



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 31 469 T2** 2008.09.18

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 420 964 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 31 469.7**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US01/26379**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 966 146.1**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2003/018332**

(86) PCT-Anmeldetag: **24.08.2001**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **06.03.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **26.05.2004**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **14.11.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **18.09.2008**

(51) Int Cl.⁸: **B60C 7/18** (2006.01)

B60C 7/00 (2006.01)

B60B 9/26 (2006.01)

B60B 9/04 (2006.01)

B60C 7/14 (2006.01)

(73) Patentinhaber:

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

(84) Benannte Vertragsstaaten:

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

(74) Vertreter:

derzeit kein Vertreter bestellt

(72) Erfinder:

**RHYNE, Timothy B., Greenville, SC 29609, US;
THOMPSON, Ronald H., Greenville, SC 29615, US;
CRON, Steven M., Simpsonville, SC 29681, US;
DEMINO, Kenneth W., Anderson, SC 29621, US**

(54) Bezeichnung: **NICHT- PNEUMATISCHER REIFEN**

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**HINTERGRUND UND KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG**

[0001] Die Erfindung betrifft einen nichtpneumatischen, von der Struktur getragenen Reifen. Insbesondere betrifft die Erfindung einen nichtpneumatischen Reifen, welcher eine Last mit seinen strukturellen Komponenten trägt und pneumatische reifenartige Leistungsfähigkeiten aufweist, um als ein Ersatz für pneumatische Reifen zu dienen.

[0002] Der pneumatische Reifen besitzt Leistungsvermögen beim Tragen von Last, bei der Absorption von Stößen von der Straße und bei der Übertragung von Kraft (Beschleunigen, Bremsen und Steuern), was ihn zur bevorzugten Wahl für den Einsatz bei vielen Fahrzeugen, insbesondere Fahrrädern, Motorrädern, Personenkraftwagen und Lastkraftwagen macht. Diese Fähigkeiten waren höchst vorteilhaft in der Entwicklung des Personenkraftwagens und anderer Motorfahrzeuge. Die Leistungsfähigkeiten des pneumatischen Reifens in Bezug auf Stoßdämpfung sind auch in anderen Anwendungen, zum Beispiel in Wagen, welche empfindliche medizinische oder elektronische Ausrüstung tragen, nützlich.

[0003] Herkömmlichen nichtpneumatischen Alternativen, zum Beispiel Vollgummireifen, Federreifen und Ballonreifen, fehlen die Leistungsvorteile pneumatischer Reifen. Insbesondere Vollgummireifen und Ballonreifen vertrauen auf Zusammendrücken des den Boden kontaktierenden Abschnitts zum Tragen von Last. Diese Reifentypen können schwer und steif sein und es fehlt ihnen die stoßdämpfende Fähigkeit pneumatischer Reifen. Wenn sie elastischer gemacht werden, fehlt herkömmlichen nichtpneumatischen Reifen die Lasttragkraft oder die Haltbarkeit pneumatischer Reifen. Dementsprechend haben außer in eingeschränkten Situationen bekannte nichtpneumatische Reifen nicht die breite Verwendung als Ersatz für pneumatische Reifen gefunden.

[0004] Ein Zusammenbau eines nichtpneumatischen Reifens mit einer Radfelge wird in US-A-5 460 213 beschrieben, welcher dem Oberbegriff von Anspruch 1 entspricht.

[0005] Ein nichtpneumatischer Reifen, welcher Leistungsmerkmale ähnlich jenen pneumatischer Reifen aufweist, würde die verschiedenen Schwächen der Technik überwinden und würde eine willkommene Verbesserung darstellen.

[0006] Ein strukturell getragener, nichtpneumatischer Reifen gemäß der Erfindung umfasst ein verstärktes ringförmiges Band, welches die Last auf dem Reifen trägt, und eine Mehrzahl von Streifenspeichen, welche die Lastkräfte durch Spannung zwischen dem ringförmigen Band und einem Rad oder einer Nabe übertragen. Dementsprechend trägt ein Reifen der Erfindung seine Last allein durch die Struktureigenschaften und im Gegensatz zum Mechanismus bei pneumatischen Reifen ohne Unterstützung von innerem Luftdruck.

[0007] Gemäß einer Ausführungsform, welche als ein Reifen an einem Motorkraftfahrzeug verwendbar ist, umfasst ein durch die Struktur getragener Reifen einen Lauflflächenabschnitt, ein verstärktes ringförmiges Band radial nach innen zum Lauflflächenabschnitt, eine Mehrzahl von Streifenspeichen, welche sich quer über und radial nach innen vom ringförmigen Abschnitt in Richtung einer Reifenachse erstreckt, und Mittel zum miteinander-Verbinden der Streifenspeichen mit einem Rad oder einer Nabe.

[0008] In einem pneumatischen Reifen sind der Bodenkontaktdruck und die Steifigkeit ein direktes Ergebnis des Reifendrucks und stehen in Wechselbeziehung. Der Reifen gemäß der Erfindung weist Steifheitseigenschaften und einen Bodenkontakt auf, welche auf den Strukturkomponenten des Reifens basieren und vorteilhafterweise unabhängig von einander bestimmt werden können.

[0009] Der strukturell getragene Reifen der Erfindung weist keinen Hohlraum zur Aufnahme von Druckluft auf und braucht dementsprechend keine Dichtung mit der Radfelge ausbilden, um den inneren Luftdruck aufrecht zu erhalten. Der strukturell getragene Reifen braucht daher kein Rad, wie es in der pneumatischen Technik erwartet wird. Zum Zwecke der folgenden Beschreibung beziehen sich die Begriffe "Rad" und "Nabe" auf jede Vorrichtung oder Struktur zum Tragen des Reifens und zum Anbringen an der Fahrzeugachse und sie werden hierin als austauschbar betrachtet.

[0010] Gemäß der Erfindung umfasst das ringförmige Band eine elastomere Schubschicht, wobei wenigstens eine erste Membran an dem radial inneren Umfang der elastomeren Schubschicht angeklebt ist und wenigstens eine zweite Membran an dem radial äußeren Umfang der elastomeren Schubschicht angeklebt ist. Die Membrane weisen einen Umfangsdehnungselastizitätsmodul auf, welcher größer ist als der Schubelastizitäts-

modul der elastomeren Schubschicht, so dass unter einer von außen angelegten Last sich der Bodenkontaktauflflächenabschnitt von im Wesentlichen einer kreisrunden Form in eine Form verändert, welche mit der Bodenoberfläche übereinstimmt, während eine im Wesentlichen konstante Länge der Membrane erhalten bleibt. Relativer Versatz der Membrane tritt durch Schub in der Schubschicht auf. Vorzugsweise umfassen die Membrane aufeinander liegende Schichten von im Wesentlichen nicht dehnbaren Kordverstärkungen, welche in einer elastomeren Überdeckungsschicht eingebettet sind.

[0011] Die elastomere Schubschicht ist aus einem Material, wie natürlicher oder synthetischer Gummi, Polyurethan, geschäumter Gummi und geschäumtes Polyurethan, segmentierte Copolyester und Block-Co-Polymeren von Nylon, ausgebildet. Vorzugsweise weist das Schubschichtmaterial einen Schubmodul von ungefähr 3 MPa bis ungefähr 20 MPa auf. Das ringförmige Band weist die Fähigkeit auf, sich von einer normalen runden Form aus zu biegen, während es unter Belastung sich einer Kontaktoberfläche wie einer Straßenoberfläche anpasst.

[0012] Die Streifenspeichen wirken in Zugspannung, um Belastungskräfte zwischen dem Rad und dem ringförmigen Band zu übertragen, wobei sie folglich unter anderen Funktionen die Masse eines Fahrzeugs tragen. Tragekräfte werden durch Spannung in den Streifenspeichen, die nicht mit dem den Boden berührenden Abschnitt des ringförmigen Bandes verbunden sind, erzeugt. Das Rad oder die Nabe kann man als vom oberen Abschnitt des Reifens hängend betrachten. Vorzugsweise weisen die Streifenspeichen eine hohe, wirksame radiale Steifigkeit in Zugspannung und eine geringe, wirksame radiale Steifigkeit in Druckspannung auf. Die geringe Steifigkeit unter Druck erlaubt den Streifenspeichen, welche am den Boden berührenden Abschnitt des ringförmigen Bandes angebracht sind, sich zu biegen, um die Straßenstöße zu absorbieren und um das ringförmige Band besser an die Unregelmäßigkeiten in der Straßenoberfläche anzupassen.

[0013] Die Streifenspeichen übertragen auch die Kräfte, die zum Beschleunigen, Anhalten und Kurvenfahren erforderlich sind. Die Anordnung und die Ausrichtung der Streifenspeichen können ausgewählt werden, um die angestrebte Funktion zu erzielen. Zum Beispiel in Anwendungen, wo relativ geringe Umfangskräfte erzeugt werden, können die Streifenspeichen radial und parallel mit der Reifenrotationsachse angeordnet werden. Um Steifigkeit in der Umfangsrichtung bereitzustellen, können Streifenspeichen senkrecht zur Rotationsachse hinzugefügt werden, abwechselnd mit den achsgefluchteten Streifenspeichen. Eine andere Alternative besteht darin, die Streifenspeichen schräg zur Reifenachse anzuordnen, um Steifigkeit sowohl in die Umfangsrichtung als auch in die axiale Richtung bereitzustellen. Eine andere Alternative besteht darin, die Streifenspeichen so auszurichten, dass sie in abwechselnder schräger Anordnung sind, das heißt in einem Zick-Zack-Muster, wenn auf der Äquatorialebene betrachtet.

