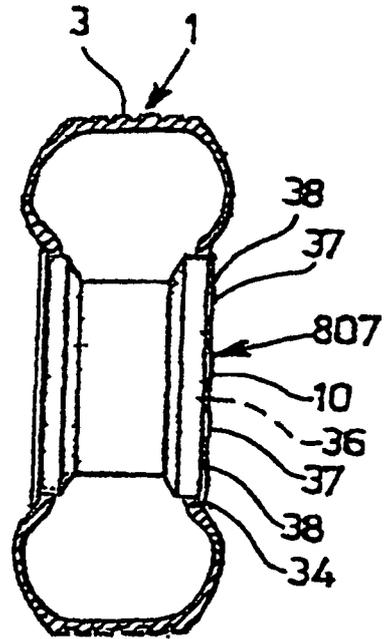


Fig. 23

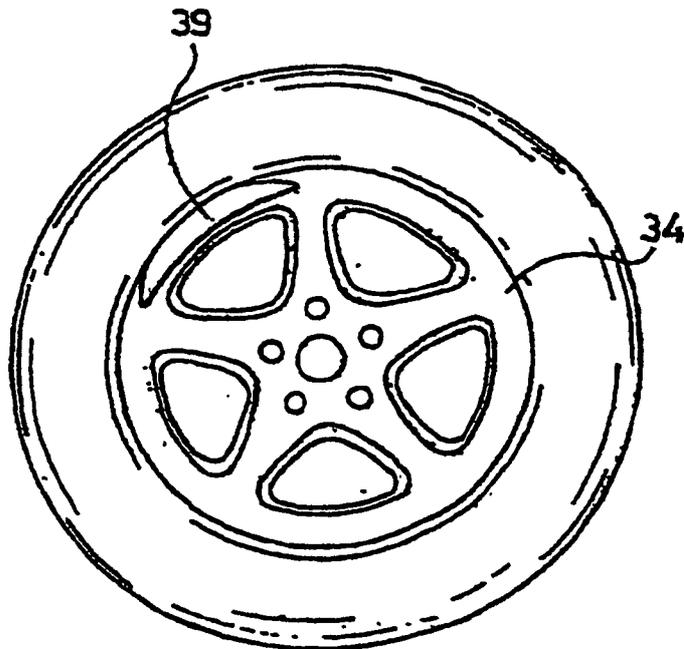


