(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
30. Januar 2014 (30.01.2014)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/016195 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
B60C 11/24 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/065165

(22) Internationales Anmeldedatum:
18. Juli 2013 (18.07.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2012 212 934.0 24. Juli 2012 (24.07.2012) DE

(71) Anmelder: **CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH** [DE/DE]; Vahrenwalder Straße 9, 30165 Hannover (DE).

(72) Erfinder: **KRETSCHMANN, Matthias**; Schopperplatz 1, 93059 Regensburg (DE). **HAAS, Thomas**; Goethestr. 4, 93093 Donaustauf (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR ESTIMATING A PROFILE DEPTH OF A TYRE

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM SCHÄTZEN EINER PROFILTIEFE EINES REIFENS

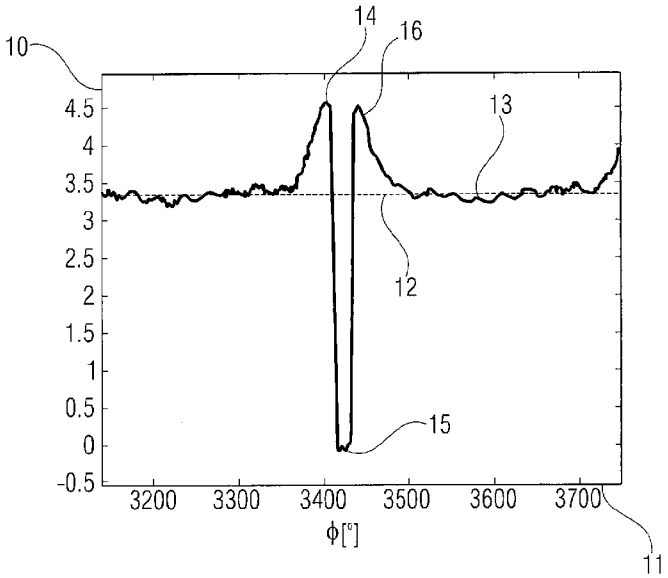


FIG 3

(57) Abstract: The present invention relates to a method and a device for estimating a profile depth of a tyre of a vehicle during operation of the vehicle. The method in accordance with the invention measures signals of a piezoelectric element (S1, S6, S13, S18) which is disposed on an inner side of the tyre in a region which deforms in the event of tread shuffle. The measured signals or actual data derived from the signals are compared (S3, S10, S15, S20) with comparison data, wherein the comparison data contain data sets which each indicate signals to be expected for a profile depth or actual data which are to be expected. The profile depth is then estimated (S5, S12, S17, S22) on the basis of the comparison of the signals or of the actual data with the comparison data.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Schätzen einer Profiltiefe eines Reifens eines Fahrzeugs während des Betriebs des Fahrzeugs. Das erfindungsgemäße Verfahren misst Signale eines Piezoelements (S1, S6, S13, S18), das an einer Innenseite des Reifens in einem Bereich angeordnet ist, der bei einem Latschdurchlauf verformt wird. Die gemessenen Signale oder aus den Signalen abgeleiteten

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2014/016195 A1

Ist-Daten werden mit Vergleichsdaten verglichen (S3, S10, S15, S20), wobei die Vergleichsdaten Datensätze enthalten, die jeweils für eine Profiltiefe zu erwartende Signale oder zu erwartende Ist-Daten angeben. Die Profiltiefe wird dann aufgrund des Vergleichs der Signale oder der Ist-Daten mit den Vergleichsdaten geschätzt (S5, S12, S17, S22).

Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zum Schätzen einer Profiltiefe eines Reifens

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zum Schätzen einer Profiltiefe eines Reifens eines Fahrzeugs während eines Betriebs des Fahrzeugs.

Die Profiltiefe eines Reifens hat maßgeblichen Einfluss auf das Verhalten eines Kraftfahrzeugs. Dies gilt insbesondere in kritischen Fahrsituationen. Einerseits ist der maximale Kraftschluß zwischen Reifen und Straße stark von den jeweiligen Straßenbeschaffenheiten abhängig. Andererseits kann der Kraftschluß für die jeweiligen Verhältnisse durch diverse Reifeneigenschaften optimiert werden. Hierzu gehören eine für die jahreszeitlichen Temperaturverhältnisse abgestimmte Gummimischung, ein optimal eingestellter Reifendruck und ein für die Witterungsverhältnisse optimiertes Reifenprofil. Die Effektivität des Reifenprofils ist maßgeblich durch die Profiltiefe bestimmt.

Letztlich kann nur eine ausreichende Profiltiefe den bestmöglichen Kraftschluß zwischen Reifen und Fahrbahn speziell in kritischen Fahrsituationen gewährleisten. Aus diesem Grunde schreiben viele Gesetzgeber eine Mindestprofiltiefe vor. Diese Mindestprofiltiefe kann von Land zu Land und darüber hinaus auch saisonbedingt variieren. Der Mindestwert liegt bei 1.0mm; häufig liegt der Wert bei 1.6mm; maximal findet man 6.0mm bei winterlichen Verhältnissen in der Ukraine. In Regionen, in denen sowohl mit Sommer- als auch mit Winterreifen gefahren wird, geschieht die Überprüfung, ob die entsprechenden Mindestprofiltiefen vorhanden sind, in der Regel zweimal jährlich beim saisonbedingten Reifenwechsel und wird dabei durch die entsprechende Werkstatt durchgeführt. Die Messung geschieht im Allgemeinen mit mechanischen Profiltiefenmessern an mehreren Stellen eines jeden Rades. In Ländern, in denen mit Alljah-

resreifen gefahren wird, kann es jedoch vorkommen, dass die Reifen überhaupt nicht überprüft werden.
Somit ist man im täglichen Fahrzeugbetrieb weit von einer systematischen Profiltiefenüberwachung entfernt. Dies kann zu kritischen Fahrsituationen führen, die letztlich in vermeidbaren Unfällen resultieren.

Die DE 10 2008 002 722 A1 beschreibt ein Verfahren zum Schätzen einer Profiltiefe eines Reifens, das während des Betriebs des Fahrzeugs durchgeführt werden kann. Es beruht darauf, dass Daten eines im Reifen angeordneten Beschleunigungssensors ausgewertet werden.

Die EP 1 225 066 A2 offenbart ebenfalls ein Verfahren für die Profiltiefenschätzung während des Abrollens des Reifens. Es beruht darauf, dass die durch das Profil erzeugten Körperschwingungen bzw. Körperschallschwingungen des Reifens oder der Fahrwerks- oder Karosserieteile detektiert werden. Dies kann beispielsweise durch einen Schwingungssensor an Karosserie- oder Fahrwerksbauteilen erfolgen oder durch ein Mikrofon, das in der Nähe des Reifens angeordnet ist.

Das Profiltiefenschätzungsverfahren nach der EP 1 314 580 A1 beruht auf magnetisch leitfähigen, insbesondere ferromagnetischen Elementen, die im Laufstreifen des Reifens in unterschiedlichen Positionen untergebracht sind. Durch die Abnutzung des Profils verliert der Laufstreifen diese magnetisch leitfähigen Elemente. Eine Auswerteeinheit in der Nähe des Reifens kann die Menge des magnetisch leitfähigen Elements detektieren und so auf die Profiltiefe schließen.

Die DE 10 2008 057 542 A1 offenbart ein Profiltiefenschätzungsverfahren, das während des Betriebs des Fahrzeugs ausgeführt werden kann und auf einer Laser-Sendeeinheit und einer Empfangseinheit in Form einer Fotodiode beruht.

Ausgehend von diesem Stand der Technik ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein weiteres Verfahren zum Schätzen

einer Profiltiefe eines Reifens eines Fahrzeugs bereitzustellen, das während eines Betriebs des Fahrzeugs durchgeführt werden kann. Darüber hinaus ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine entsprechende Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens vorzuschlagen.

Die genannten Aufgaben werden durch die Gegenstände der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Die abhängigen Patentansprüche geben Ausführungsformen der Erfindung an.

Dementsprechend umfasst die Erfindung ein Verfahren zum Schätzen einer Profiltiefe eines Reifens eines Fahrzeugs während eines Betriebs des Fahrzeugs. Das erfindungsgemäße Verfahren verwendet eine Piezoelement, das an einer Innenseite des Reifens in einem Bereich angeordnet ist, der bei einem Latschdurchlauf verformt wird. Die Innenseite des Reifens ist dabei in einem breiten Sinne zu verstehen. Beispielsweise kann es sein, dass das Piezoelement an die Innenseite des Reifens geklebt oder auch in den Reifen einvulkanisiert ist. Besondere Vorteile ergeben sich, wenn das Piezoelement in der Nähe der sogenannten neutralen Faser angeordnet wird. Die neutrale Faser kann als ein in die Gummimischung eingebettetes Gewebe verstanden werden, welches sich verformen, aber nicht strecken oder kürzen kann. Das erfindungsgemäße Verfahren misst Signale des Piezoelements und vergleicht die Signale oder aus den Signalen abgeleitete Ist-Daten mit Vergleichsdaten. Die Vergleichsdaten umfassen vorzugsweise Datensätze, die jeweils für eine Profiltiefe des Reifens zu erwartende Signale oder zu erwartende Ist-Daten angeben. Aufgrund des Vergleichs der Signale oder der Ist-Daten mit den Vergleichsdaten wird die Profiltiefe des Reifens geschätzt.

Eine grundlegende Idee der Erfindung ist es, dass sich die Signale eines Piezoelements bei einem Latschdurchlauf in Abhängigkeit der Profiltiefe des Reifens verändern. Mithilfe des Piezoelements kann die Profiltiefe des Reifens verlässlich und kostengünstig geschätzt werden.

In einer Ausführungsform ermittelt das erfindungsgemäße Verfahren einen Datensatz der Vergleichsdaten, der die größte Ähnlichkeit mit den Signalen oder den Ist-Daten aufweist. Die Profiltiefe wird dann durch Ermitteln einer dem Datensatz zugeordneten Profiltiefe geschätzt. Auf diese Weise kann die Profiltiefe einfach ermittelt werden.

Je nach Ausführungsform können aus den gemessenen Signalen Ist-Daten abgeleitet werden. In einer Ausführungsform werden als Signale Spannungswerte des Piezoelements gemessen und der Schritt des Ableitens von Ist-Daten aus den gemessenen Signalen umfasst eine Kompensation der gemessenen Spannungswerte um mindestens einen Einflussfaktor. Beispielsweise nimmt durch die Messschaltung eine Spannung am Piezoelement relativ schnell ab. Die Ladungsverluste, die durch das Messen der Spannungswerte entstehen, können entsprechend kompensiert werden, um möglichst exakte Signale zu liefern. Auch der im Reifen vorliegende Luftdruck, die Temperatur, die Reifensteifigkeit oder die Beladung des Fahrzeugs können auf die vom Piezoelement gelieferten Spannungswerte Einfluss nehmen, so dass auch hier eine entsprechende Kompensation vorgesehen werden kann. Durch den zusätzlichen Schritt des Kompensierens werden genauere Messergebnisse möglich.