[0014] Um das Biegen der Streifenspeichen auf dem den Boden kontaktierenden Abschnitt der Lauffläche zu ermöglichen, können die Speichen gebogen sein. Alternativ können die Streifenspeichen während des Gießens vorbelastet werden, um sich in eine bestimmte Richtung zu biegen.

[0015] Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung umfasst ein strukturell getragener elastischer Reifen einen den Boden kontaktierenden Laufflächenabschnitt, ein verstärktes ringförmiges Band radial innerhalb des Laufflächenabschnitts und eine Mehrzahl von Streifenspeichen, welche sich radial nach innen vom verstärkten ringförmigen Band erstrecken, Mittel zum Miteinander-Verbinden der Mehrzahl von Streifenspeichen mit einem Rad oder einer Nabe, wobei das verstärkte ringförmige Band eine elastomere Schublage, wenigstens eine erste Membran, welche an den radial inneren Umfang der elastomeren Schubschicht angeklebt ist, und wenigstens eine zweite Membran umfasst, welche an den radial äußeren Umfang der elastomeren Schubschicht angeklebt ist.

[0016] Gemäß einer anderen Ausführungsform umfasst die Erfindung einen strukturell getragenen Radreifen, welcher ein verstärktes ringförmiges Band, das eine elastomere Schublage aufweist, wenigstens eine erste Membran, die an einen radial inneren Umfang der elastomeren Schubschicht angeklebt ist, und wenigstens eine zweite Membran, welche an einen radial äußeren Umfang der elastomeren Schubschicht angeklebt ist, wobei jede der Membranen einen Längszugspannungsmodul aufweist, der größer ist als der Schubspannungsmodul der Schubschicht, eine Lauffläche, die an einen radial äußeren Umfang des verstärkten ringförmigen Bandes angeklebt ist, eine Mehrzahl von Streifenspeichen, die sich im Wesentlichen quer über und radial nach innen vom verstärkten ringförmigen Band erstrecken, und ein Rad umfasst, das sich radial innerhalb der Mehrzahl der Streifenspeichen befindet und mit diesen integriert ist.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0017] Die Erfindung wird besser durch Bezugnahme auf die folgende Beschreibung und die angefügten Zeichnungen verstanden, wobei:

[0018] [Fig. 1](#) eine schematische Ansicht in der Äquatorialebene eines Reifens der Erfindung unter Last ist;

[0019] [Fig. 2](#) eine Schnittansicht eines Reifens gemäß der Erfindung ist, aufgenommen in der Meridianebene;

[0020] [Fig. 3](#) ein schematisches Diagramm ist, welches die Bodenreaktionskräfte für ein homogenes Referenzband, das keine Schubverformung zeigt, darstellt;

[0021] [Fig. 4](#) ein schematisches Diagramm ist, welches die Bodenreaktionskräfte für ein ringförmiges Band gemäß der Erfindung darstellt;

[0022] [Fig. 5](#) eine Schnittansicht einer alternativen Ausführungsform eines Reifens der Erfindung ist, aufgenommen in der Meridianebene;

[0023] [Fig. 6](#) eine schematische Ansicht in der Meridianebene eines belasteten Reifens der Erfindung ist, welche bestimmte Referenzabmessungen zeigt, um den Last tragenden Mechanismus zu beschreiben;

[0024] [Fig. 7](#) eine Schnittansicht ist, welche eine Anordnung der Streifenspeichen in einem X-Muster für einen Reifen zeigt, betrachtet in der Äquatorialebene;

[0025] [Fig. 8](#) eine Ansicht einer alternativen Anordnung der Streifenspeichen in einem Zick-Zack-Muster ist, betrachtet in der Äquatorialebene;

[0026] [Fig. 9](#) eine Ansicht einer Anordnung der Streifenspeichen in einem schrägen, axialen Muster ist, betrachtet radial in Richtung der Rotationsachse;

[0027] [Fig. 10](#) eine alternative V-förmige (Chevron-)Anordnung der Streifenspeichen zeigt, betrachtet radial in Richtung der Rotationsachse;

[0028] [Fig. 11](#) eine alternative Anordnung von abwechselnd in Umfangsrichtung und in Achsrichtung gefluchteten Streifenspeichen zeigt, betrachtet radial in Richtung der Rotationsachse;

[0029] [Fig. 12](#) schematisch die der Verbiegung entgegen wirkende Steifigkeit darstellt, wenn in der Reifenäquatorialebene betrachtet;

[0030] [Fig. 13](#) grafisch die Beziehung zwischen Kontaktfläche, Kontaktdruck und vertikaler Last für einen Reifen gemäß der Erfindung darstellt; und

[0031] [Fig. 14](#) grafisch die Beziehung zwischen Kontaktdruck, vertikaler Steifigkeit und Steifigkeit gegen Verbiegung für einen Reifen gemäß der Erfindung darstellt.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0032] Die folgenden Begriffe sind für diese Beschreibung folgendermaßen definiert:

"Äquatorialebene" bedeutet eine Ebene, welche senkrecht zur Reifenrotationsachse hindurch geht und die Reifenstruktur zweiteilt.

"Meridianebene" bedeutet eine Ebene, welche durch die Reifenrotationsachse hindurch geht und diese mit umfasst.

"Modul" von elastomeren Materialien bedeutet den elastischen Zugfestigkeitsmodul bei 10% Längung, gemessen durch ASTM Standard Test-Verfahren D412.

"Modul" von Membranen bedeutet den elastischen Zugfestigkeitsmodul bei 1% Längung in der Umfangsrichtung, multipliziert mit der wirksamen Dicke der Membran. Dieser Modul kann durch die Gleichung 1 für herkömmliche Reifenstahlgürtelmaterialien berechnet werden. Dieser Modul wird mit einer Erstkennzeichnung (') angeschrieben.

"Schubmodul" von elastomeren Materialien bedeutet den Elastizitätsschubmodul und ist gleich einem Drittel

des elastischen Zugfestigkeitsmoduls definiert, wie dieser oben für elastomere Materialien definiert ist.

"Hysteresse" bedeutet die dynamische Verlusttangente ($\tan \Delta$), gemessen bei Betriebsbelastung, -temperatur, und -frequenz. Eine Durchschnittsfachperson auf diesem Gebiet der Technik wird verstehen, dass sich Betriebsbedingungen für bestimmte Anwendungen unterscheiden, zum Beispiel, die unterschiedlichen Last- und Geschwindigkeitserfordernisse von Golfwagen und Sportwagen und dass die Belastung, Temperatur und Frequenz für die bestimmte Anwendung festgelegt werden müssen.

[0033] Ein strukturell getragener, elastischer Reifen gemäß der Erfindung wird in der schematischen Ansicht in [Fig. 1](#) in der Äquatorialebene gezeigt. Strukturell getragen bedeutet, dass der Reifen eine Last durch seine Strukturkomponenten ohne Unterstützung von Gasbefüllungsdruck trägt. Die Strukturen, die für die mehreren Variationen eines strukturell getragenen, elastischen Reifens offenbart werden, setzen ähnliche Grundkomponenten ein. Bezugsziffern, welche in den Zeichnungen dargestellt sind, folgen einem konsistenten Plan für jede Variation. Diese Figuren sind nicht im Maßstab gezeichnet und die Abmessungen der Elemente sind übertrieben groß oder sind verkleinert zur Klarheit der Darstellung.

[0034] Der Reifen **100**, gezeigt in [Fig. 1](#), weist einen Bodenkontaktaufflächenabschnitt **105**, ein verstärktes ringförmiges Band **110**, welches radial nach innen zum Laufflächenabschnitt angeordnet ist, eine Mehrzahl von Streifenspeichen **150**, welche sich quer über und radial nach innen vom ringförmigen Band aus erstrecken, und ein Anbringungsband **160** am radial inneren Ende der Streifenspeichen auf. Das Anbringungsband **160** verankert den Reifen **100** an einem Rad **10** oder einer Nabe. Wie hierin verwendet, bedeutet "sich quer erstreckend", dass die Streifenspeichen **150** axial ausgerichtet sein können oder schräg zur Reifenachse sein können. Des Weiteren bedeutet "radial nach innen erstreckend", dass die Streifenspeichen **150** in einer Ebene radial zur Reifenachse liegen können oder schräg zur radialen Ebene sein können. Außerdem, wie unten erklärt, kann sich eine zweite Mehrzahl von Streifenspeichen in der Äquatorebene erstrecken.

[0035] Mit Bezugnahme auf [Fig. 2](#), welche den Reifen **100** und das Rad **10** in einer Schnittdansicht in der Meridianebene zeigt, umfasst das verstärkte ringförmige Band **110** eine elastomere Schubschicht **120**, eine erste Membran **130**, welche an der radial innersten Begrenzungsfläche der elastomeren Schubschicht **120** angeklebt ist, und eine zweite Membran **140**, welche an der radial äußersten Begrenzungsfläche der elastomeren Schubschicht **120** angeklebt ist. Die Membranen **130** und **140** weisen eine Zugsteifigkeit auf, die größer ist als die Schubsteifigkeit der Schubschicht **120**, so dass das verstärkte ringförmige Band **110** einer Schubverformung unter Last unterworfen ist.

[0036] Das verstärkte ringförmige Band **110** trägt die Lasten auf den Reifen. Wie in [Fig. 1](#) gekennzeichnet, wird eine Last **L**, welche auf die Reifenachse **X** aufgebracht wird, durch Spannung in den Streifenspeichen **150** auf das ringförmige Band **110** übertragen. Das ringförmige Band **110** wirkt auf eine Weise, ähnlich einem Bogen und stellt eine Umfangsdrucksteifigkeit und eine Längsbiegesteifigkeit in der Äquatorialebene bereit, welche ausreichend hoch sind, um als ein Last tragendes Element zu wirken. Unter Belastung verformt sich das ringförmige Band im Kontaktbereich **C** mit der Bodenoberfläche durch einen Mechanismus, welcher die Schubverformung des Bandes umfasst. Die Fähigkeit, sich mit Schub zu verformen, stellt eine konforme Bodenkontakfläche **C** bereit, welche ähnlich jener eines pneumatischen Reifens mit ähnlichen vorteilhaften Ergebnissen wirkt.