Fig. 24

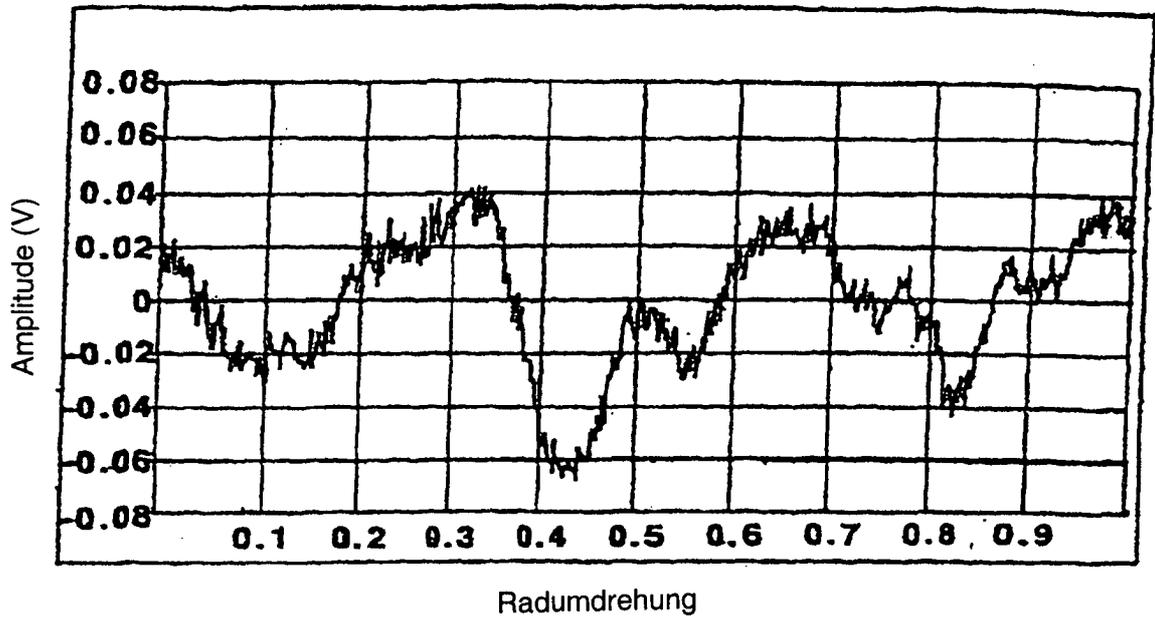


Fig.25

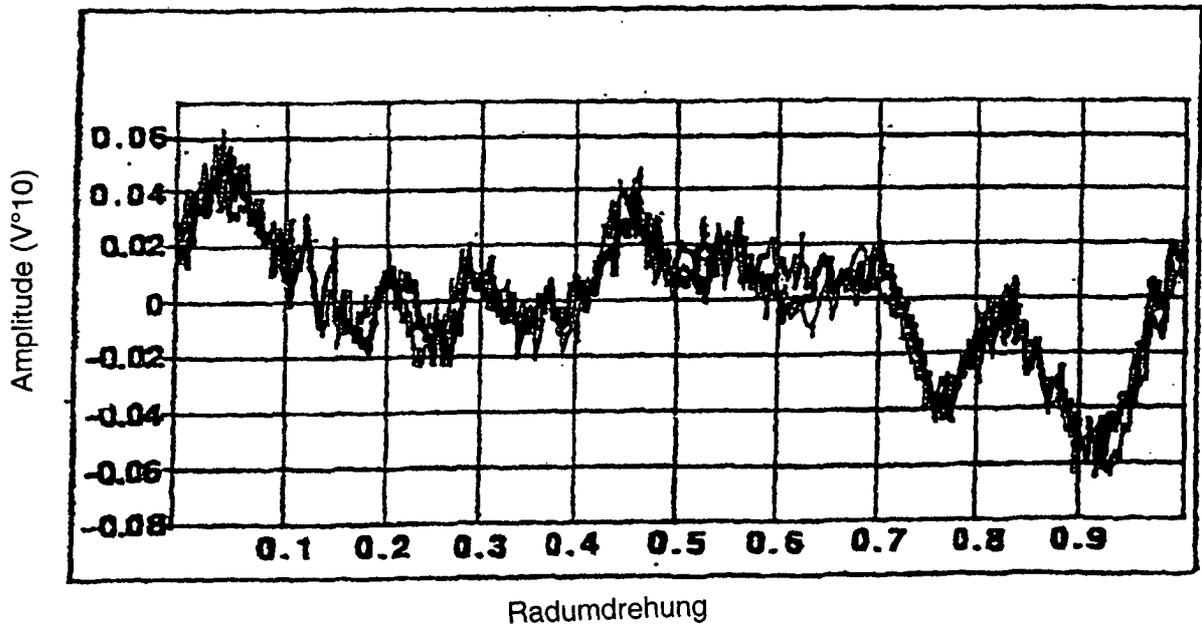