In einer Ausführungsform entspricht jeder Datensatz einer Kennlinie, die für jeweilige Drehwinkel des Piezoelements bei der dem Datensatz zugeordneten Profiltiefe zu erwartende Signalen oder zu erwartende Ist-Daten angibt. Unter einem Drehwinkel des Piezoelements soll dabei ein Drehwinkel verstanden werden zwischen einem Schenkel, der sich von einem Mittelpunkt des Reifens durch das Piezoelement erstreckt, und einem Bezugsschenkel, der sich von Mittelpunkt des Reifens in eine vorherbestimmte Richtung erstreckt. Bei dieser vorherbestimmten Richtung kann es sich beispielsweise um eine Richtung handeln, die vom Mittelpunkt des Reifens lotrecht nach oben oder auch lotrecht nach unten zeigt.

Bei dieser Ausführungsform werden die Signale oder die Ist-Daten mit den Kennlinien insbesondere in einem Drehwinkelbereich des Piezoelements verglichen, in dem ein Latscheintritt des Piezoelements und/oder ein Latschaustritt des Piezoelements erfolgt. Diese Ausführungsform ist besonders vorteilhaft, weil die Signale des Piezoelements oder die daraus abgeleiteten Ist-Daten eine besonders einfache Schätzung der Profiltiefe des Reifens erlauben.

In einer Ausführungsform umfasst der Schritt des Ableitens von Ist-Daten aus den gemessenen Signalen die Schritte Ermitteln eines ersten Summenwertes durch Akkumulieren von Signalen, die einer schwächeren Krümmung des Piezoelements als einer Normalkrümmung des Piezoelements entsprechen, und/oder Ermitteln eines zweiten Summenwerts durch Akkumulieren von Signalen, die einer stärkeren Krümmung des Piezoelements als einer Normalkrümmung des Piezoelements entsprechen. In der Regel erfährt das Piezoelement eine schwächere Krümmung als eine Normalkrümmung, wenn sich das Piezoelement im Latsch befindet. Eine stärkere Krümmung erfährt das Piezoelement hingegen in der Regel während des Latscheintritts und des Latschaustritts. Zwischen dem ersten und dem zweiten Summenwert kann dabei ein Verhältnis ermittelt werden.

Zur Auswertung der so abgeleiteten Ist-Daten können die Vergleichsdaten für verschiedene Profiltiefen zur erwartende erste Summenwerte oder zu erwartende Verhältnisse zwischen dem ersten und zweiten Summenwert angeben.

Durch die Bildung von Summenwerten ist das Verfahren besonders robust gegenüber vereinzelten Messfehlern, da Messwerte über viele Radrotationen hinweg akkumuliert werden können, bevor eine Zuordnung zu den entsprechenden Vergleichsdaten erfolgt.

Der Schritt des Ableitens von Ist-Daten aus den gemessenen Signalen kann ebenfalls den Schritt umfassen Ermitteln eines geometrischen Verlaufs des Piezoelements bei einem Abrollen des Reifens. In diesem Falle geben die Vergleichsdaten vorzugsweise

zu erwartende geometrische Verläufe des Piezoelements in Abhängigkeit der Profiltiefe an. Eine Schätzung der Profiltiefe kann dann durch einen Vergleich des ermittelten geometrischen Verlaufs des Piezoelements mit den entsprechenden Vergleichsdaten erfolgen.

In einer Ausführungsform umfasst der Schritt des Ableitens von Ist-Daten aus den gemessenen Signalen den Schritt Spektralanalyse der gemessenen Signale, um die in den Signalen enthaltenen Frequenzen und deren Amplituden zu ermitteln. In diesem Fall geben die Vergleichsdaten vorzugsweise für verschiedene Profiltiefen zu erwartende Frequenzen und deren Amplituden an. Eine Schätzung der Profiltiefe kann dann durch einen Vergleich der gemessenen Frequenzen und ihrer Amplituden mit den Vergleichsdaten erfolgen.

Dabei werden vorzugsweise nur diejenigen gemessenen Signale der Spektralanalyse unterzogen, die in einem Drehwinkelbereich des Piezoelements entstehen, der in einer Drehrichtung des Reifens zwischen einem Drehwinkel, bei dem ein Latschaustritt des Piezoelements erfolgt, und einem Drehwinkel, bei dem ein Latscheintritt des Piezoelements erfolgt, liegt. Der Drehwinkelbereich des Piezoelements, der dem Latsch des Reifens entspricht, wird also nicht einbezogen, da es in diesem Drehwinkelbereich aufgrund des direkten Kontaktes zur Straße nur zu geringen Schwingungen kommt. In der Praxis kann es zu einer Konvolution der Schwingungen, die während des Latschdurchlaufes entstehen, mit den übrigen Schwingungen kommen. Um die gewünschten Schwingungen herauszufiltern, kann ein homomorphes Filter eingesetzt werden.

Zusätzlich umfasst die Erfindung ein Verfahren zum Warnen eines Fahrers des Fahrzeugs mit den Schritten des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Schätzen einer Profiltiefe eines Reifens eines Fahrzeugs während eines Betriebs des Fahrzeugs sowie die Schritte Vergleichen der geschätzten Profiltiefe mit einem Schwellwert und Ausgeben eines Warnsignals an den Fahrer, wenn die geschätzte Profiltiefe den Schwellwert unterschreitet. Auf diese Weise ist

es möglich, eine Profiltiefe des Reifens nicht nur zu schätzen, sondern den Fahrer des Fahrzeugs entsprechend zu warnen, wenn die Profiltiefe zu gering ist.

Außerdem umfasst die vorliegende Erfindung eine entsprechende Vorrichtung zum Schätzen einer Profiltiefe eines Reifens eines Fahrzeugs während eines Betriebs des Fahrzeugs. Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst dabei eine Messeinrichtung zum Messen von Signalen eines Piezoelements, wobei das Piezoelement an einer Innenseite des Reifens in einem Bereich angeordnet ist, der bei einem Latschdurchlauf verformt wird. Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist zusätzlich eine Vergleichseinrichtung auf zum Vergleichen der Signale oder von aus den Signalen abgeleiteten Ist-Daten mit Vergleichsdaten sowie eine Schätzeinrichtung zum Schätzen der Profiltiefe aufgrund des Vergleichs der Signale oder der Ist-Daten mit den Vergleichsdaten. Die Vergleichsdaten können dabei Datensätze enthalten, die jeweils für eine Profiltiefe zu erwartende Signale oder zu erwartende Ist-Daten angeben.

In einer Ausführungsform umfasst die Vorrichtung Mittel zum Ableiten von Ist-Daten aus den gemessenen Signalen. Diese Mittel können wiederum Mittel zum Ermitteln eines ersten Summenwertes durch Akkumulieren von Signalen, die einer schwächeren Krümmung des Piezoelements als einer Normalkrümmung des Piezoelements entsprechen, und/oder Mittel zum Ermitteln eines zweiten Summenwerts durch Akkumulieren von Signalen, die einer stärkeren Krümmung des Piezoelements als einer Normalkrümmung des Piezoelements entsprechen, umfassen.

Die Merkmale der Erfindung wurden in Bezug auf ein Verfahren und/oder mit Bezug auf eine Vorrichtung beschrieben. Sofern nicht explizit anders angegeben, können Verfahrensmerkmale mit Vorrichtungsmerkmalen und Vorrichtungsmerkmale mit Verfahrensmerkmalen kombiniert werden. Insbesondere umfasst die erfindungsgemäße Vorrichtung entsprechende Mittel zur Durchführung der entsprechenden Verfahrensschritte. Auch sonstige Merkmale des Verfahrens finden ihren Niederschlag in ent-

sprechenden Ausführungsformen der Vorrichtung. Um die Beschreibung der Erfindung nicht unnötig zu vergrößern, wird auf eine Wiederholung der Verfahrensmerkmale in Form von Vorrichtungsmerkmalen verzichtet. Diese Vorrichtungsmerkmale, die sich dem Fachmann unmittelbar erschließen, sollen dennoch als offenbart gelten.

Weitere Vorteile und Details von Ausführungsformen der Erfindung werden im Folgenden mit Bezug auf die Figuren erläutert.

Dabei zeigen

Figur 1	eine Ausführungsform eines mit einem Piezoelement ausgestatteten Fahrzeugrades;
Figur 2a	verschiedene Drehwinkel des Piezoelements bei einem neuen Reifen;
Figur 2b	verschiedene Drehwinkel des Piezoelements bei einem abgenutzten Reifen;
Figur 3	eine Krümmung eines Piezoelements während einer Radumdrehung;
Figur 4	eine Ausführungsform eines Signalverlaufs eines Piezoelements bei einem abgefahrenen Reifen im Vergleich zu einem neuen Reifen;
Figur 5	eine erste Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Schätzen einer Profiltiefe eines Reifens;
Figur 6	einen möglichen Spannungsverlauf des Piezoelements in nicht kompensierter und in kompensierter Form;
Figur 7	eine zweite Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Schätzen einer Profiltiefe eines Reifens;
Figur 8	einen möglichen Signalverlauf des Piezoelements;
Figur 9	ein Beispiel für Verhältnisse von ersten zu zweiten Summenwerten bei einem neuen und einem abgefahrenen Reifen;

Figur 10 eine dritte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Schätzen einer Profiltiefe eines Reifens;

Figur 11 einen möglichen Abstand des Piezoelements vom Radmittelpunkt bei einer Umdrehung des Rades;

Figur 12 ein Beispiel eines geometrischen Verlaufs des Piezoelements bei einem Abrollen des Reifens;

Figur 13 eine vierte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Schätzen einer Profiltiefe eines Reifens;

Figur 14 Frequenzen und Amplituden eines gemessenen Signals eines abgenutzten Reifens im Vergleich zu Frequenz und Amplituden eines neuen Reifens und

Figur 15 eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Schätzen einer Profiltiefe eines Reifens eines Fahrzeugs.

Bei den mit Bezug auf die Figuren gemachten Erläuterungen werden gleiche und wirkungsgleiche Merkmale mit demselben Bezugszeichen versehen, sofern nichts anderes angegeben ist.

Die Figur 1 zeigt ein mit einem Piezoelement ausgestattetes Fahrzeugrad mit einem Reifen 1, der in der Rotationsrichtung 2 abrollt. Das Abrollverhalten ist hier in idealisierter Form auf einem ebenen Untergrund 3 dargestellt. Es entsteht eine abgeplattete Aufstandsfläche, die als Latsch 4 bezeichnet wird. Die Länge L des Latsches wird dabei vom Latscheintritt 5 bis zum Latschaustritt 6 gemessen. Die Form des Latsches 4 ist unter anderem abhängig von Reifenkenndaten, der Radlast, dem Reifendruck und der Geschwindigkeit des Fahrzeugs. In dem Reifen 1 ist eine Radeinheit 7 angeordnet. Diese umfasst unter anderem ein Piezoelement, das derartig an einer Innenseite des Reifens angeordnet ist, dass es sich bei einem Latschdurchlauf verformt. Insbesondere beim Latscheintritt 5 und beim Latschaustritt 6 kommt es durch den Knick zu einer intensiven Verformung des Piezoelements. Neben dem Piezoelement umfasst die Radeinheit 7 ferner eine Batterie, einen Prozessor, verschiedene Sensoren wie einen Luftdrucksensor, einen Temperatursensor und einen Be-

schleunigungssensor, eine Verarbeitungseinheit sowie eine Sendeeinrichtung.