[0037] Mit Bezugnahme auf [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) kann der Vorteil des Schubmechanismus des ringförmigen Bandes **110** der Erfindung durch Vergleich mit einem steifen ringförmigen Band **122**, welches aus einem homogenen Material aufgebaut ist, zum Beispiel ein Metallring, welcher keine mehr als unbedeutende Schubverformung unter Last zulässt, verstanden werden. In dem starren ringförmigen Band **122** aus [Fig. 3](#) ist die Druckverteilung, welche die Gleichgewichtskraft und die Biegemomenterfordernisse zufrieden stellt, aus einem Paar auf einen Punkt ausgerichteter Kräfte **F**, welche an jedem Ende der Kontaktfläche angeordnet sind, wobei eines dieser Enden in [Fig. 3](#) gezeigt ist, aufgebaut. Im Gegensatz dazu ist, wenn das ringförmige Band eine Struktur gemäß der Erfindung, wie in [Fig. 4](#) gezeigt, aus Schubschicht **120**, innerer Verstärkung **130** und äußerer Verstärkung **140** umfasst, was die Schubverformung vorschreibt, die sich ergebende Druckverteilung **S** im Kontaktbereich im Wesentlichen gleichförmig.

[0038] Das günstige Ergebnis des ringförmigen Bandes gemäß der Erfindung ist ein gleichförmigerer Bodenkontaktdruck **S** über die Länge der Kontaktfläche, welche ähnlich einem pneumatischen Reifen ist und die Reifenfunktion über andere nichtpneumatische Reifen hinaus verbessert.

[0039] In typischen Vollgummi- und Ballonreifen wird die Last durch Zusammendrücken der Reifenstruktur in der Kontaktfläche getragen und die Lastkapazität ist durch die Menge und den Typ des Materials begrenzt,

welches in der Kontaktfläche vorhanden ist. Bei gewissen Typen von Federreifen trägt ein äußerer Ring die Last auf den Reifen und ist mit der Nabe oder dem Rad durch elastische Federelemente verbunden. Jedoch weist ein starrer Ring keinen Schubmechanismus auf und folglich weist, wie oben erklärt, ein starrer Ring auf einen Punkt gerichtete Bodenreaktionskräfte an den Enden der Kontaktfläche auf, was die Fähigkeit des Reifens beeinflusst, Kräfte auf den Boden zu übertragen und Stöße vom Boden zu absorbieren.

[0040] Die Schubschicht **120** umfasst eine Lage elastomeres Material, welches einen Schubmodul von 3 MPa bis ungefähr 20 MPa aufweist. Materialien, welche als geeignet für den Einsatz in der Schubschicht **120** betrachtet werden, umfassen natürliche und synthetische Gummis, Polyurethane, geschäumte Gummis und Polyurethane, segmentierte Copolyester und Block-Co-Polymere von Nylon. Wiederholte Verformung der Schubschicht **120** während des Rollens unter Last verursacht Hystereseverluste, welche zu Wärmearaufbau im Reifen führen. Folglich sollte die Hysterese der Schubschicht so bestimmt sein, um eine Betriebstemperatur unter der zulässigen Betriebstemperatur für die verwendeten Materialien zu halten. Für herkömmliche Reifenmaterialien (z. B. Gummi) sollte die Hysterese der Schubschicht so bestimmt sein, um eine Temperatur unter ungefähr 130°C für Reifen im andauernden Einsatz zu erzeugen.

[0041] Der Laufflächenabschnitt **105** kann rillenfrie ausgeführt sein oder kann eine Mehrzahl von in Längsrichtung ausgerichteten Laufrillen **107** aufweisen, welche im Wesentlichen Längslaufläachenrippen **109** zwischen sich ausbilden, wie im veranschaulichenden Beispiel aus [Fig. 2](#) ersichtlich. Außerdem wird die Lauffläche **105** als eben von Kante zu Kante dargestellt. Dies ist geeignet für Automobile und andere ähnliche Fahrzeuge, aber gerundete Laufflächen können für Fahrräder, Motorräder und andere zweirädrige Fahrzeuge Verwendung finden. Jede geeignete Laufflächenausprägung kann eingesetzt werden, wie sie den Fachleuten auf diesem Gebiet der Technik bekannt ist.

[0042] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfassen die erste **130** und die zweite **140** Membran im Wesentlichen nichtdehnbare Kordverstärkungen, welche in einer elastomeren Beschichtung eingebettet sind. Für einen Reifen, welcher aus elastomeren Materialien aufgebaut ist, sind die Membrane **130** und **140** an der Schubschicht **120** durch ausgehärtete elastomere Materialien angeklebt. Es liegt im Umfang der Erfindung, dass die Membrane **130** und **140** an der Schubschicht **120** durch jedes geeignete Verfahren von chemischer oder klebender Verbindung oder mechanischer Befestigung angeklebt werden.

[0043] Die verstärkenden Elemente in den Membranen **130**, **140** können aus jedem beliebigen von mehreren Materialien sein, welche geeignet sind für den Einsatz als Reifengürtelverstärkungen in herkömmlichen Reifen, wie Monofilamente oder Kords aus Stahl, Aramid oder anderen hochmodularen Textilien. Für die veranschaulichenden Reifen, welche hierin beschrieben sind, sind die Verstärkungen Stahlkords, wobei jeder aus vier Drähten mit 0,28 mm Durchmesser besteht ($4 \times 0,28$).

[0044] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die erste Membran zwei verstärkte Lagen **131** und **132** und die zweite Membran **140** umfasst ebenfalls zwei verstärkte Lagen **141** und **142**.

[0045] Obwohl die Abänderungen der Erfindung, die hierin offenbart sind, kordverstärkte Schichten für jede Membran aufweisen, kann jedes geeignete Material für die Membrane eingesetzt werden, welches die Erfordernisse, die unten beschrieben sind, für die Zugsteifigkeits-, die Biegesteifigkeits- und die Druckknickwiderstandseigenschaften, welche für das ringförmige Band erforderlich sind, erfüllt. Das heißt, die Membranstruktur kann jede von mehreren Alternativen sein, wie ein homogenes Material (z. B. Dünnmetallblech), eine faserverstärkte Matrix oder eine Schicht, welche diskrete Verstärkungselemente aufweist.

[0046] In einer ersten bevorzugten Ausführungsform weisen die Lagen **131** und **132** der ersten Membran **130** im Wesentlichen parallele Kords auf, welche in einem Winkel von ungefähr 10° bis ungefähr 45° relativ zur Reifenäquatorialebene ausgerichtet sind. Die Kords der jeweiligen Lagen weisen eine entgegengesetzte Ausrichtung auf. In ähnlicher Weise weisen die Lagen **141** und **142** der zweiten Membran **140** im Wesentlichen parallele Kords auf, welche in einem Winkel von ungefähr 10° bis ungefähr 45° relativ zur Äquatorialebene ausgerichtet sind. Es ist jedoch nicht erforderlich, dass die Kords der Lagenpaare in einer Membran gemeinsam mit gleichen und entgegengesetzten Winkeln ausgerichtet sind. Zum Beispiel kann es erstrebenswert sein, dass die Kords der Lagenpaare asymmetrisch relativ zur Reifenäquatorialebene sind.

[0047] Gemäß einer anderen Ausführungsform können die Kords von wenigstens einer Schicht der Membrane mit oder nahezu mit 0° zur Äquatorialebene für erhöhte Zugsteifigkeit der Membran liegen.

[0048] Die Kords jeder der Lagen **131**, **132** und **141**, **142** sind in einer elastomeren Überzugsschicht einge-

bettet, welche einen Schubmodul von ungefähr 3 bis 20 MPa aufweist. Es wird bevorzugt, dass der Schubmodul der Überzugsschichten im Wesentlichen gleich zum Schubmodul der Schubschicht **120** ist, um sicherzustellen, dass die Verformung des ringförmigen Bandes primär durch Schubverformung innerhalb der Schubschicht **120** erfolgt.

[0049] Die Beziehung zwischen dem Schubmodul G der elastomeren Schubschicht **120** und dem wirksamen Längszugmodul E'_{membrane} der Membrane **130** und **140** steuert die Verformung des ringförmigen Bandes unter einer angelegten Last. Der wirksame Längszugmodul E'_{membrane} der Membran unter Verwendung herkömmlicher Reifengürtelmaterialien und mit die Membran verstärkenden Kords, welche mit wenigstens 10° zur Äquatorialebene ausgerichtet sind, kann durch die folgende Gleichung abgeschätzt werden:

$$E'_{\text{MEMBRANE}} = (2D + t) \frac{E_{\text{RUBBER}}}{2(1 - \nu^2)} \left[\left(\frac{P}{P - D} \right) \frac{2 - (1 + \nu) \sin^2(2\alpha)}{\sin^4 \alpha} + \left(\frac{t}{D} \right) \frac{1}{\tan^2 \alpha} \left(\frac{1}{\tan^2 \alpha} - \nu \right) \right] \quad (1)$$

[0050] Wobei E_{RUBBER} = Zugmodul des elastomeren Überzugsmaterials; P = Kordschrittweite (Kordmittellinienabstand), gemessen senkrecht zur Kordrichtung; D = Korddurchmesser; ν = Poisson-Verhältnis für das elastomere Überzugsmaterial; α = Kordwinkel in Bezug auf die Äquatorialebene; und t = Gummidicke zwischen Kabeln in benachbarten Schichten.