Fig.26

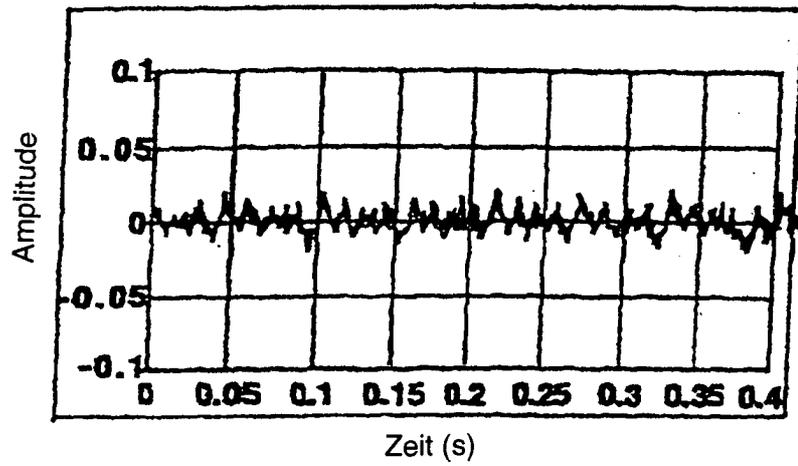


Fig.27

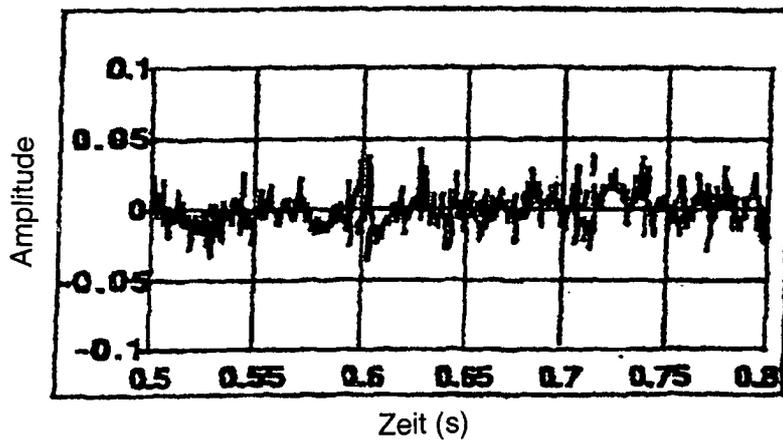