Wenn das Piezoelement durch eine mechanische Kraft verformt wird, erzeugt es eine elektrische Spannung, die ein Maß für die Verformung des Piezoelements darstellt. Die Figuren 2a und 2b zeigen das Piezoelement 8 an verschiedenen Positionen des Reifens 1. Der in der Figur 2a gezeigte Reifen 1 ist neu, während der in Figur 2b dargestellte Reifen 1 abgefahren ist. Das Piezoelement 8 ist an der neutralen Faser 9 des Reifens angeordnet. Diese neutrale Faser 9 zeichnet sich dadurch aus, dass sie sich zwar verformt, aber weder streckt noch kürzt. Der Reifenabrieb geschieht dabei außerhalb der neutralen Faser, so dass der Radius r0 der neutralen Faser 9 sowohl bei einem neuen, als auch einem abgefahrenen Reifen identisch ist.

Wie den Figuren 2a und 2b zu entnehmen ist, weist das Piezoelement 8, wenn es sich oben im Reifen befindet, eine normale Krümmung auf. Beim Latscheintritt 5 sowie beim Latschaustritt 6 ist das Piezoelement 8 im Vergleich zur normalen Krümmung stärker und in der Mitte des Latsches 4 schwächer gekrümmt.

Die beiden Figuren 2a und 2b lassen erahnen, dass der Knick im Latscheintritt 5 und im Latschaustritt 6 bei dem in Figur 2b gezeigten abgefahrenen Reifen schärfer ist als bei dem in Figur 2a dargestellten neuen Reifen, da das außerhalb der neutralen Faser 9 beim neuen Reifen reichlich vorhandene Gummi die Knickwirkung dämpft. Dieser Effekt kann zur Schätzung der Profiltiefe herangezogen werden.

Die Figur 3 illustriert eine Krümmung des Piezoelements 8 während einer Radumdrehung. Auf der Ordinatenachse 10 ist die Krümmung des Piezoelements in der Einheit 1/Meter dargestellt. Dabei wurde ein Radius r0 von 30 cm unterstellt. Auf der Abszissenachse 11 ist der Drehwinkel Φ des Piezoelements 8 abgetragen. Die zehnte Umdrehung des Piezoelements reicht also von 3240 Grad bis 3600 Grad. Bei 3420 Grad befindet sich der Latsch 4, so dass das Piezoelement 8 eine Krümmung von 0 aufweist. Der Darstellung in

Figur 3 ist damit auch zu entnehmen, dass sich der Bezugsschenkel vom Mittelpunkt des Reifens lotrecht nach oben erstreckt. Kurz vor dem Latsch, also beim Latscheintritt, und kurz nach dem Latsch, also beim Latschaustritt, kommt es zu Krümmungswerten die über einer normalen Krümmung liegen. Diese normale Krümmung, die mit 1/ro beziffert werden kann, ist durch die Linie 12 angedeutet. Auf der Kurve 13 entspricht der Punkt 14 dem Latscheintritt 5, der Punkt 15 dem Latsch 4 und der Punkt 16 dem Latschaustritt 6.

Die Figur 4 stellt noch einmal die Krümmung des Piezoelements 8 bei einem neuen Reifen 17 dem Krümmungsverlauf des Piezoelements bei einem abgefahrenen Reifen 18 gegenüber. Der Figur 4 ist deutlich zu entnehmen, dass der Krümmungsverlauf der Kurve 17 beim Latschein- und austritt runder ist. Dieser Effekt kann zum Schätzen der Profiltiefe ausgenutzt werden.

Figur 5 illustriert eine erste Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Schätzen einer Profiltiefe eines Reifens eines Fahrzeugs. In Schritt S1 werden zunächst die Signale des Piezoelements gemessen. Dieses Piezoelement 8 ist, wie bereits ausgeführt wurde, an der Innenseite des Reifens 1 in einem Bereich angeordnet, der bei einem Latschdurchlauf verformt wird. In Schritt S2 werden dann aus den gemessenen Signalen in Form von Spannungswerten des Piezoelements Ist-Daten abgeleitet. Hierfür werden die gemessenen Spannungswerte kompensiert. Beispielsweise werden Ladungsverluste, die durch das Messen der Spannungswerte entstehen, berücksichtigt. Dies wird in Figur 6 verdeutlicht. Auf der Ordinatenachse 19 sind die Spannungswerte in Volt und auf der Abszissenachse 20 der Drehwinkel Φ des Piezoelements abgetragen. Die Kurve 21 entspricht den nicht kompensierten Spannungswerten und die Kurve 22 den kompensierten Spannungswerten. Wie der Kurve 21 entnommen werden kann, nimmt der Betrag des Spannungswertes im Latsch schnell ab. Da dies jedoch keiner Veränderung der Krümmung des Piezoelements entspricht, sondern auf Ladungsverluste durch die Messung zurückzuführen ist, wird diese Spannungsabnahme kompensiert.

Der Zusammenhang zwischen der Verlustspannung U_{Loss} und der gemessenen Piezospannung U_P kann mittels der folgenden Differenzialgleichung beschrieben werden:

$$\frac{d}{dt}U_{Loss}(t) = C_L * U_p(t)$$

Die Konstante C_L kann durch die Kapazität C des Piezoelements und den Gesamtverlustwiderstand R berechnet werden: $C_L = \left(\frac{1}{RC}\right)$.

In dem in Figur 5 gezeigten Schritt S3 werden dann die im Schritt S2 abgeleiteten Ist-Daten mit Vergleichsdaten verglichen. Im vorliegenden Beispiel entsprechen die Vergleichsdaten Kennlinien, die jeweils einer Profiltiefe zugeordnet sind und für jeweilige Drehwinkel des Piezoelements zu erwartende Ist-Daten angeben.

In Schritt S4 wird derjenige Datensatz der Vergleichsdaten, also diejenige Kennlinie, ermittelt, der die größte Ähnlichkeit mit den Ist-Daten aufweist. In Schritt S5 wird dann die Profiltiefe durch Ermitteln einer dem Datensatz zugeordneten Profiltiefe geschätzt. Ein Beispiel für eine Kennlinie ist die in Figur 4 mit 17 bezeichnete Kurve.

Figur 7 zeigt eine zweite Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Schätzen einer Profiltiefe eines Reifens eines Fahrzeugs. In Schritt S6 werden zunächst Signale des Piezoelements gemessen. In den Schritten S7 bis S9 werden aus den gemessenen Signalen Ist-Daten abgeleitet. Zunächst wird in Schritt S7 ein erster Summenwert ermittelt durch Akkumulieren von Signalen, die einer schwächeren Krümmung des Piezoelements als einer Normalkrümmung des Piezoelements entsprechen. In Schritt S8 wird dann ein zweiter Summenwert ermittelt durch Akkumulieren von Signalen, die einer stärkeren Krümmung des Piezoelements als einer Normalkrümmung des Piezoelements entsprechen. Der erste und zweite Summenwert werden in Schritt S9 zueinander in ein Verhältnis gesetzt.

Diese Zusammenhänge sollen noch einmal mit Bezug auf Figur 8 erläutert werden. Figur 8 stellt eine Krümmung des Piezoelements in Abhängigkeit vom Drehwinkel des Piezoelements dar. Auf der Ordinatenachse 10 ist die Krümmung und auf der Abszissenachse 11 ist der Drehwinkel Φ des Piezoelements aufgetragen. Die Normalkrümmung ist mit Hilfe der Linie 12 dargestellt. Die Fläche 23 entspricht dem ersten Summenwert, da in diesem Bereich eine schwächere Krümmung des Piezoelements als eine Normalkrümmung vorliegt. Die Flächen 24 und 25 entsprechen dem zweiten Summenwert. Denn hier liegt eine stärkere Krümmung des Piezoelements als eine Normalkrümmung vor. Die Fläche 23 wird dann zu der Gesamtfläche von 24 und 25 ins Verhältnis gesetzt.

In Schritt S10 werden die so gewonnen Ist-Daten mit Vergleichsdaten verglichen. Figur 9 stellt diesen Zusammenhang dar. Auf der Ordinatenachse 26 ist das Verhältnis zwischen dem ersten und zweiten Summenwert aufgezeichnet. Auf der Abszissenachse 27 befindet sich wiederum der Drehwinkel Φ des Piezoelements. Die Punkte auf dem unteren Graphen 28 entsprechen den Verhältnissen zwischen dem ersten und dem zweiten Summenwert bei einem neuen Reifen und die Punkte auf dem oberen Graph 29 entsprechen diesen Verhältnis bei einem abgefahrenen Reifen. Somit ist deutlich erkennbar, dass das Verhältnis zwischen dem ersten und zweiten Summenwert bei einem neuen und einem abgefahrenen Reifen deutlich unterschiedlich ist.

In dem in Figur 7 gezeigten Schritt S11 wird der Datensatz der Vergleichsdaten ermittelt, der die größte Ähnlichkeit mit den Ist-Daten aufweist. In Schritt S12 wird dann die Profiltiefe durch Ermitteln einer dem Datensatz zugeordneten Profiltiefe geschätzt.

Figur 10 zeigt eine dritte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Schätzen einer Profiltiefe eines Reifens eines Fahrzeugs. In Schritt S13 werden Signale des Piezoelements gemessen, aus denen in Schritt S14 Ist-Daten abgeleitet werden. Vorliegend wird ein geometrischer Verlauf des Piezoelements bei

einem Abrollen des Reifens ermittelt. Dies kann beispielsweise über die folgende Differenzialgleichung geschehen:

$$K(\phi) = \frac{r^2 + 2rr' - rr''}{(r^2 + r'^2)^{3/2}}$$

Hierbei ist K(Φ) die vom Drehwinkel des Piezoelements abhängige Krümmung. r bezeichnet den Radius, also den Abstand zwischen dem Piezoelement und dem Radmittelpunkt. r' ist die erste Ableitung von r nach dem Winkel Φ und r'' ist die zweite Ableitung von r nach dem Winkel Φ. Mithilfe der gemessenen Signale kann die Krümmung K (Φ) ermittelt werden. Durch Lösen der oben gezeigten Differenzialgleichung kann in Abhängigkeit des Drehwinkels Φ der Radius bestimmt werden. Damit liegen die Koordinaten vor, die den geometrischen Verlauf des Piezoelements beschreiben.

Figur 11 verdeutlicht diesen Zusammenhang. Auf der Ordinatenachse 30 ist der Radius r in cm und auf der Abszissenachse 31 der Drehwinkel Φ des Piezoelements dargestellt. Wie der Figur 11 entnommen werden kann, verringert sich im Bereich des Latsches der Abstand zwischen dem Piezoelement und dem Reifenmittelpunkt.

In der Figur 12 ist dieser Zusammenhang noch einmal anders dargestellt. Auf der Ordinatenachse 32 und Abszissenachse 33 sind jeweils Längenmaße in cm aufgetragen. Die Kurve 34 verdeutlicht einen perfekten Kreis mit dem Radius r0. Die Kurve 35 stellt den geometrischen Verlauf des Piezoelements dar. Das Krümmungsfeld ist durch die Kurve 36 angedeutet.