[0051] Für die Schubschichtmembran, in welcher die verstärkenden Kabel mit weniger als 10° zur Äquatorialebene ausgerichtet sind, kann die folgende Gleichung verwendet werden, um den Zugmodul der Membran E'_{membrane} abzuschätzen:

$$E'_{\text{membrane}} = E_{\text{cable}} \cdot V \cdot t_{\text{membrane}} \quad (2)$$

wobei E_{cable} der Modul des Kabels ist, V die Volumenfraktion des Kabels in der Membran ist und t_{membrane} die Dicke der Membran ist.

[0052] Für Membrane, welche ein homogenes Material oder eine mit Faser oder anderem Material verstärkte Matrix umfassen, ist der Modul der Modul des Materials oder der Matrix.

[0053] Man beachte, dass E'_{membrane} der elastische Modul der Membran mal der wirksamen Dicke der Membran ist. Wenn das Verhältnis E'_{membrane}/G relativ gering ist, nähert sich die Verformung des ringförmigen Bandes unter Belastung jener des homogenen Bandes an und erzeugt einen nichtgleichförmigen Bodenkontaktdruck, wie in [Fig. 3](#) gezeigt. Andererseits ist, wenn das Verhältnis E'_{membrane}/G ausreichend hoch ist, die Verformung des ringförmigen Bandes unter Belastung im Wesentlichen durch die Schubverformung der Schubschicht mit etwas Längsdehnung oder Zusammendrücken der Membrane bestimmt. Dementsprechend ist der Bodenkontaktdruck im Wesentlichen gleichmäßig wie im Beispiel, das in [Fig. 4](#) gezeigt ist.

[0054] Gemäß der Erfindung beträgt das Verhältnis des Längszugmoduls der Membran E'_{membrane} zum Schubmodul G der Schubschicht wenigstens ungefähr 100:1 und vorzugsweise wenigstens ungefähr 1000:1.

[0055] Der Reifen, gezeigt in [Fig. 2](#), weist ein ebenes Querprofil für den Laufflächenabschnitt **105**, die erste Membran **130** und die zweite Membran **140** auf. Die Belastungen im Abschnitt des ringförmigen Bandes im Kontaktbereich C ([Fig. 1](#)) sind zusammendrückend für die zweite Membran **140**. Da die vertikale Ablenkung des Reifens zunimmt, kann die Kontaktlänge so ansteigen, dass die Druckbelastung in der zweiten Membran **140** die kritische Knickbelastung übersteigt und ein Längsknick der Membran auftritt. Dieses Knickphänomen lässt einen sich in Längsrichtung erstreckenden Abschnitt des Kontaktbereichs einen verringerten Kontaktdruck aufweisen. Ein gleichmäßiger Bodenkontaktdruck über die Länge des Bodenkontaktbereichs wird erzielt, wenn Verbiegen der Membran vermieden wird. Eine Membran, welche einen gebogenen Querschnitt aufweist, widersteht dem Verbiegen in der Kontaktfläche besser und wird bevorzugt, wenn Verbiegen unter Last von Bedeutung ist.

[0056] Eine Variation des Reifens der Erfindung wird in [Fig. 5](#) gezeigt, wobei der Reifen **300** eine gewellte zweite Membran **340** aufweist, die eine Amplitude der Wellung in der radialen Richtung und eine Wellenlänge der Wellung in der axialen Richtung aufweist. Die Amplitude der Wellung ist als der Unterschied zwischen der maximalen und der minimalen radialen Erstreckung der Membran **340** definiert. Die Wellenlänge der Wellung ist als der axiale Abstand zwischen aufeinander folgenden radialen Maxima der Membran **340** definiert. Die

gewellte zweite Membran **340** widersteht dem Verbiegen auf Grund des Druckes in der Kontaktzone wie eine gekrümmte Membran, die oben beschrieben ist. Das Verformen der zweiten Membran **340** von im Wesentlichen einer kreisförmigen Form durch eine von außen angelegte Last tritt ohne Längsverbiegen der zweiten Membran auf und behält einen im Wesentlichen gleichmäßigen Bodenk Kontaktdruck auf dem den Boden berührenden Laufflächenabschnitt über die Länge des Bodenk Kontaktbereichs bei. Folglich ist es für den Reifen **300** möglich, eine zweite Membran **340** zu haben, deren Querkrümmungsradius bestimmt werden kann, um die Bodenk Kontaktbelastungen unabhängig von ihrem Widerstand gegen das Verbiegen zu optimieren. Vorzugsweise weist die zweite Membran **340** zwei bis fünf Wellenzyklen auf und besitzt eine Wellenlänge von ungefähr 20% bis ungefähr 50% des rollenden Laufflächenbereichs des Laufflächenabschnitts **310**. Die Amplitude der Wellung liegt vorzugsweise zwischen ungefähr 20% und 50% der maximalen Dicke der Schubschicht **320** und kann eine konstante oder variable Amplitude sein.

[0057] Wenn die zuvor festgestellten Bedingungen für den Längszugmodul E'_{membrane} der Membrane und den Schubmodul G der Schubschicht erfüllt sind und das ringförmige Band sich im Wesentlichen durch Schub in der Schubschicht verformt, ist eine vorteilhafte Beziehung geschaffen, welche es erlaubt, die Werte des Schubmoduls G und der Schubschichtdicke h für eine gegebene Anwendung zu bestimmen:

$$P_{\text{eff}} \cdot R \sim G \cdot h \quad (3)$$

[0058] Wobei P_{eff} = Bodenk Kontaktdruck; G = Schubmodul der Schicht **120**; h = Dicke der Schicht **120**; und R = radiale Position der zweiten Membran relativ zur Rotationsachse ist.

[0059] P_{eff} und R sind Konstruktionsparameter, welche gemäß dem beabsichtigten Einsatz des Reifens gewählt werden. Die Gleichung 3 legt nahe, dass das Produkt des Schubelastizitätsmoduls der Schubschicht mal einer radialen Dicke der Schubschicht ungefähr gleich einem Produkt aus Bodenk Kontaktdrucks mal einer radialen Position der äußersten Ausdehnung der zweiten Membran ist. [Fig. 13](#) stellt grafisch diese Beziehung über einen breiten Bereich von Kontaktdrücken dar und kann verwendet werden, um die Schubschichtmerkmale für viele unterschiedliche Anwendungen abzuschätzen.

[0060] Mit Bezugnahme auf [Fig. 6](#) sind die Streifenspeichen **150** im Wesentlichen blattähnliche Elemente, welche eine Länge N in der radialen Richtung, eine Breite W in der axialen Richtung, wobei dies allgemein der axialen Breite des ringförmigen Bandes **110** entspricht, und eine Dicke, die senkrecht zu den anderen Abmessungen ist, aufweisen. Die Dicke ist geringer als sowohl die Länge N oder auch die Breite W und beträgt vorzugsweise ungefähr 1% bis 5% des Radius R des Reifens, wodurch sich eine Streifenspeiche verbiegen lassen kann, wenn sie unter Druck steht, wie in [Fig. 1](#) gezeigt. Dünnere Streifenspeichen verbiegen sich in der Kontaktfläche mit im Wesentlichen keinem Druckwiderstand, das heißt ohne mehr als eine unbedeutende Druckkraft zum Tragen der Last bereitzustellen. Die vorherrschende Last übertragende Funktion der Streifenspeichen als Gesamtes gesehen besteht jedoch in der Spannung. Die besondere Streifenspeichendicke kann ausgewählt werden, um den besonderen Erfordernissen des Fahrzeugs zu entsprechen.

[0061] Gemäß der zur Zeit bevorzugten Ausführungsform sind die Streifenspeichen **150** aus einem Material ausgebildet, welches einen hohen Zugfestigkeitsmodul von ungefähr 10 bis 100 MPa aufweist. Die Streifenspeichen können verstärkt sein, wenn gewünscht. Das Streifenspeichenmaterial sollte auch elastisches Verhalten zeigen, um auf die ursprüngliche Länge nach der Belastung mit 30% zurückzukehren und um konstante Belastung zu zeigen, wenn das Streifenspeichenmaterial auf 4% belastet ist. Des Weiteren ist es erstrebenswert, Material mit einem $\tan \Delta$ von nicht mehr als 0,1 bei den relevanten Betriebsbedingungen zu haben. Zum Beispiel können im Handel erhältliche Gummi- oder Polyurethanmaterialien genannt werden, welche diese Erfordernisse erfüllen. Die Erfinder haben festgestellt, dass Vibrathane B836 Markenurethan von Uniroyal Chemical Division der Crompton Corporation aus Middlebury, Connecticut, geeignet für die Streifenspeichen war.

[0062] Mit Bezugnahme auf [Fig. 2](#) sind die Streifenspeichen **150** in einer Ausführungsform durch ein radial inneres Befestigungsband **160** miteinander verbunden, welches das Rad oder die Nabe **10** einkreist, um den Reifen zu montieren. Ein Zwischenband **170** verbindet die Streifenspeichen **150** an ihren radial äußeren Enden miteinander. Das Zwischenband **170** verbindet die Streifenspeichen **150** mit dem ringförmigen Band **110**. Der Einfachheit halber können die Streifenspeichen, das Befestigungsband **160** und das Zwischenband **170** aus einem einzigen Material als eine Einheit gussgeformt werden.