Fig.28

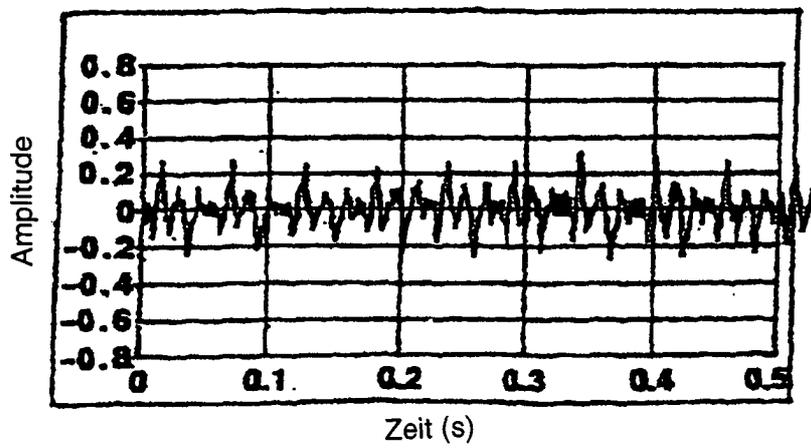


Fig.29

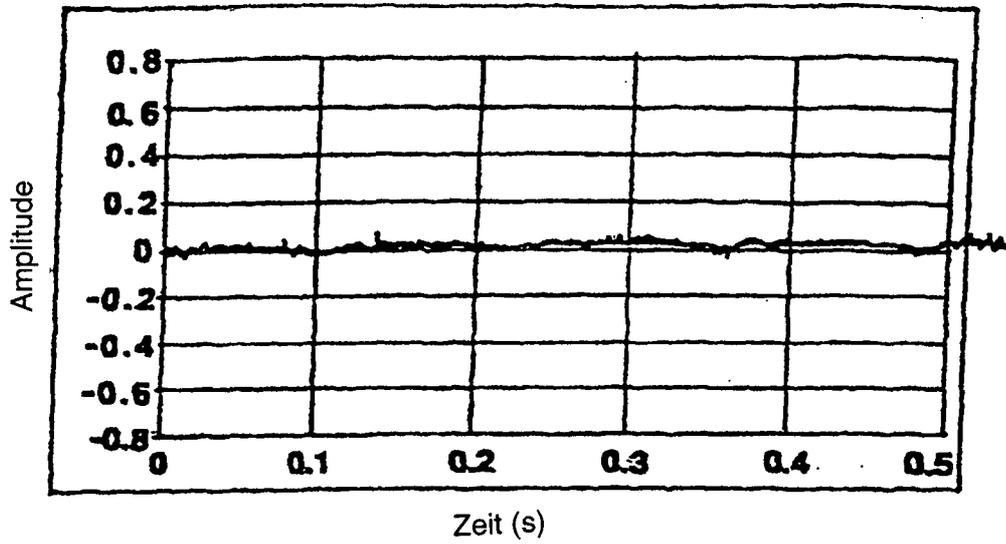