In dem in Figur 10 dargestellten Schritt S15 werden die so gewonnenen Ist-Daten, also der geometrische Verlauf des Piezoelements, mit Vergleichsdaten verglichen. In Schritt S16 wird der Datensatz der Vergleichsdaten ermittelt, der die größte Ähnlichkeit mit den Ist-Daten aufweist. Die Profiltiefe wird dann in Schritt S17 durch Ermitteln einer dem ermittelten Datensatz zugeordneten Profiltiefe geschätzt.

Figur 13 illustriert eine vierte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Schätzen einer Profiltiefe eines Reifens eines Fahrzeugs. In Schritt S18 werden Signale des Piezoelements gemessen, aus denen in Schritt S19 Ist-Daten abgeleitet werden. Im vorliegenden Beispiel erfolgt dies durch eine Spektralanalyse der gemessenen Signale, um die in den Signalen enthaltenen Frequenzen und deren Amplituden zu ermitteln. In Schritt S20 werden die so abgeleiteten Ist-Daten mit den Vergleichsdaten verglichen.

Dieser Vorgang ist in Figur 14 noch einmal illustriert. Auf der Ordinatenachse 37 ist die Amplitude in Dezibel und auf der Abszissenachse 38 ist die Frequenz in Hertz aufgetragen. Die Kurve 39 entspricht den Ist-Daten eines abgefahrenen Reifens, während die Kurve 40 die Vergleichsdaten eines neuen Reifens repräsentieren. Wie der Figur 14 zu entnehmen ist, unterscheiden sich die Kurven 39 und 40 deutlich, so dass auch aufgrund einer Spektralanalyse ein abgefahrener Reifen von einem neuen Reifen unterschieden werden kann.

Vorzugsweise werden nur diejenigen gemessenen Signale in die Spektralanalyse einbezogen, die in einem Drehwinkelbereich des Piezoelements entstehen, der in einer Drehrichtung des Reifens zwischen einem Drehwinkel, bei dem ein Latschaustritt des Piezoelements erfolgt, und ein Drehwinkel, bei dem ein Latscheintritt des Piezoelements erfolgt, liegt. In der Praxis kann es zu einer Konvolution der Schwingungen, die dem Latschdurchlauf zuzuordnen sind, mit den übrigen Schwingungen kommen. Die Signale, die entstehen, während sich das Piezoelement im Latsch befindet, sollen ausgeblendet werden. Mit Hilfe eines homomorphen Filters können die einzelnen Schwingungen separiert und anschließend ausgewertet werden.

In dem in Figur 13 gezeigten Schritt S21 wird dann der Datensatz der Vergleichsdaten ermittelt, der die größte Ähnlichkeit mit den Ist-Daten aufweist. Durch Ermitteln der dem Datensatz zu-

geordneten Profiltiefe wird dann in Schritt S22 die Profiltiefe geschätzt.

Figur 15 zeigt eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Schätzen einer Profiltiefe eines Reifens eines Fahrzeugs während eines Betriebs des Fahrzeugs. Die gezeigte Ausführungsform 41 umfasst eine Messeinrichtung 42 zum Messen von Signalen eines Piezoelements, das an einer Innenseite des Reifens in einem Bereich angeordnet ist, der bei einem Latschdurchlauf verformt wird. Darüber hinaus umfasst die Vorrichtung 41 eine Vergleichseinrichtung 43 zum Vergleichen der Signale oder von aus den Signalen abgeleiteten Ist-Daten mit Vergleichsdaten und eine Schätzeinrichtung 44 zum Schätzen der Profiltiefe aufgrund des Vergleichs der Signale oder der Ist-Daten mit den Vergleichsdaten. Die Vergleichsdaten können Datensätze enthalten, die jeweils für eine Profiltiefe zu erwartende Signale oder zu erwartende Ist-Daten angeben.

Die mit Bezug auf die Figuren gemachten Erläuterungen sind rein illustrativ und nicht beschränkend zu verstehen. An den beschriebenen Ausführungsformen können viele Änderungen vorgenommen werden, ohne den Schutzbereich, wie er in den beigefügten Ansprüchen definiert ist, zu verlassen. Insbesondere können die Merkmale der Ausführungsformen miteinander kombiniert werden, um auf diese Weise weitere für den Anwendungszweck optimierte Ausführungsformen bereitzustellen.

Bezugszeichenliste

1	Reifen
2	Rotationsrichtung
3	Untergrund
4	Latsch
5	Latscheintritt
6	Latschaustritt
7	Radeinheit
8	Piezoelement
9	neutrale Faser
10	Ordinatenachse, auf der die Krümmung in 1/Meter angegeben ist
11	Abszissenachse, auf der der Drehwinkel Φ des Piezoelements aufgetragen ist
12	normale Krümmung $\left(\frac{1}{r0}\right)$
13	Krümmungsgraph
14	Latscheintritt
15	Latsch
16	Latschaustritt
17	Krümmungsgraph eines neuen Reifens
18	Krümmungsgraph eines abgefahrenen Reifens
19	Ordinatenachse, auf der die Spannung in Volt aufgetragen ist
20	Abszissenachse auf der der Drehwinkel Φ des Piezoelements aufgetragen ist
21	unkompensierter Spannungsverlauf
22	kompensierter Spannungsverlauf
23	Fläche, die einem ersten Summenwert entspricht, der durch Akkumulieren von Signalen ermittelt wird, die einer schwächeren Krümmung des Piezoelements als einer Normalkrümmung des Piezoelements entsprechen
24,25	Flächen, die dem zweiten Summenwert entsprechen, der durch Akkumulieren von Signalen ermittelt wird, die einer stärkeren Krümmung des Piezoelements als einer Normalkrümmung des Piezoelements entsprechen

26	Ordinatenachse, auf der das Verhältnis zwischen erstem und zweitem Summenwert aufgetragen ist
27	Abszissenachse, auf der der Drehwinkel Φ des Piezoelements aufgetragen ist
28	Verhältnisse zwischen erstem und zweitem Summenwert eines neuen Reifens
29	Verhältnisse zwischen erstem und zweitem Summenwert eines abgefahrenen Reifens
30	Ordinatenachse, auf der der Radius in cm aufgetragen ist
31	Abszissenachse, auf der der Drehwinkel Φ des Piezoelements aufgetragen ist
32	Ordinatenachse mit Längenmaß in cm
33	Abszissenachse mit Längenmaß in cm
34	perfekter Kreis mit Radius r0
35	geometrischer Verlauf des Piezoelements
36	Krümmungsfeld
37	Ordinatenachse, auf der die Amplitude in Dezibel aufgetragen ist
38	Abszissenachse, auf der die Frequenz in Hertz aufgetragen ist
39	Spektralanalyse bei einem abgefahrenen Reifen
40	Spektralanalyse bei einem neuen Reifen
41	Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung
42	Messeinrichtung
43	Vergleichseinrichtung
44	Schätzeinrichtung
L	Länge des Latsches
S1	Messen von Signalen eines Piezoelements
S2	Ableiten von Ist-Daten aus den gemessenen Signalen durch Kompensieren der gemessenen Spannungswerte
S3	Vergleichen der Ist-Daten mit Vergleichsdaten
S4	Ermitteln eines Datensatzes der Vergleichsdaten, der die größte Ähnlichkeit mit den Ist-Daten aufweist.
S5	Schätzen der Profiltiefe durch Ermitteln der dem Datensatz zugeordneten Profiltiefe
S6	Messen von Signalen eines Piezoelements

S7 Ermitteln eines ersten Summenwertes durch Akkumulieren von Signalen, die einer schwächeren Krümmung des Piezoelements als einer Normalkrümmung des Piezoelements entsprechen

S8 Ermitteln eines zweiten Summenwertes durch Akkumulieren von Signalen, die einer stärkeren Krümmung des Piezoelements als einer Normalkrümmung des Piezoelements entsprechen

S9 Ermitteln eines Verhältnisses zwischen dem ersten und dem zweiten Summenwert

S10 Vergleichen der Ist-Daten mit den Vergleichsdaten

S11 Ermitteln eines Datensatzes der Vergleichsdaten, der die größte Ähnlichkeit mit den Ist-Daten aufweist

S12 Schätzen der Profiltiefe durch Ermitteln der dem Datensatz zugeordneten Profiltiefe

S13 Messen von Signalen eines Piezoelements

S14 Ableiten von Ist-Daten aus den gemessenen Signalen durch Ermitteln eines geometrischen Verlaufs des Piezoelements

S15 Vergleichen der Ist-Daten mit Vergleichsdaten

S16 Ermitteln eines Datensatzes der Vergleichsdaten der die größte Ähnlichkeit mit den Ist-Daten aufweist

S17 Schätzen der Profiltiefe durch Ermitteln der dem Datensatz zugeordneten Profiltiefe

S18 Messen von Signalen eines Piezoelements

S19 Ableiten von Ist-Daten aus den gemessenen Signalen durch Spektralanalyse der gemessenen Signale, um die in den Signalen enthaltenen Frequenzen und deren Amplituden zu ermitteln

S20 Vergleichen der Ist-Daten mit Vergleichsdaten

S21 Ermitteln eines Datensatzes der Vergleichsdaten der die größte Ähnlichkeit mit den Ist-Daten aufweist

S22 Schätzen der Profiltiefe durch Ermitteln der dem Datensatz zugeordneten Profiltiefe

Patentansprüche

1. Verfahren zum Schätzen einer Profiltiefe eines Reifens (1) eines Fahrzeugs während eines Betriebs des Fahrzeugs mit den Schritten
- Messen von Signalen eines Piezoelements (S1, S6, S13, S18), das an einer Innenseite des Reifens in einem Bereich angeordnet ist, der bei einem Latschdurchlauf verformt wird,
- Vergleichen der Signale oder von aus den Signalen abgeleiteten Ist-Daten mit Vergleichsdaten (S3, S10, S15, S20), wobei die Vergleichsdaten Datensätze enthalten, die jeweils für eine Profiltiefe zu erwartende Signale oder zu erwartende Ist-Daten angeben, und
- Schätzen der Profiltiefe (S5, S12, S17, S22)aufgrund des Vergleichs der Signale oder der Ist-Daten mit den Vergleichsdaten.

2. Verfahren nach Anspruch 1, mit den Schritten
- Ermitteln eines Datensatzes der Vergleichsdaten (S4, S11, S16, S21), der die größte Ähnlichkeit mit den Signalen oder den Ist-Daten aufweist, und
- Schätzen der Profiltiefe (S5, S12, S17, S22) durch Ermitteln einer dem Datensatz zugeordneten Profiltiefe.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit dem Schritt Ableiten von Ist-Daten aus den gemessenen Signalen(S2, S7, S8, S9, S14, S19).