[0063] Alternativ kann in Abhängigkeit von den Konstruktionsmaterialien und dem Verfahren für das ringförmige Band **110** und die Nabe oder das Rad **10** ein eigenes Befestigungsband **160** oder ein Zwischenband **170** weggelassen werden und die Streifenspeichen gussgeformt oder ausgebildet werden, um direkt an dem ring-

förmigen Band und Rad angebunden zu sein. Zum Beispiel könnte, wenn entweder das ringförmige Band oder das Rad oder die Nabe mit denselben oder den zusammen passenden Materialien ausgebildet sind, der Reifen mit einem Schritt hergestellt werden, welcher die Streifenspeichen einstückig mit dem ringförmigen Band oder dem Rad ausbildet oder durch Formguss ausbildet, wobei in diesem Fall das Befestigungsband **160** und/oder das Zwischenband **170** einstückig als Teil des Rades oder des ringförmigen Bandes ausgebildet ist. Des Weiteren könnten die Streifenspeichen **150** mechanisch am Rad angebracht sein, zum Beispiel durch Bereitstellen eines vergrößerten Abschnitts auf dem inneren Ende jeder Streifenspeiche, welches mit einem Schlitz in einem Rad in Eingriff gelangt.

[0064] Die Weise, in welcher ein Reifen der Erfindung eine angelegte Last trägt, kann durch Bezugnahme auf [Fig. 1](#) und [Fig. 6](#) verstanden werden. Der Bereich A des ringförmigen Bandes **110**, das heißt der Abschnitt, der nicht in Bodenkontakt steht, wirkt wie ein Bogen und die Streifenspeichen **150** stehen in Spannung T. Die Last L auf dem Reifen, welche vom Fahrzeug (nicht gezeigt) auf die Nabe oder das Rad **10** übertragen wird, hängt im Wesentlichen am Bogen des Bereichs A. Die Streifenspeichen im Übergangsbereich B und im Kontaktbereich C sind nicht in Spannung. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform sind die Streifenspeichen relativ dünn und stellen nicht mehr als eine unbedeutende, vertikale, eine Last tragende Kraft bereit. Da der Reifen natürlich rotiert, ändert sich der besondere Abschnitt des ringförmigen Bandes **110**, welcher als ein Bogen dient, ununterbrochen, jedoch ist das Konzept eines Bogens nützlich zum Verständnis des Mechanismus.

[0065] Im Wesentlichen wird rein auf Zugspannung aufbauendes Tragen der Last erzielt, indem eine Streifenspeiche vorhanden ist, welche eine hohe Steifigkeit unter Spannung, aber sehr geringe Steifigkeit unter Druck aufweist. Um das Verbiegen im Bodenkontaktbereich zu erzielen, können die Streifenspeichen gekrümmt sein. Alternativ können die Streifenspeichen mit einer Krümmung gegossen werden und durch thermisches Schrumpfen während des Abkühlens gerade gerichtet werden, um eine Voreinstellung zum Verbiegen zu erreichen.

[0066] Die Streifenspeichen **150** sollten Torsion zwischen dem ringförmigen Band **110** und dem Rad **10** widerstehen, zum Beispiel, wenn Drehmoment an den Rädern anliegt. Außerdem sollten die Streifenspeichen **150** lateraler Verbiegung widerstehen, wenn, zum Beispiel, sie sich im Drehen oder Kurvenfahren befinden. Wie man verstehen wird, weisen Streifenspeichen **150**, welche in der radial-axialen Ebene liegen, das heißt, welche sowohl mit der radialen als auch der axialen Richtung gefluchtet sind, einen höheren Widerstand gegen axial gerichtete Kräfte auf, aber können insbesondere, wenn sie in die radiale Richtung gedehnt werden, Schwierigkeiten haben, Drehmoment in der Umfangsrichtung zu widerstehen. Für bestimmte Fahrzeuge und Anwendungen, zum Beispiel solche, die relativ geringe Beschleunigungskräfte erzeugen, wird ein Streifenspeichenpaket, welches relativ kurze Speichen aufweist, die mit der radialen Richtung gefluchtet sind, geeignet sein.

[0067] Für Anwendungen, wo hohes Drehmoment erwartet wird, kann eine der Anordnungen wie jene, die in [Fig. 7–Fig. 9](#) dargestellt sind, geeigneter sein. In [Fig. 7](#) sind die Streifenspeichen **150** in einem sich wiederholenden X-Muster ausgerichtet, wie in der axialen Richtung ersichtlich, wobei Paare von Speichen, welche das X ausbilden, in ihren Mitten zusammengefügt sind. In [Fig. 8](#) sind die Streifenspeichen in einem Zick-Zack-Muster relativ zur radialen Richtung ausgerichtet. Die Streifenspeichen aus [Fig. 9](#) sind mit benachbarten Streifenspeichen, die entgegengesetzt ausgerichtet sind, relativ zur axialen Richtung in einem Zick-Zack-Muster ausgerichtet. In diesen Variationen stellen die Ausrichtungen eine der Kraft widerstehende Komponente sowohl in der radialen Richtung als auch in der Umfangsrichtung bereit, wodurch Widerstand gegen das Drehmoment hinzugefügt wird, während radiale und laterale Kraft widerstehende Komponenten erhalten bleiben. Der Winkel der Ausrichtung kann in Abhängigkeit von der Anzahl von Streifenspeichen, die verwendet werden, und dem Abstand zwischen benachbarten Streifenspeichen ausgewählt werden.

[0068] Andere alternative Anordnungen können eingesetzt werden. Wie in [Fig. 10](#) gezeigt, können die Streifenspeichen in einem Chevronmuster oder V-Muster, wenn in der radialen Richtung betrachtet, angeordnet sein. Eine andere Alternative besteht darin, die Ausrichtung benachbarter Streifenspeichen zwischen axial ausgerichtet und in Umfangsrichtung ausgerichtet abzuwechseln, wie in [Fig. 11](#) gezeigt. Diese Alternativen können jedoch auf Grund von Schwierigkeiten in der Aufnahme von Verbiegen der Streifenspeichen im Kontaktbereich weniger bevorzugt sein.

[0069] Die verschiedenen Anordnungen der Streifenspeichen erlauben es, die vertikale, laterale und torsionale Steifigkeit des Reifens unabhängig vom Kontaktdruck und unabhängig von einander abzustimmen.

[0070] Vertikale Steifigkeit betrifft die Fähigkeit des Reifens, Verbiegung zu widerstehen, wenn er unter Be-

lastung steht. Vertikale Steifigkeit des Reifens wird stark durch die Reaktion auf Last des Abschnitts des Reifens beeinflusst, welcher nicht in Kontakt mit dem Boden steht, d. i. die "Gegenbiegung" des Reifens. [Fig. 12](#) stellt dieses Phänomen in einem übertriebenen Maßstab dar. Wenn der Reifen unter einer Last L steht, verbiegt er sich um ein Ausmaß f und der Abschnitt im Bodenkontakt passt sich der Bodenoberfläche an, um eine Bodenkontaktfläche C auszubilden. Man beachte, dass für die Zwecke dieser Beschreibung der Bezugsrahmen in [Fig. 12](#) die Reifenachse X an einer konstanten Stelle bleibt und der Boden sich nach oben in Richtung der Achse bewegt. Der Reifen ist ein elastischer Körper und dementsprechend ist die vertikale Verbiegung f proportional zur Last L , von welcher die vertikale Steifigkeit K_v des Reifens abgeleitet werden kann. Da das ringförmige Band **110** (schematisch gezeigt), welches durch die Membrane (nicht dargestellt) eingesperrt ist, danach trachtet, eine konstante Länge beizubehalten, um die Membranlänge zu erhalten, verschiebt sich der Abschnitt des Reifens, der nicht in Bodenkontakt steht, oder er verbiegt sich dagegen, weg von der Kontaktfläche C , wie durch die gestrichelte Linie in der Figur gekennzeichnet. Das Gegenbiegungsausmaß λ ist ebenfalls proportional zur Last L und die Gegenbiegungssteifigkeit K_λ muss folglich erzielt werden. Die Gegenbiegungssteifigkeit K_λ bezieht sich hauptsächlich auf die Umfangsdrucksteifigkeit und den Art, wie die Streifen speichern, die nicht im Bodenkontakt stehen, Last tragen. In einem geringeren Ausmaß sind die Querverbiegung und die Längsbiegung des ringförmigen Bandes mit einbezogen.

[0071] Gegenbiegung kann direkt durch Anordnen eines Reifens unter einer Last F mit feststehender Achse und Messen der Ablenkung f des Reifens in der Kontaktfläche und der Verbiegung der Lauffläche gegenüber der Kontaktfläche gemessen werden. Gegenbiegungssteifigkeit wird dann durch Dividieren der Last F durch das Ausmaß der Gegenbiegung λ bestimmt.

[0072] In der Praxis steuert die Gegenbiegungssteifigkeit K_λ im Wesentlichen die vertikale Steifigkeit des Reifens und dementsprechend die Verbiegung unter Last der Radachse eines Reifens. Die Gegenbiegungssteifigkeit K_λ bestimmt die Länge der Kontaktfläche, wie in [Fig. 12](#) gesehen werden kann. Geringe Gegenbiegungssteifigkeit erlaubt dem ringförmigen Band **110**, sich vertikal unter Last zu bewegen, und verringert folglich die Belastungskapazität bei jener Verbiegung. Dementsprechend weist ein Reifen, welcher eine hohe Gegenbiegungssteifigkeit besitzt, eine relativ geringere Gegenbiegung und eine längere Kontaktfläche auf.

[0073] [Fig. 14](#) zeigt grafisch eine angenäherte Beziehung zwischen Gegenbiegungssteifigkeit K_λ und der vertikalen Steifigkeit des Reifens. [Fig. 14](#) zeigt die Unabhängigkeit von vertikaler Steifigkeit und Kontaktdruck, welcher mit dieser Erfindung verfügbar ist, was Konstruktionsflexibilität erlaubt, wie sie bei pneumatischen Reifen nicht zur Verfügung steht. Ein druckloser pneumatischer Reifen weist typischerweise eine Gegenbiegungssteifigkeit pro Einheit Kontaktflächenbreite von weniger als $0,1 \text{ DaN/mm}^2$ auf. Ein Reifen gemäß der Erfindung kann im Gegensatz dazu so gestaltet sein, um eine Gegenbiegungssteifigkeit pro Einheit Kontaktflächenbreite im Bereich über $0,1 \text{ DaN/mm}^2$ aufzuweisen.