Fig.30

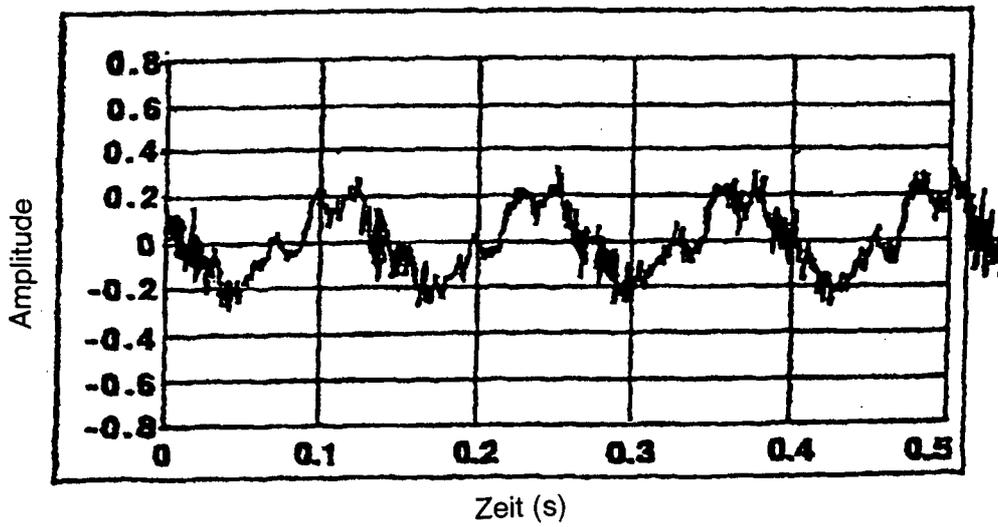


Fig.31