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei als Signale Spannungswerte des Piezoelements (8) gemessen werden und der Schritt des Ableitens von Ist-Daten aus den gemessenen Signalen den Schritt umfasst Kompensieren der gemessenen Spannungswerte (S2) um mindestens einen Einflussfaktor, der von einem Reifendruck, von einer Reifentemperatur, von einer Reifensteifigkeit, von einer Beladung des Fahrzeugs und/oder von Ladungsverlusten, die durch das Messen der Spannungswerte entstehen, abhängig ist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei jeder Datensatz einer Kennlinie entspricht, die für jeweilige Drehwinkel (Φ) des Piezoelements bei der dem Datensatz zugeordneten Profiltiefe zu erwartende Signale oder zu erwartende Ist-Daten angibt, wobei unter einem Drehwinkel des Piezoelements ein Drehwinkel zwischen einem Schenkel, der sich von einem Mittelpunkt des Reifens durch das Piezoelement erstreckt, und einem Bezugsschenkel, der sich vom Mittelpunkt des Reifens in eine vorherbestimmte Richtung erstreckt, zu verstehen ist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die Signale oder die Ist-Daten mit den Kennlinien in einem Drehwinkelbereich des Piezoelements verglichen werden, in dem ein Latscheintritt (5) des Piezoelements und/oder ein Latschaustritt (6) des Piezoelements erfolgt.

7. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der Schritt des Ableitens von Ist-Daten aus den gemessenen Signalen die Schritte umfasst
- Ermitteln eines ersten Summenwerts (S7) durch Akkumulieren von Signalen, die einer schwächeren Krümmung des Piezoelements als einer Normalkrümmung des Piezoelements entsprechen, und/oder
- Ermitteln eines zweiten Summenwerts (S8) durch Akkumulieren von Signalen, die einer stärkeren Krümmung des Piezoelements als einer Normalkrümmung des Piezoelements entsprechen.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei der Schritt des Ableitens von Ist-Daten aus den gemessenen Signalen den Schritte umfasst
- Ermitteln eines Verhältnisses zwischen dem ersten und dem zweiten Summenwert (S9).

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, wobei die Vergleichsdaten für verschiedene Profiltiefen zu erwartende erste Summenwerte oder zu erwartende Verhältnisse zwischen dem ersten und dem zweiten Summenwert angeben.

10. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der Schritt des Ableitens von Ist-Daten aus den gemessenen Signalen den Schritt umfasst

Ermitteln eines geometrischen Verlaufs des Piezoelements (S14) bei einem Abrollen des Reifens, wobei die Vergleichsdaten in Abhängigkeit der Profiltiefe zu erwartende geometrische Verläufe des Piezoelements angeben.

11. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der Schritt des Ableitens von Ist-Daten aus den gemessenen Signalen den Schritt umfasst Spektralanalyse der gemessenen Signale (S19), um die in den Signalen enthaltenen Frequenzen und deren Amplituden zu ermitteln, wobei die Vergleichsdaten für verschiedene Profiltiefen zu erwartende Frequenzen und deren Amplituden angeben.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei nur diejenigen gemessenen Signale der Spektralanalyse unterzogen werden, die in einem Drehwinkelbereichs des Piezoelements (8) entstehen, der in einer Drehrichtung (2) des Reifens zwischen einem Drehwinkel, bei dem ein Latschaustritt (6) des Piezoelements erfolgt, und einem Drehwinkel, bei dem ein Latscheintritt (5) des Piezoelements erfolgt, liegt.

13. Verfahren zum Warnen eines Fahrers des Fahrzeugs mit den Schritten des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche und den zusätzlichen Schritten
- Vergleichen der geschätzten Profiltiefe mit einem Schwellwert und
- Ausgeben eines Warnsignals an den Fahrer, wenn die geschätzte Profiltiefe den Schwellwert unterschreitet.

14. Vorrichtung (41) zum Schätzen einer Profiltiefe eines Reifens (1) eines Fahrzeugs während eines Betriebs des Fahrzeugs mit
- einer Messeinrichtung (42) zum Messen von Signalen eines Piezoelements (8), das an einer Innenseite des Reifens in einem Bereich angeordnet ist, der bei einem Latschdurchlauf verformt wird,
- einer Vergleichseinrichtung (43) zum Vergleichen der Signale oder von aus den Signalen abgeleiteten Ist-Daten mit Vergleichsdaten, wobei die Vergleichsdaten Datensätze enthalten,

die jeweils für eine Profiltiefe zu erwartende Signale oder zu erwartende Ist-Daten angeben, und

- einer Schätzeinrichtung (44) zum Schätzen der Profiltiefe aufgrund des Vergleichs der Signale oder der Ist-Daten mit den Vergleichsdaten.

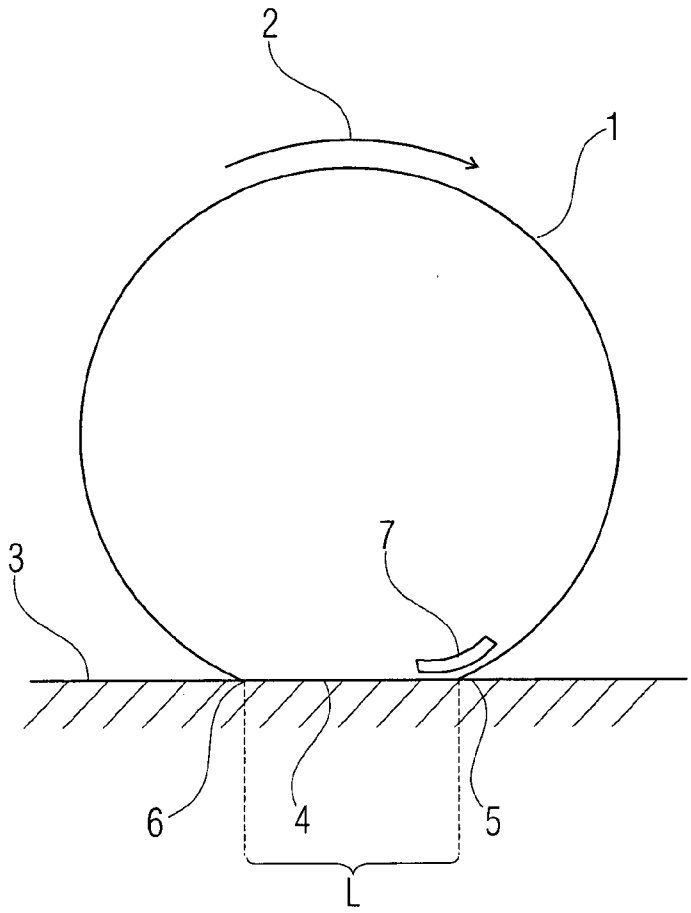


FIG 1

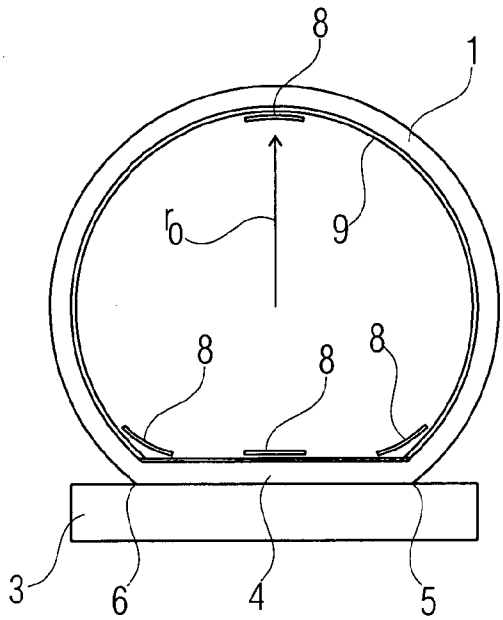


FIG 2a

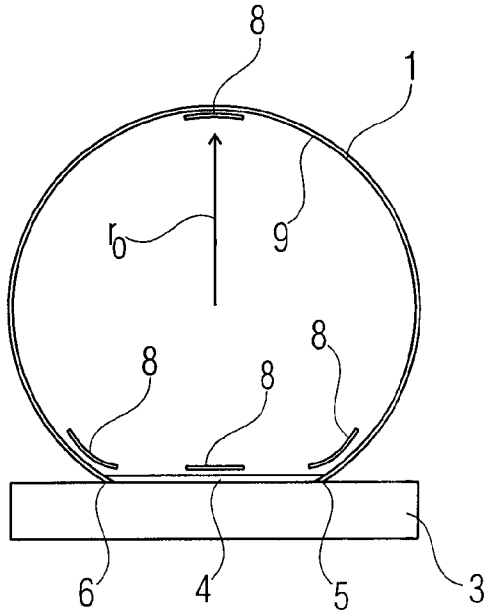


FIG 2b

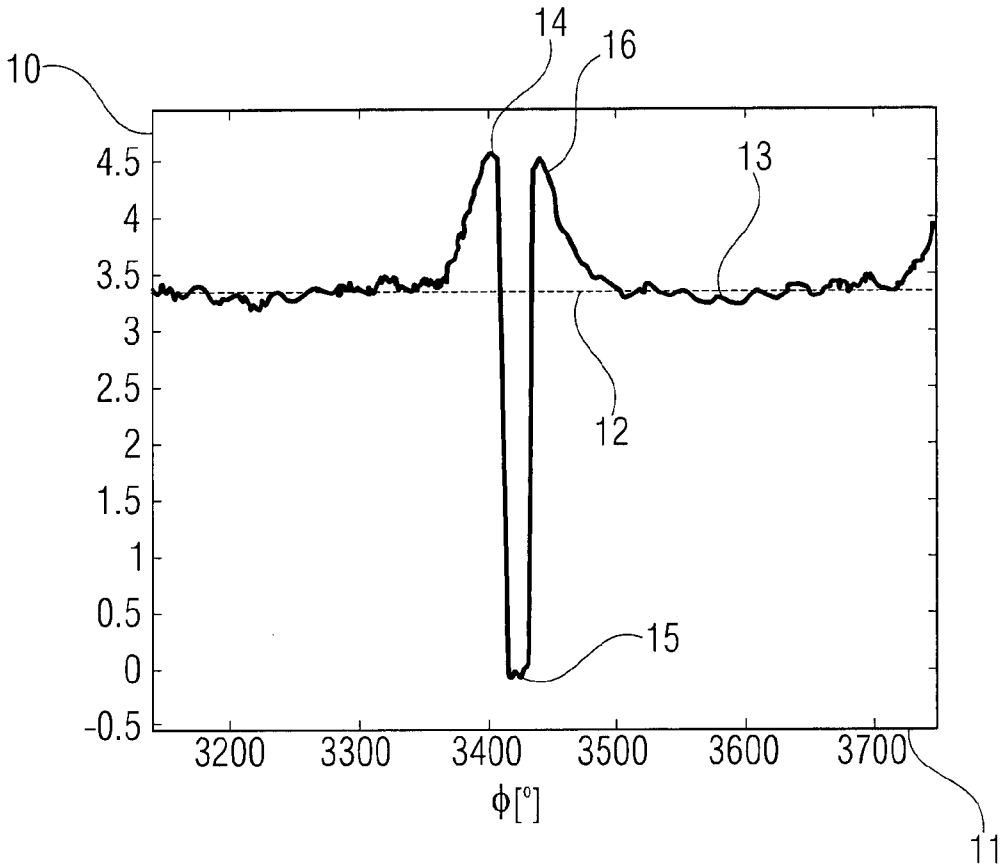

14
16
10
13
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
12
15
3200
3300
3400
3500
3600
3700
ϕ[°]
11