[0074] Vorteilhafterweise können die Ausgangskonstruktionsparameter für jede vorgeschlagene Anwendung unter Einsatz von [Fig. 14](#) in Verbindung mit [Fig. 13](#) ausgewählt werden. Sobald der Kontaktdruck, die vertikale Last und die Kontaktfläche unter Verwendung von [Fig. 13](#) ausgewählt sind, können die vertikalen Steifigkeitsmerkmale des Reifens unter Verwendung von [Fig. 14](#) bestimmt werden. Mit einem ungefähren angestrebten Wert für die Gegenbiegungssteifigkeit K_λ , erzielt aus [Fig. 13](#), würde der Konstrukteur dann verfügbare analytische Werkzeuge, Finite-Element-Analyse zum Beispiel, einsetzen, um die Struktur zu bestimmen, um diese Steifigkeit zu erzielen. Weitere Arbeit, darunter Erzeugen und Testen der Reifen, würde die Konstruktionsparameter bestätigen.

[0075] Zum Beispiel, um einen Reifen für den Einsatz mit einem Personenkraftfahrzeug zu gestalten, kann der Konstrukteur einen Konstruktionskontaktdruck P_{eff} von $1,5$ bis $2,5 \text{ DaN/cm}^2$ und eine Reifengröße auswählen, in welcher der Radius R ungefähr 335 mm beträgt. Durch Multiplizieren dieser Werte kann ein "Schubschichtfaktor" von $50,25$ bis $83,75 \text{ DaN/cm}$ bestimmt werden, welcher dazu verwendet werden kann, um die Schubschichtmaterialdicke und den Schubmodul zu bestimmen. In diesem Fall mit einem Schubmodul im Bereich von ungefähr 3 MPa bis ungefähr 10 MPa beträgt die Dicke h der Schubschicht wenigstens 5 mm und vorzugsweise liegt sie zwischen ungefähr 10 mm bis ungefähr 20 mm .

[0076] Des Weiteren gemäß der Erfindung sind der Bodenk Kontaktdruck und die Steifigkeit des Reifens unabhängig von einander, im Gegensatz zu einem pneumatischen Reifen, bei welchem beide in Bezug zum Befüllungsdruck stehen. Folglich könnte ein Reifen für hohen Kontaktdruck P , aber mit relativ geringer Steifigkeit konstruiert werden. Dies kann beim Erzeugen eines Reifens mit niedriger Masse und Rollwiderstand, während aber lasttragende Fähigkeit erhalten bleibt, vorteilhaft sein.

[0077] Gegenbiegungssteifigkeit K_A kann auf eine Anzahl von Wegen modifiziert werden. Einige der Konstruktionsparameter, welche dazu verwendet werden, diese Steifigkeit anzupassen, umfassen den Streifenspeichenmodul, die Streifenspeichenlänge, die Streifenspeichenkrümmung, die Streifendicke, den Druckmodul der ringförmigen Bandmembrane, die Dicke der Schubschicht, den Reifendurchmesser und die Breite des ringförmigen Bandes.

[0078] Vertikale Steifigkeit kann angepasst werden, um die lasttragende Fähigkeit eines gegebenen Reifens zu optimieren. Alternativ kann die vertikale Steifigkeit angepasst werden, um ein ringförmiges Band von verringerter Dicke für verringerten Kontaktdruck oder verringerte Reifenmasse bereitzustellen, während ein angestrebtes Niveau von vertikaler Steifigkeit erhalten bleibt.

[0079] Die vertikale Steifigkeit des Reifens der Erfindung kann auch durch die Wirkung der Zentripetalkräfte auf das ringförmige Band und die Seitenwandabschnitte beeinflusst werden. Wenn sich die Geschwindigkeit eines rollenden Reifens erhöht, entwickeln sich Zentripetalkräfte. In herkömmlichen Radialreifen können Zentripetalkräfte die Reifenbetriebstemperatur erhöhen. Der Reifen der Erfindung erzielt im Gegensatz dazu ein unerwartetes, günstiges Ergebnis aus eben diesen Kräften. Wenn der Reifen der Erfindung sich unter der angelegten Last dreht, lassen Zentripetalkräfte das ringförmige Band eher dazu neigen, sich im Umfang auszu dehnen, und leiten eine zusätzliche Spannung in die Streifenspeichen ein. Die radial steifen Streifenspeichen für den Bereich des Reifens außerhalb des Kontakts (Bereich "A" in [Fig. 1](#)) widerstehen diesen Zentripetalkräften. Dies erzeugt eine netto aufwärts resultierende Kraft, welche die wirksame vertikale Steifigkeit des Reifens ansteigen lässt und die radiale Verbiegung des Reifens relativ zum statischen, nicht drehenden Zustand verringern lässt. Dieses Ergebnis wird zu einem bedeutsamen Grad erzielt, wenn das Verhältnis der Längssteifigkeit des Bandes in der Reifenäquatorialebene ($2 \cdot E'_{\text{membrane}}$) zur wirksamen Steifigkeit des Streifenspeichenabschnitts unter Spannung kleiner als 100:1 ist.

[0080] Die Anmelder glauben, dass viele andere Variationen für eine Durchschnittsfachperson auf diesem Gebiet der Technik durch das Lesen der obigen Beschreibung offensichtlich werden. Diese Variationen und andere Variationen liegen innerhalb des Geistes und Umfangs der vorliegenden Erfindung, wie sie durch die folgenden angefügten Ansprüche definiert sind.

Patentansprüche

1. Strukturell getragener, nichtpneumatischer Reifen (**100**), umfassend ein ringförmiges Band (**110**), eine Mehrzahl von Streifenspeichen (**150**), welche sich quer über und radial nach innen vom verstärkten ringförmigen Band (**110**) erstrecken, und Mittel zum Miteinander-Verbinden der Mehrzahl von Streifenspeichen (**150**) mit einem Rad (**10**), **dadurch gekennzeichnet**, dass das ringförmige Band eine elastomere Schubschicht (**120**), wenigstens eine erste Membran (**130**), welche an einen radial inneren Bereich der elastomeren Schubschicht (**120**) angeklebt ist, und eine zweite Membran (**140**), welche an einen radial äußeren Bereich der elastomeren Schubschicht angeklebt ist, umfasst, wobei jede der Membrane (**130**, **140**) einen Längszugfestigkeitsmodul aufweist, der größer ist als ein Schubmodul der Schubschicht (**120**).

2. Reifen (**100**) nach Anspruch 1, wobei das Mittel zum Miteinander-Verbinden der Mehrzahl von Streifenspeichen (**150**) mit einem Rad (**10**) ein Befestigungsband (**160**) umfasst, welches gemeinsam die radial inneren Enden der Streifenspeichen (**150**) miteinander verbindet.

3. Reifen (**100**) nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei das Mittel zum Miteinander-Verbinden der Mehrzahl von Streifenspeichen (**150**) mit einem Rad (**10**) einen vergrößerten Endabschnitt auf jeder der Streifenspeichen umfasst, welcher so angepasst ist, um in einen eingreifenden Schlitz im Rad zu passen.

4. Reifen (**100**) nach jedem der Ansprüche 1 bis 3, wobei er des Weiteren ein Zwischenband (**17**) umfasst, welches radial äußere Enden der

5. Reifen (**100**) nach jedem der Ansprüche 1 bis 4, wobei jede Streifenspeiche (**150**) parallel zur axialen Richtung ausgerichtet ist.

6. Reifen (**100**) nach jedem der Ansprüche 1 bis 4, wobei jede Streifenspeiche (**150**) schräg zur axialen Richtung ausgerichtet ist.

7. Reifen (**100**) nach Anspruch 1, wobei jeweils benachbarte Streifenspeichen (**150**) in entgegengesetzt schrägen Winkeln zur radialen Richtung ausgerichtet sind, wobei sie ein Zick-Zack in der Äquatorialebene aus-

bilden.

8. Reifen (100) nach Anspruch 1, wobei die Mehrzahl der Streifenspeichen (150) in gekreuzten Paaren ausgerichtet sind, wobei sie ein wiederholendes X-Muster in der Äquatorialebene ausbilden.

9. Reifen (100) nach jedem der Ansprüche 1 bis 8, wobei jede Streifenspeiche (150) eine Dicke aufweist, welche nicht mehr als ungefähr 5% eines Radius des Reifens ausmacht.

10. Reifen (100) nach jedem der Ansprüche 1 bis 9, wobei ein Verhältnis des Längszugfestigkeitsmoduls einer der Membrane (130, 140) zum Schubmodul der Schubschicht (120) wenigstens ungefähr 100:1 ist.

11. Reifen (100) nach Anspruch 10, wobei das Verhältnis des Längszugfestigkeitsmoduls einer der Membrane (130, 140) zum Schubmodul der Schubschicht (120) wenigstens ungefähr 1000:1 ist.

12. Reifen (100) nach jedem der Ansprüche 1 bis 11, wobei ein Produkt des Schubelastizitätsmoduls der Schubschicht (120) mal einer radialen Dicke der Schubschicht (120) ungefähr gleich ist einem Produkt eines Reifenbodenkontaktdrucks mal einer radialen Position des äußersten Ausmaßes der zweiten Membran (140).