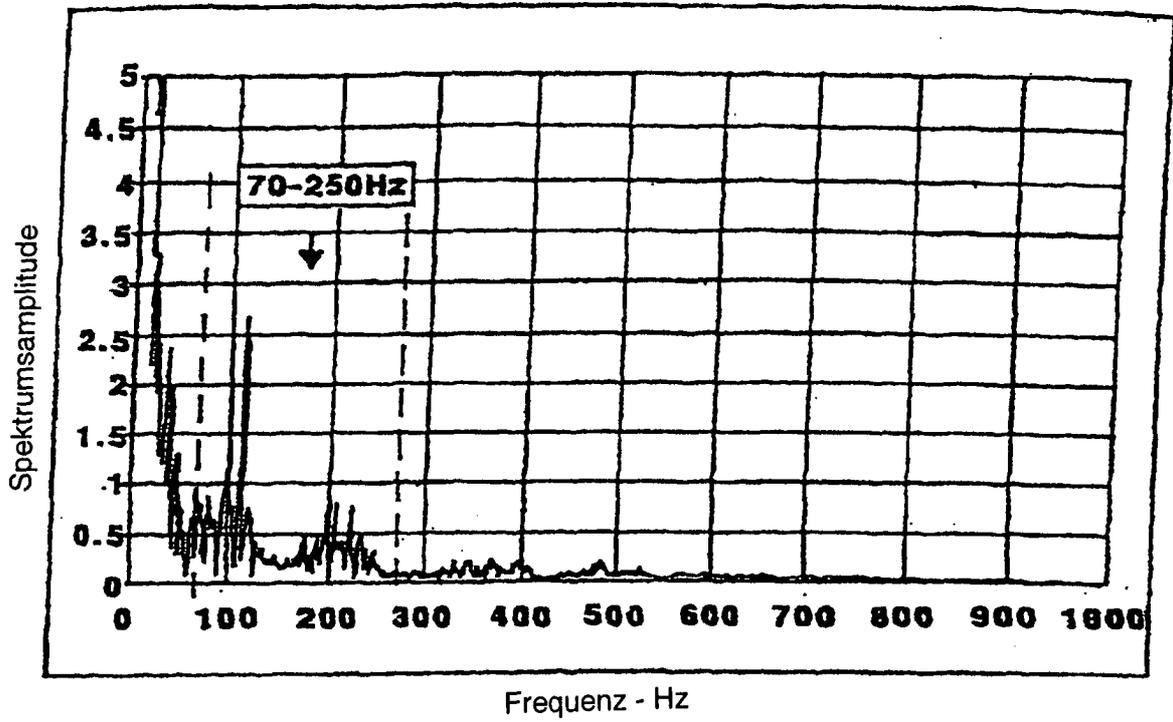


Fig.32

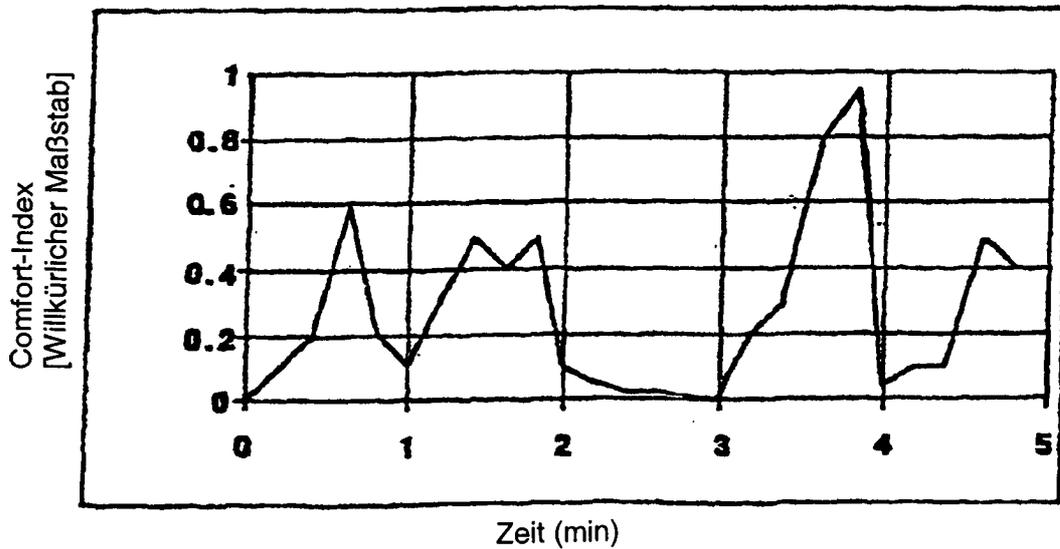


Fig.33