FIG 3

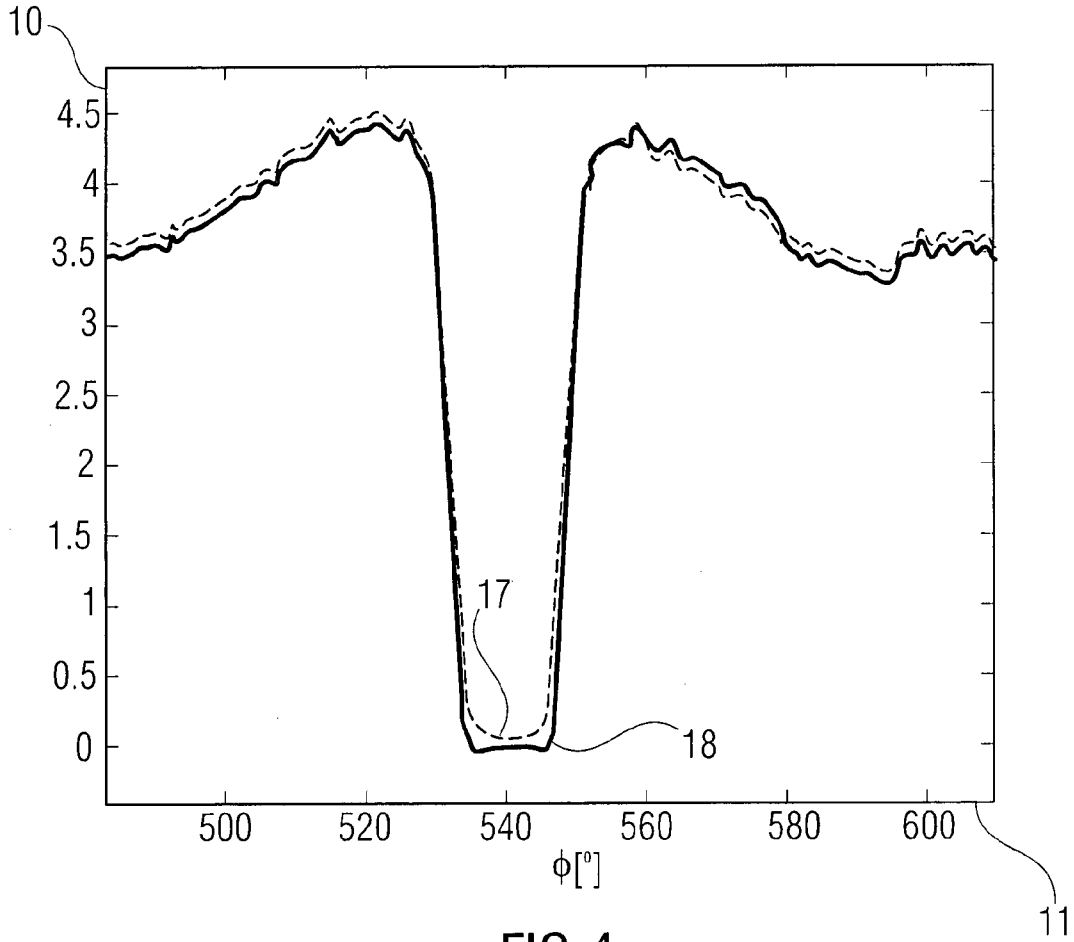


FIG 4

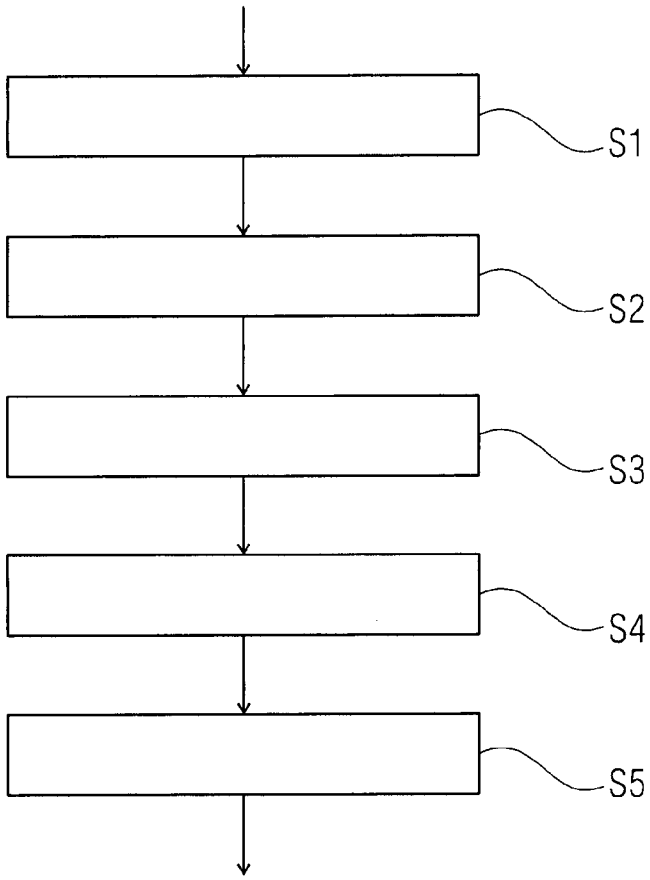


FIG 5

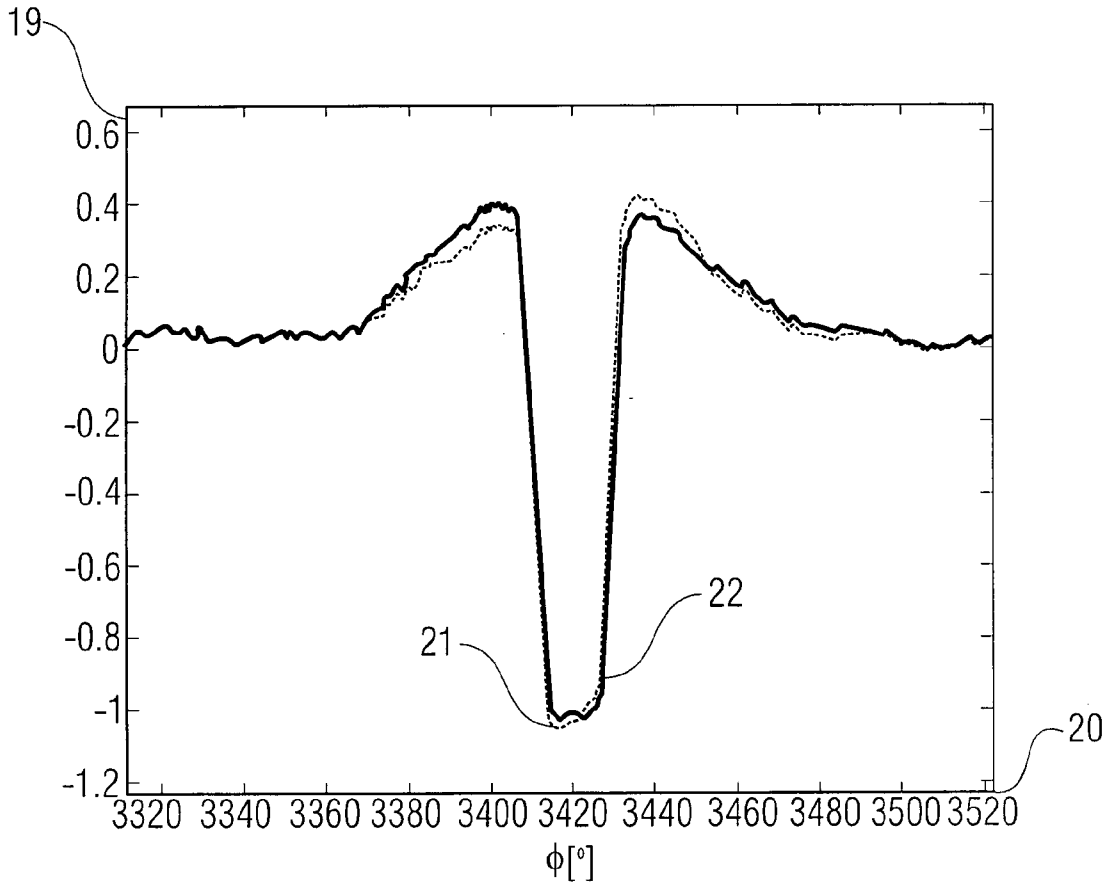

19
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
-1.2
3320 3340 3360 3380 3400 3420 3440 3460 3480 3500 3520
ϕ[°]
21
22
20