13. Reifen (100) nach jedem der Ansprüche 1 bis 12, wobei die elastomere Schubschicht (120) einen Schubelastizitätsmodul von ungefähr 3 MPa bis ungefähr 20 MPa aufweist.

14. Reifen (100) nach jedem der Ansprüche 1 bis 13, wobei jede der wenigstens ersten und zweiten der Membrane (130, 140) Lagen (131, 132, 141, 142) von im Wesentlichen nichtdehnbaren Kordverstärkungen, welche in einer elastomeren Überzugsschicht eingebettet sind, welche einen Schubelastizitätsmodul von wenigstens gleich dem Schubelastizitätsmodul der Schubschicht (120) aufweist, umfasst.

15. Reifen (100), nach jedem der Ansprüche 1 bis 14, wobei die erste und die zweite Membran (130, 140) aus entweder einem homogenen Material, einer faserverstärkten Matrix oder einer Schicht, welche diskrete Verstärkungselemente aufweist, ausgebildet ist.

16. Strukturell getragener Rad-Reifen, umfassend einen nichtpneumatischen Reifen (100) nach jedem der Ansprüche 1 bis 15, wobei der nichtpneumatische Reifen (100) angebracht ist auf einem Rad (10), radial innerhalb der Mehrzahl von Streifenspeichen (150) und mit diesen verbunden.

17. Rad-Reifen nach Anspruch 16, wobei das Rad (10) und die Mehrzahl von Streifenspeichen (150) eine einstückige Gussformeinheit sind.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

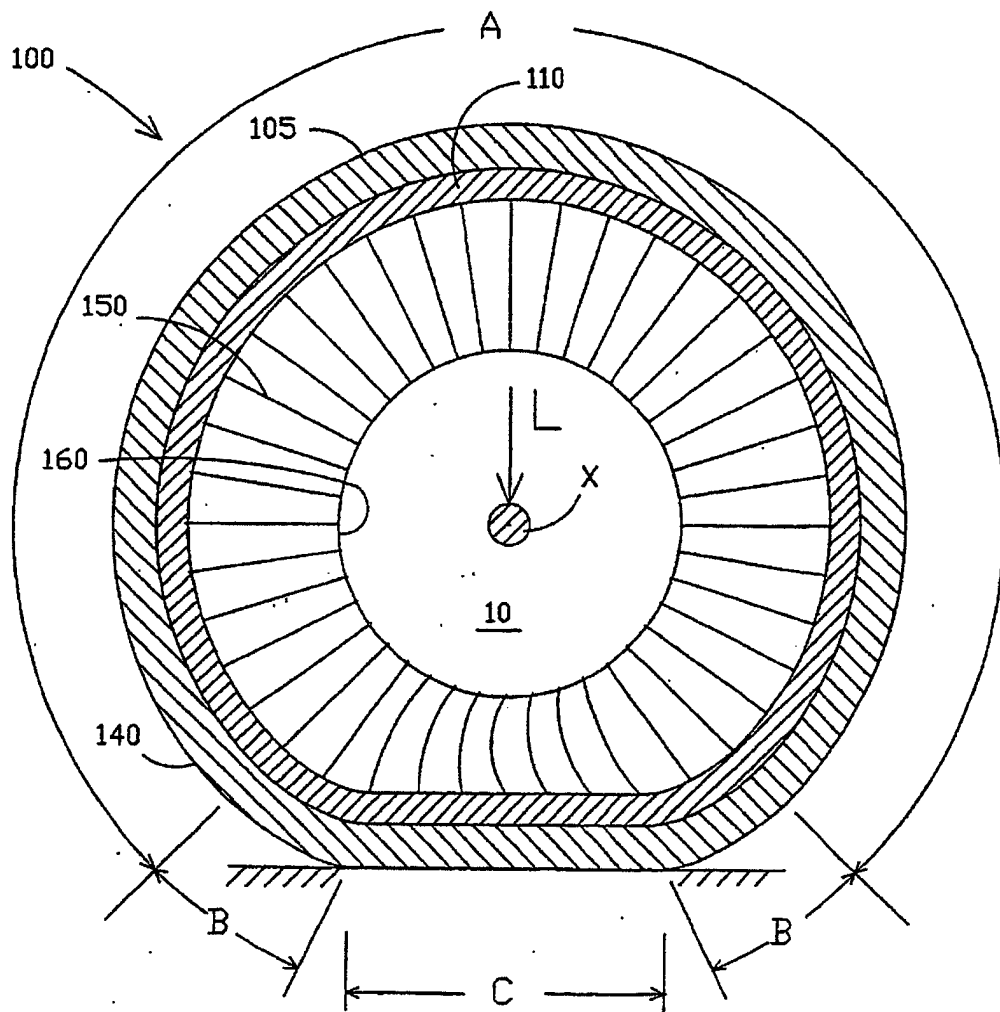
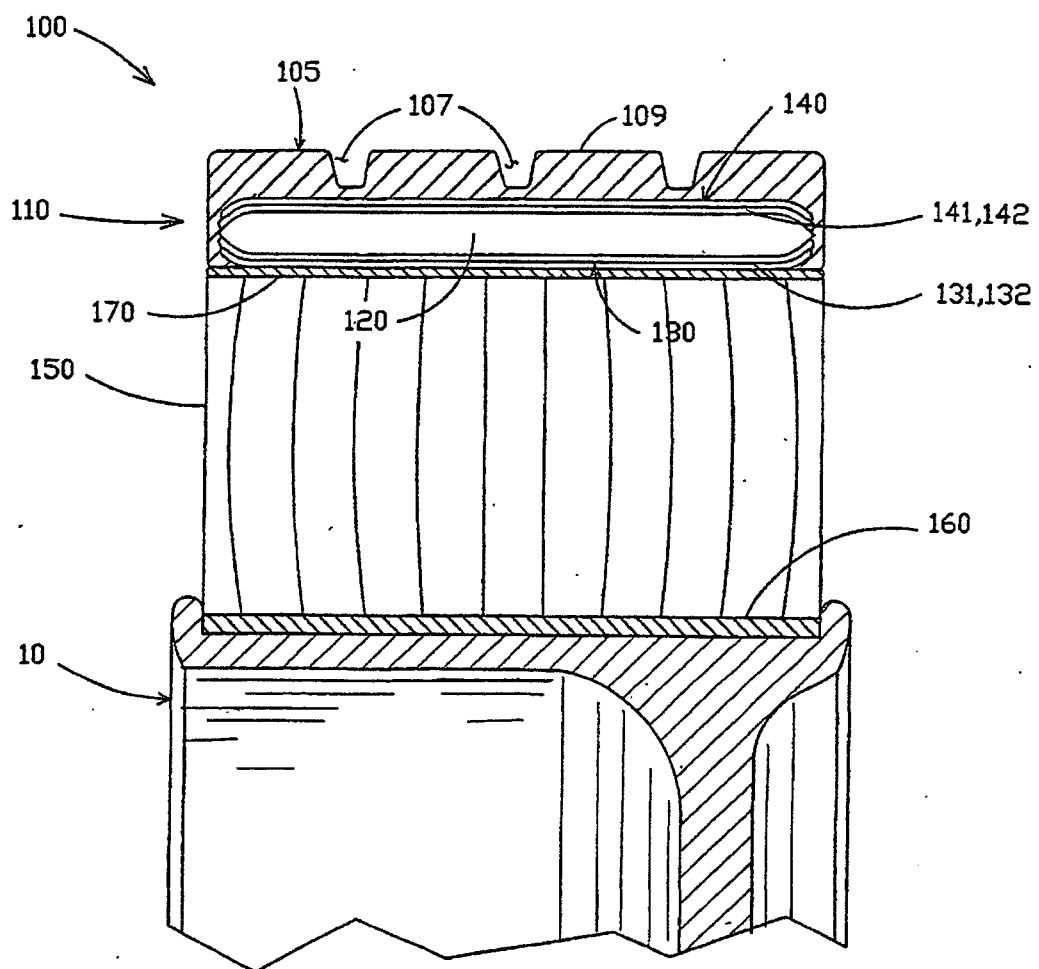