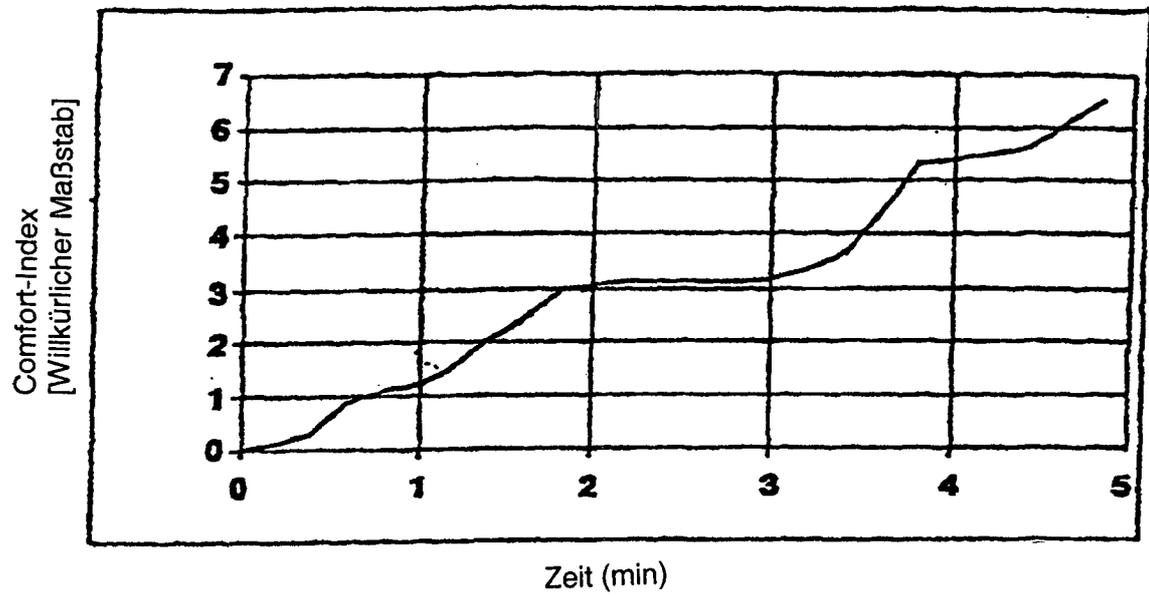


Fig.34

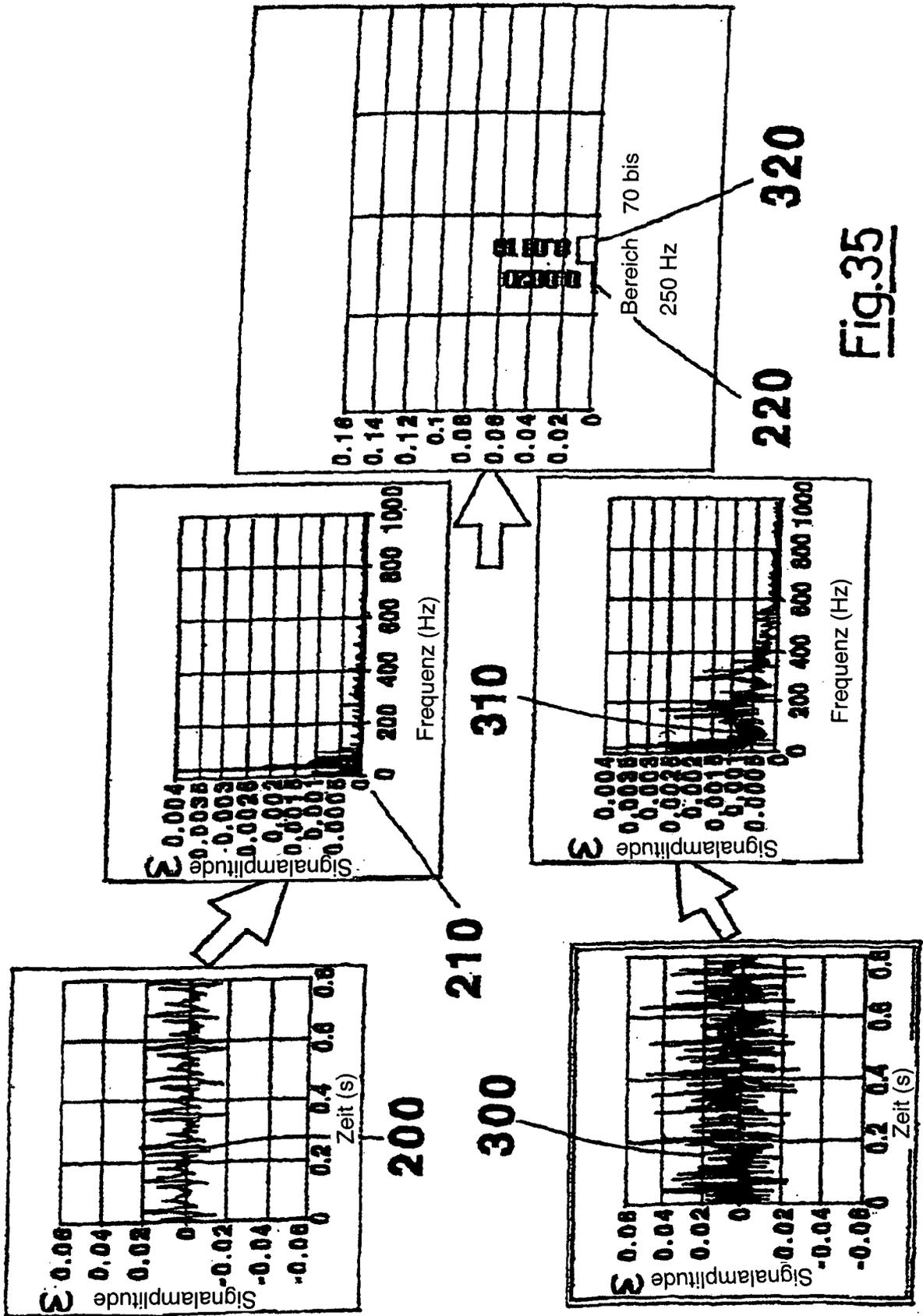


Fig.35