FIG 6

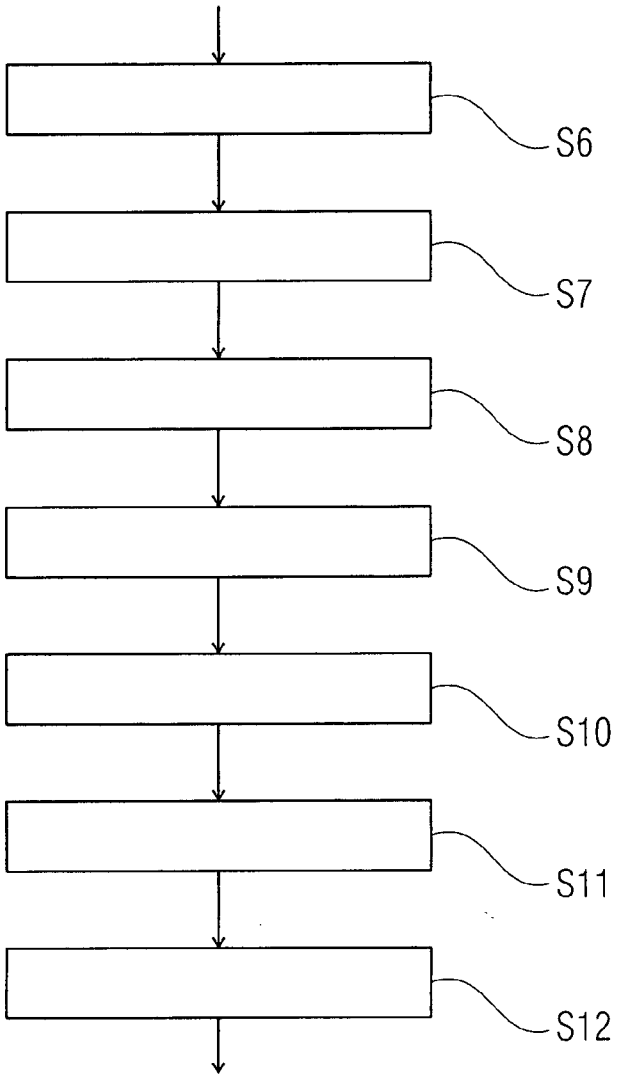


FIG 7

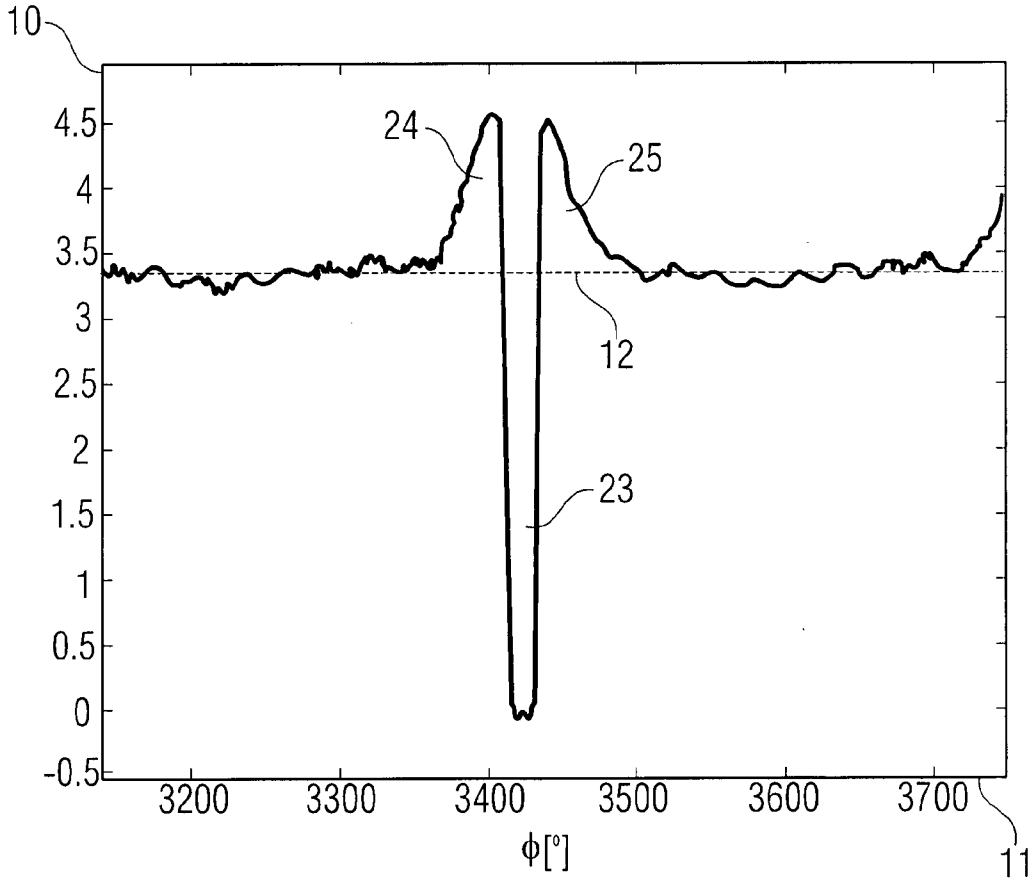

10
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
24
25
12
23
3200
3300
3400
3500
3600
3700
ϕ[°]
11

FIG 8

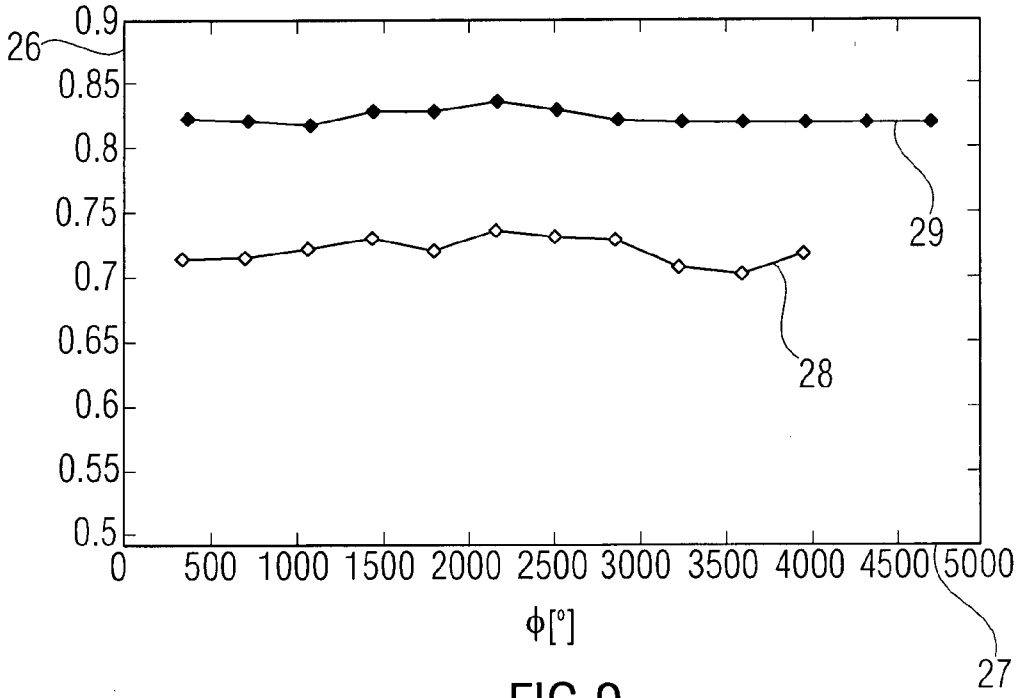

26
0.9
0.85
0.8
0.75
0.7
0.65
0.6
0.55
0.5
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
ϕ[°]
29
28
27