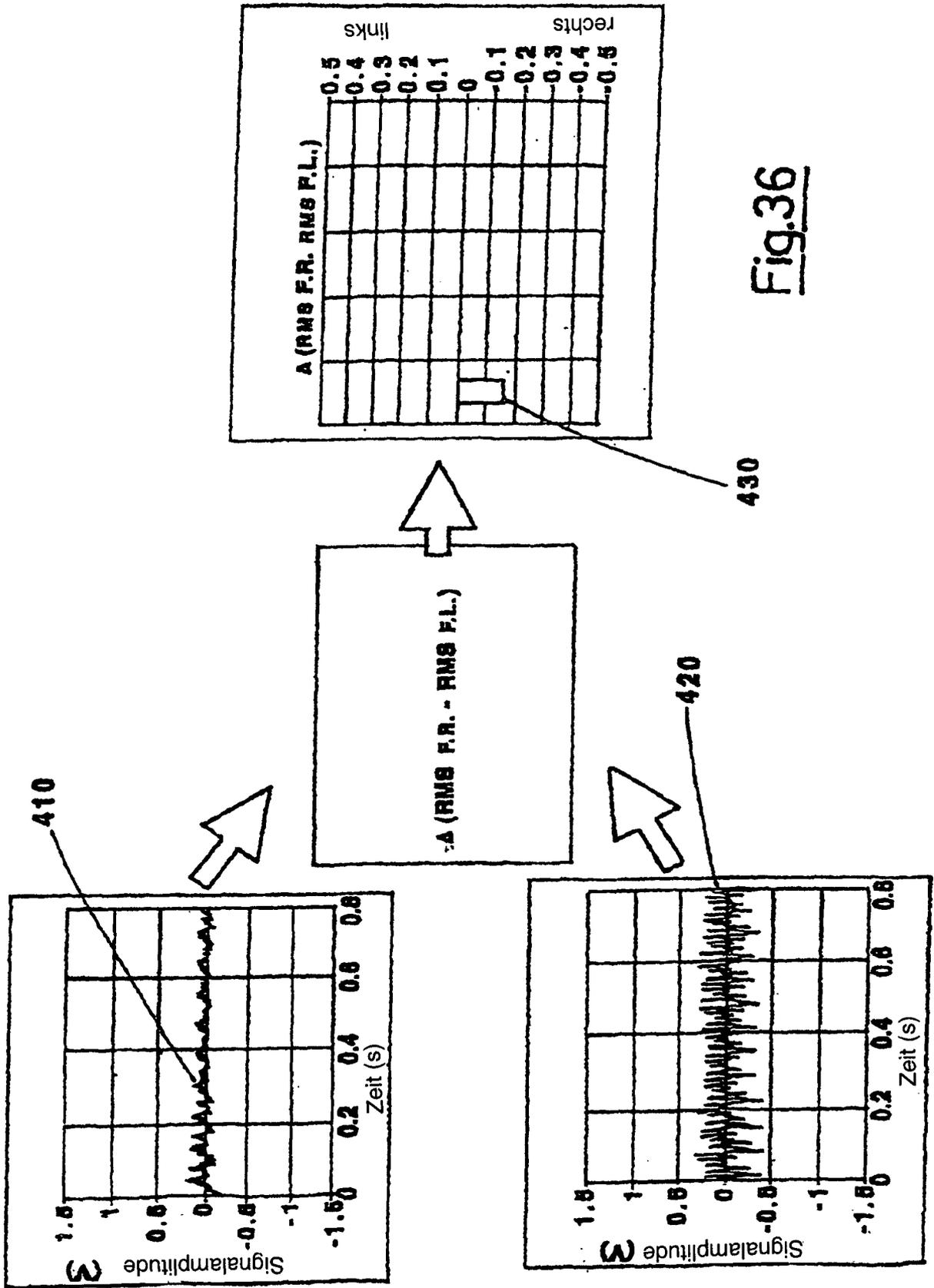


Fig.36

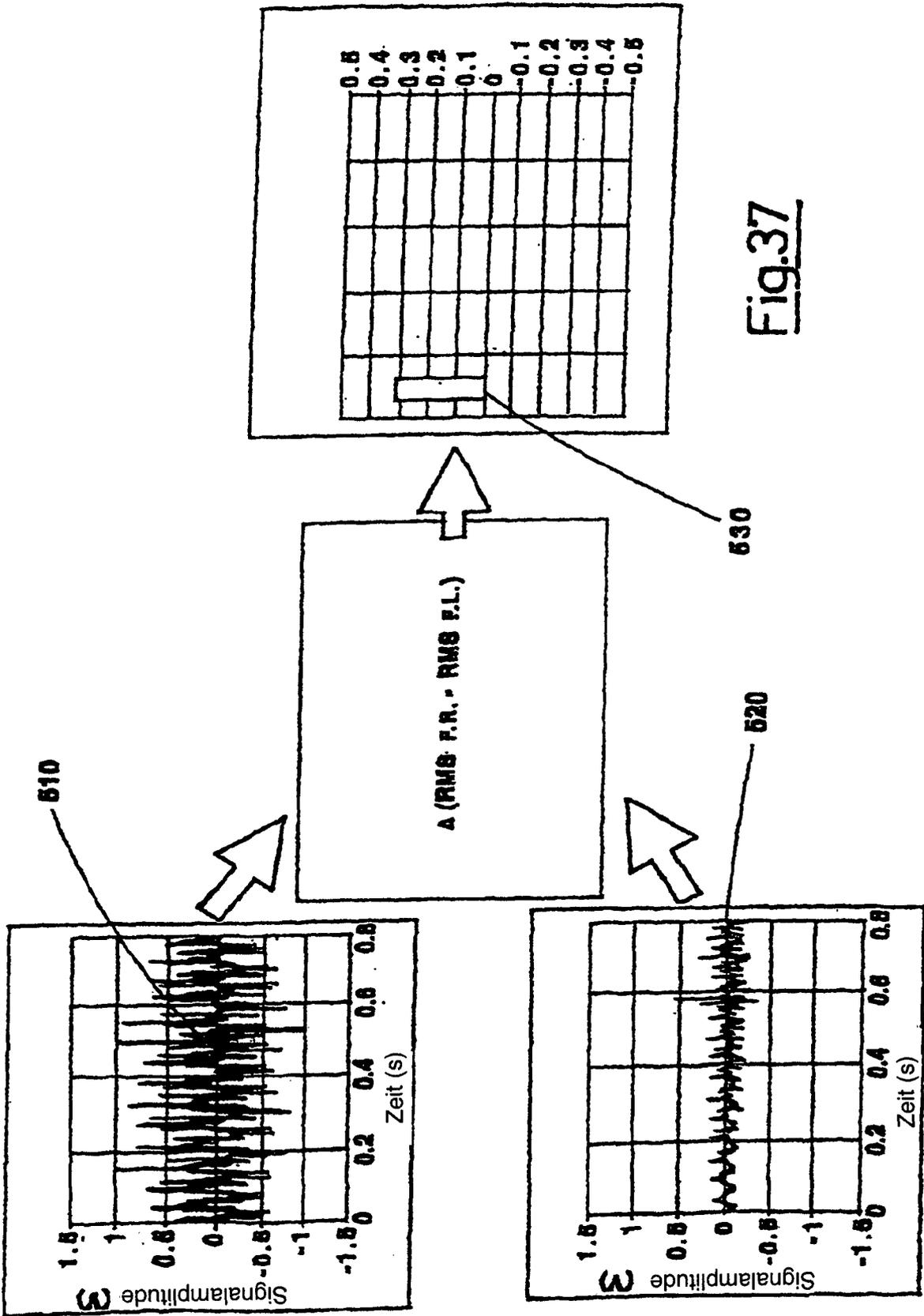


Fig.37