FIG 9

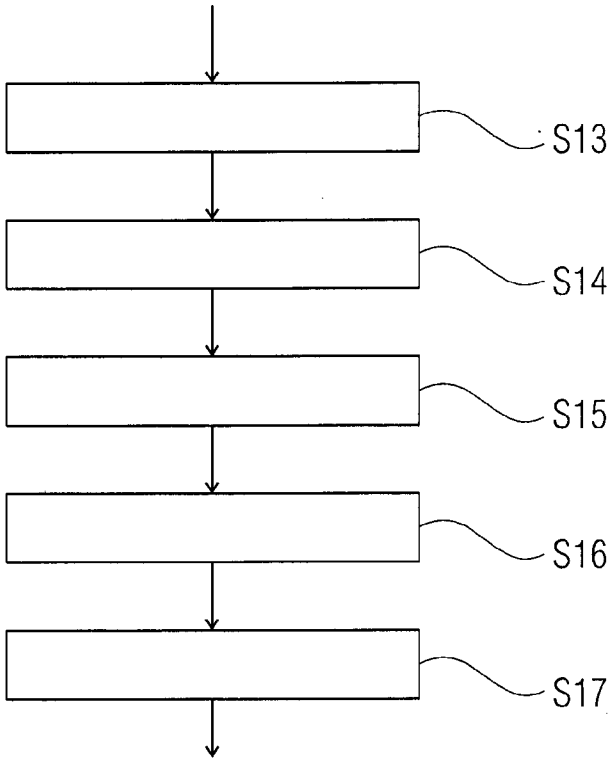


FIG 10

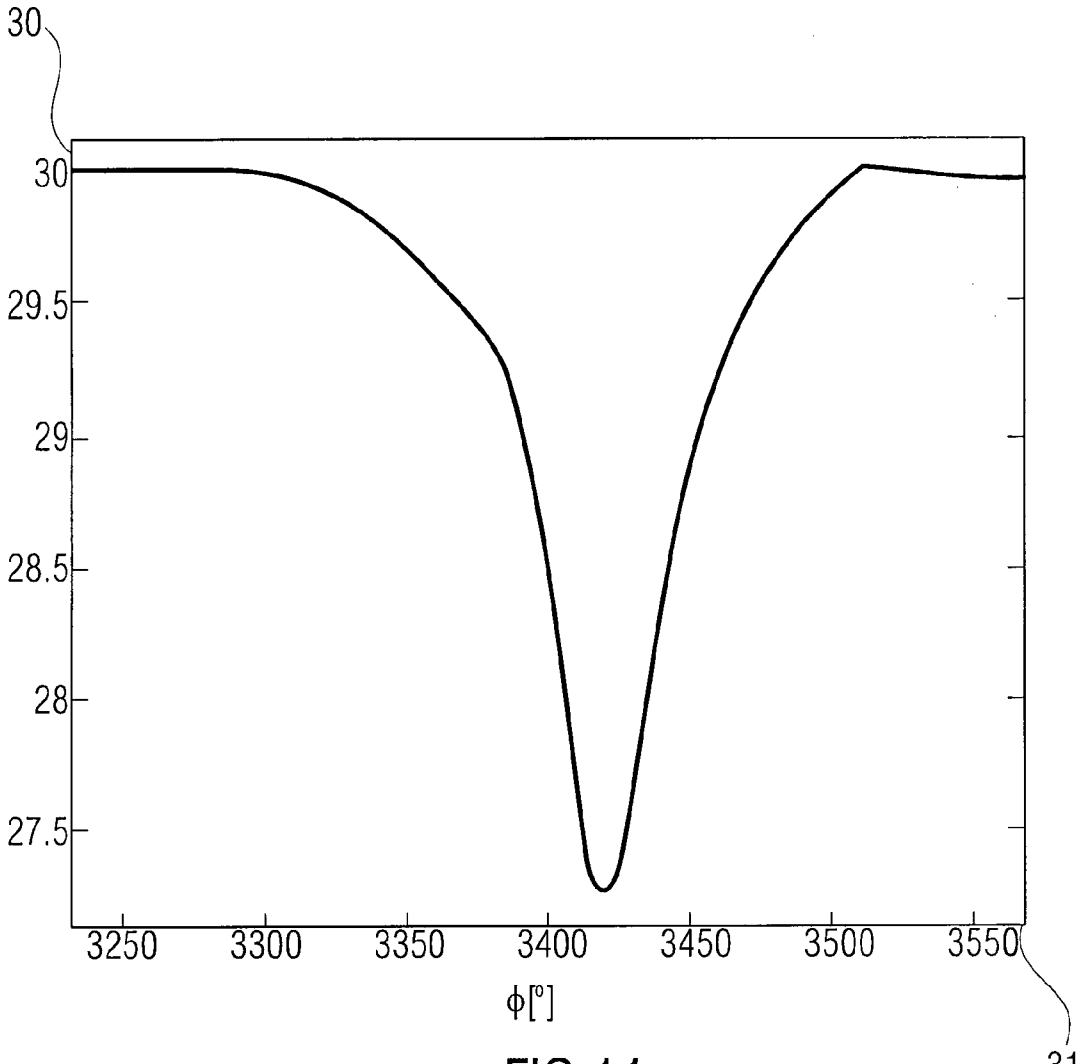


FIG 11

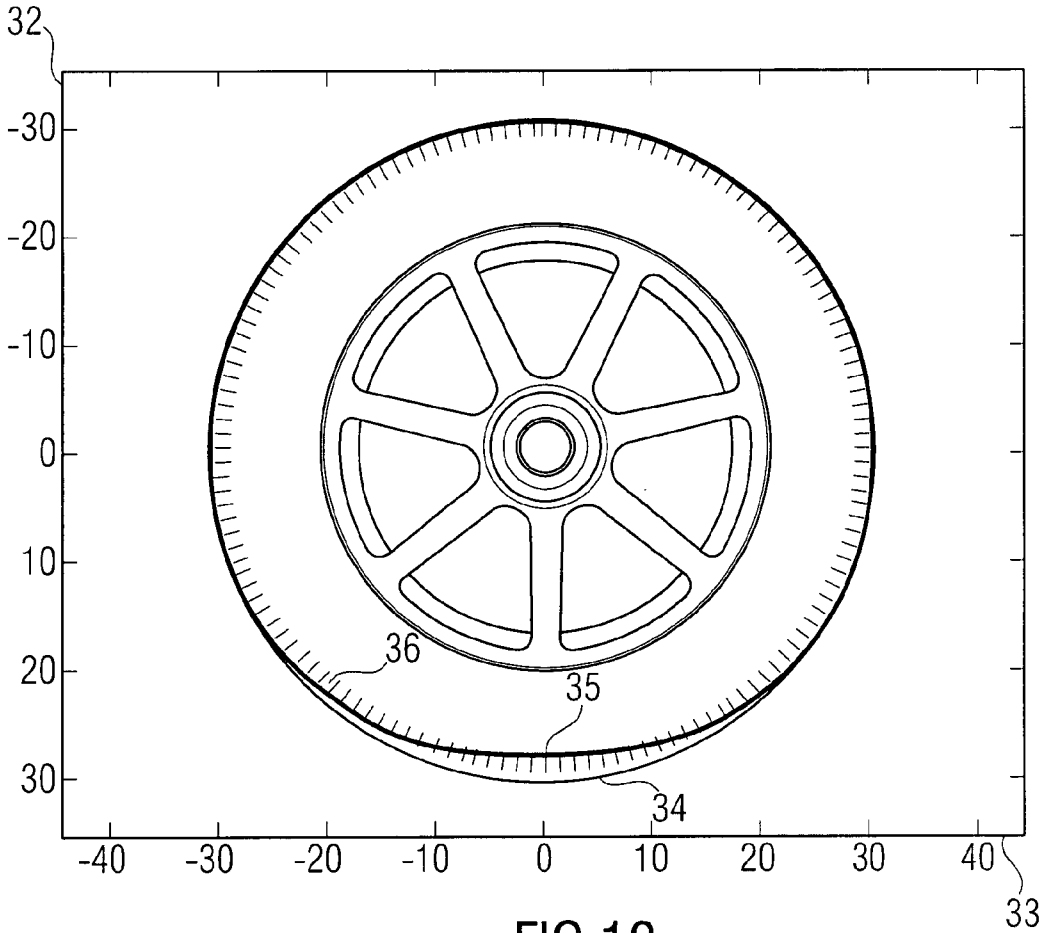


FIG 12

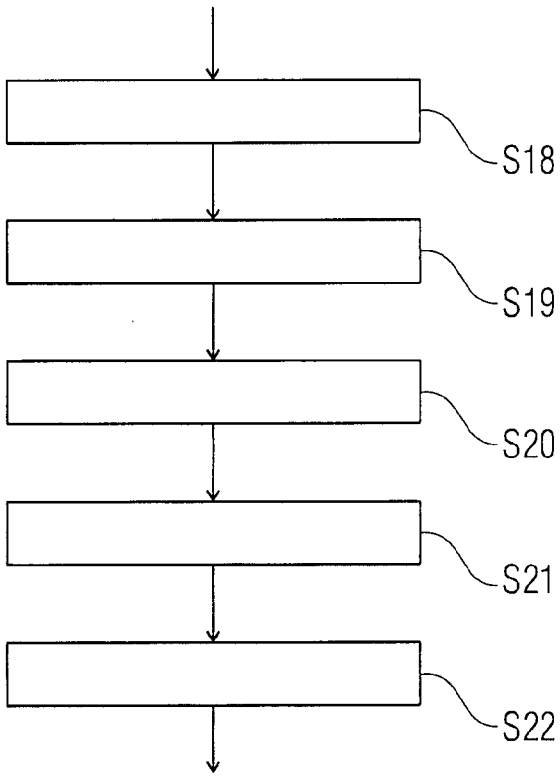


FIG 13

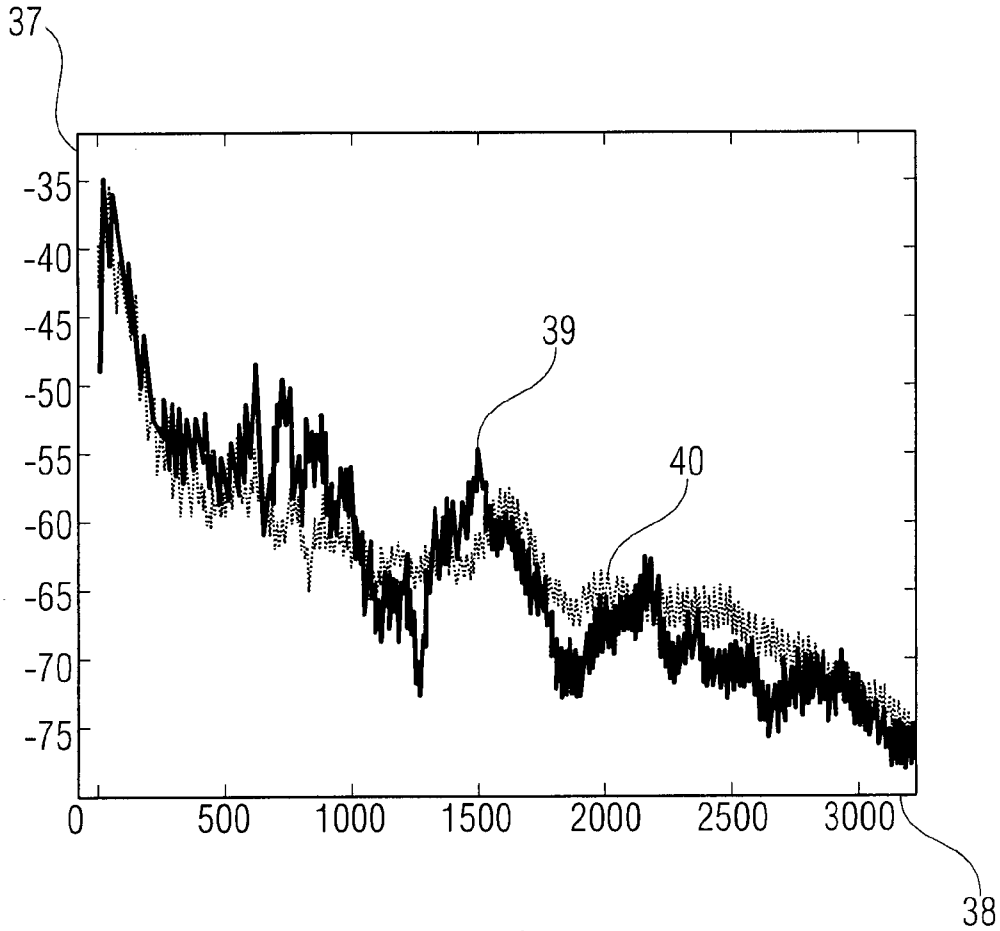

37
-35
-40
-45
-50
-55
-60
-65
-70
-75
39
40
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
38

FIG 14

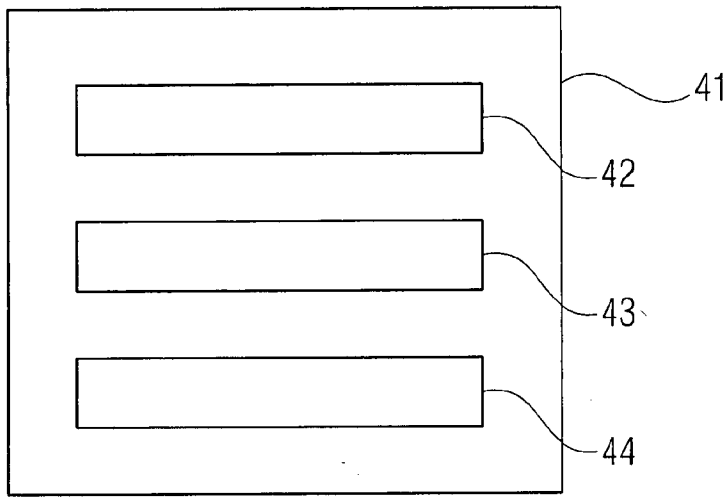


FIG 15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/065165

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B60C11/24
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
B60C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	DE 10 2006 028411 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 27 December 2007 (2007-12-27) the whole document	1-3, 11-14 4-6,10 7-9
Y	JP 2007 153034 A (TOYOTA MOTOR CORP) 21 June 2007 (2007-06-21) paragraph [0023] - paragraph [0024] paragraph [0047] - paragraph [0050] figures 1-3,8	4-6,10
X	US 5 749 984 A (FREY NORMAM WALTER [US] ET AL) 12 May 1998 (1998-05-12) column 6, line 26 - line 30 column 6, line 64 - line 65 figures 1a-4	1

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
9 September 2013	17/09/2013

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Billen, Karl

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/065165

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2012/091719 A1 (MICHELIN RECH TECH [CH]; MICHELIN SOC TECH [FR]; WESTON DAVID ALAN [US) 5 July 2012 (2012-07-05) the whole document	1-14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2013/065165

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102006028411 A1	27-12-2007	DE 102006028411 A1	27-12-2007
		EP 2035243 A1	18-03-2009
		JP 2009539667 A	19-11-2009
		US 2009210111 A1	20-08-2009
		WO 2007147662 A1	27-12-2007
JP 2007153034 A	21-06-2007	NONE	
US 5749984 A	12-05-1998	CA 2189688 A1	30-06-1997
		JP 3350896 B2	25-11-2002
		JP H09188113 A	22-07-1997
		US 5749984 A	12-05-1998
WO 2012091719 A1	05-07-2012	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2013/065165

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. B60C11/24
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
B60C

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X Y A	DE 10 2006 028411 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 27. Dezember 2007 (2007-12-27) das ganze Dokument	1-3, 11-14 4-6,10 7-9
Y	JP 2007 153034 A (TOYOTA MOTOR CORP) 21. Juni 2007 (2007-06-21) Absatz [0023] - Absatz [0024] Absatz [0047] - Absatz [0050] Abbildungen 1-3,8	4-6,10
X	US 5 749 984 A (FREY NORMAM WALTER [US] ET AL) 12. Mai 1998 (1998-05-12) Spalte 6, Zeile 26 - Zeile 30 Spalte 6, Zeile 64 - Zeile 65 Abbildungen 1a-4	1

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
9. September 2013	17/09/2013

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Billen, Karl

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2013/065165

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 2012/091719 A1 (MICHELIN RECH TECH [CH]; MICHELIN SOC TECH [FR]; WESTON DAVID ALAN [US) 5. Juli 2012 (2012-07-05) das ganze Dokument -----	1-14

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2013/065165

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102006028411 A1	27-12-2007	DE 102006028411 A1	27-12-2007
		EP 2035243 A1	18-03-2009
		JP 2009539667 A	19-11-2009
		US 2009210111 A1	20-08-2009
		WO 2007147662 A1	27-12-2007
JP 2007153034 A	21-06-2007	KEINE	
US 5749984 A	12-05-1998	CA 2189688 A1	30-06-1997
		JP 3350896 B2	25-11-2002
		JP H09188113 A	22-07-1997
		US 5749984 A	12-05-1998
WO 2012091719 A1	05-07-2012	KEINE	