Fig. 2



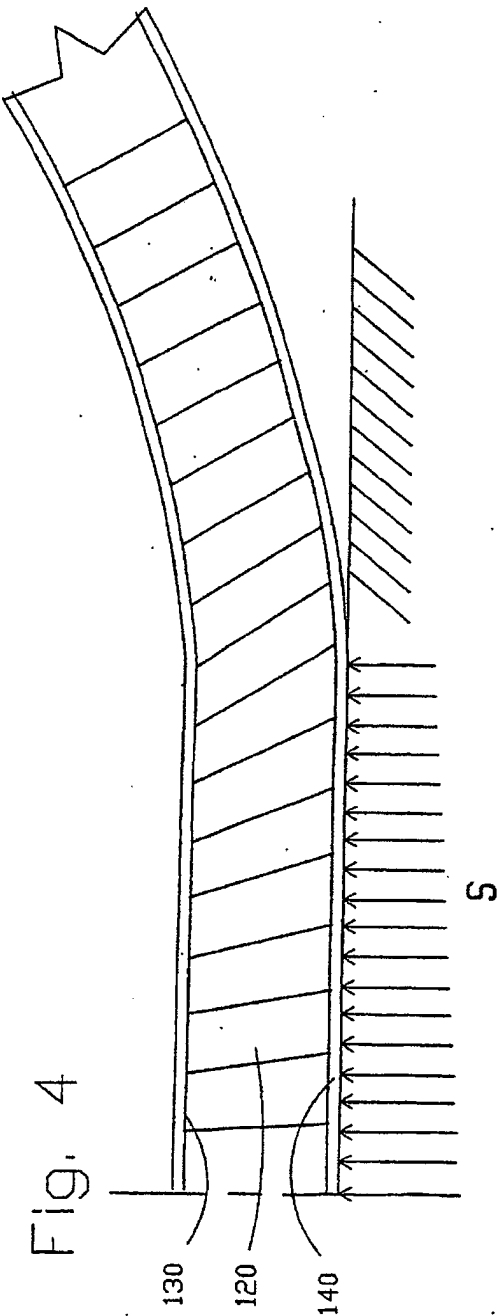
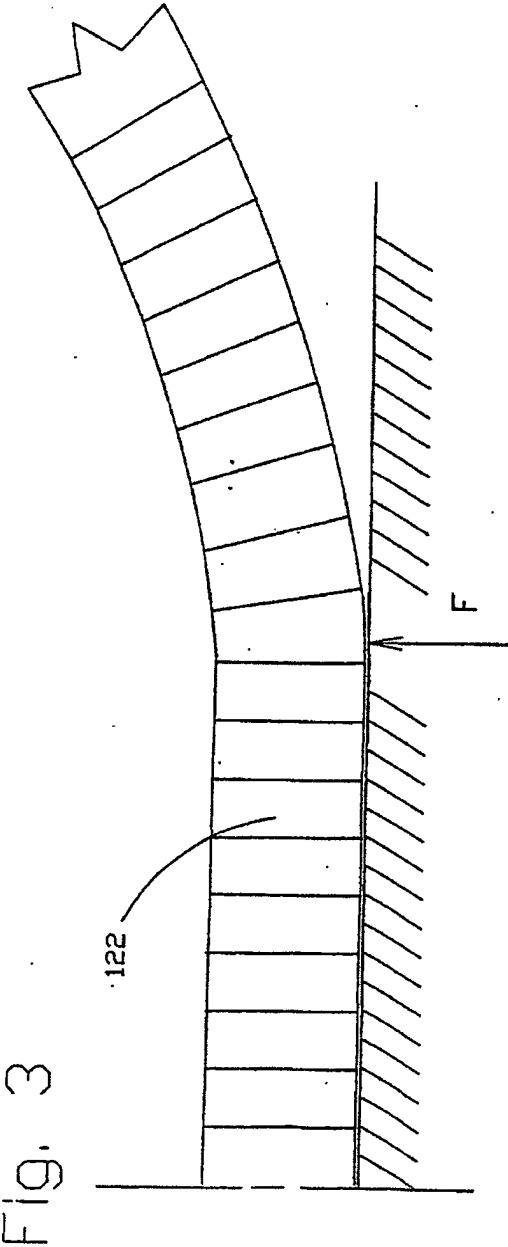


Fig. 5

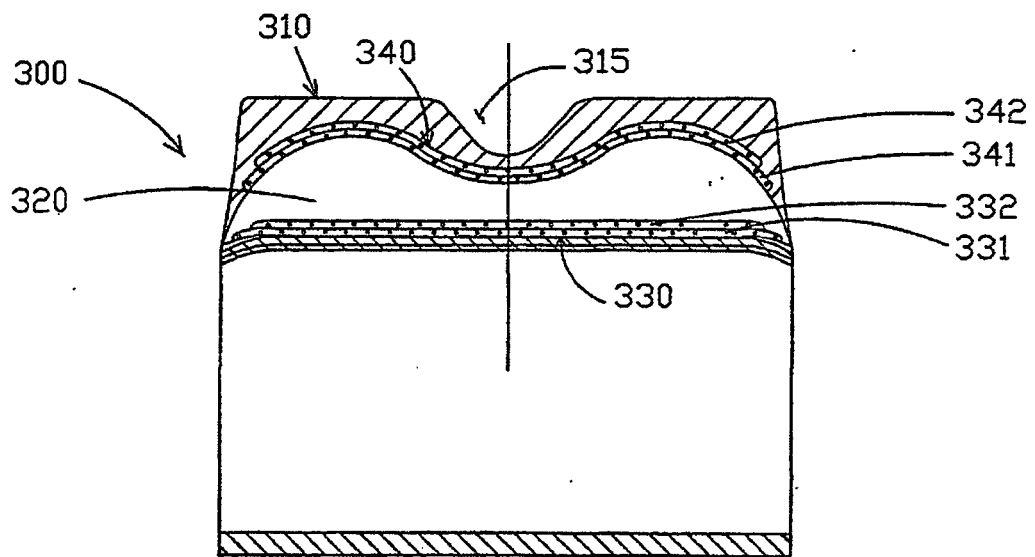


Fig. 6

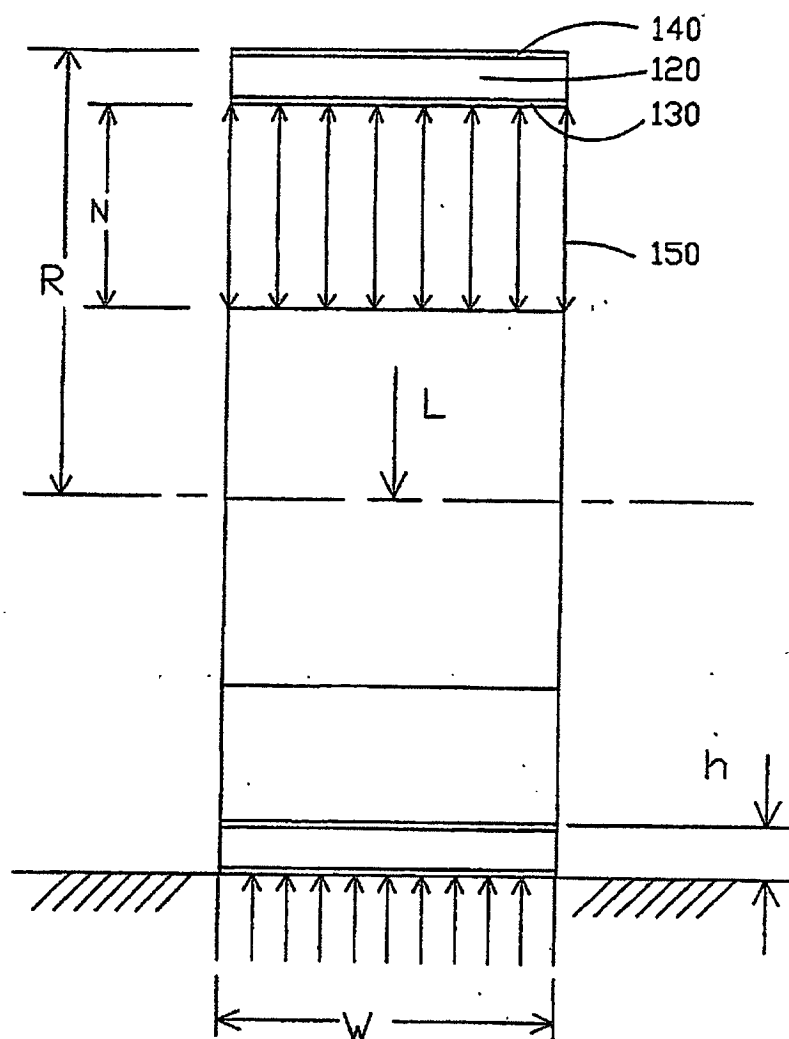


Fig. 7

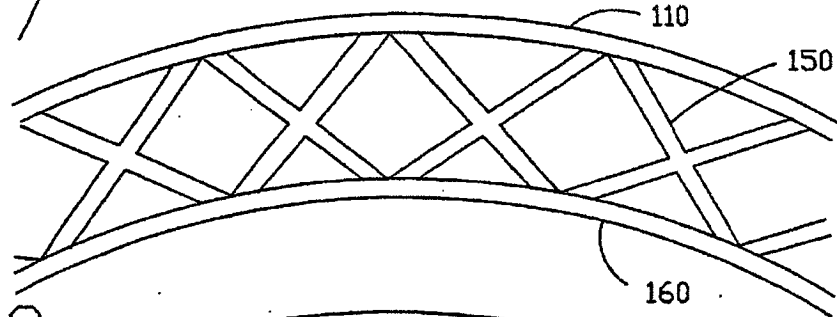


Fig. 8

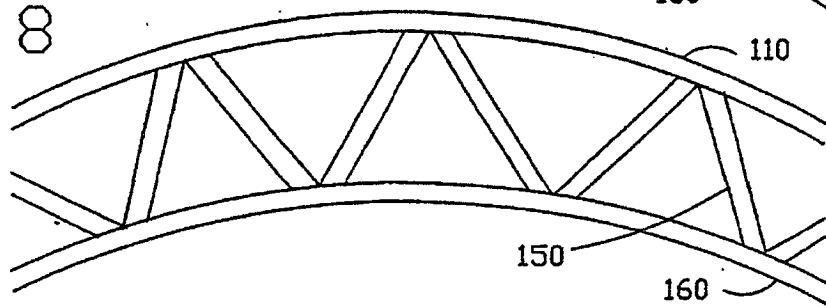


Fig. 9

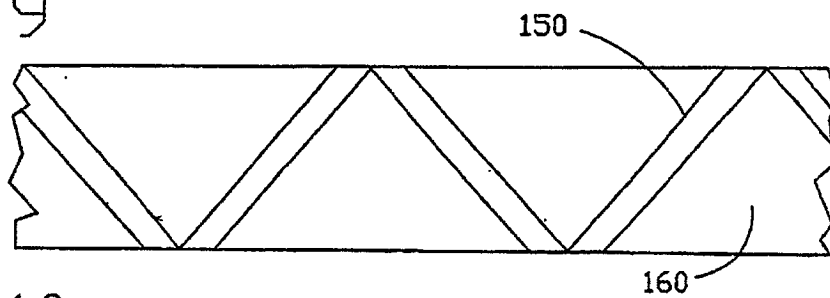


Fig. 10

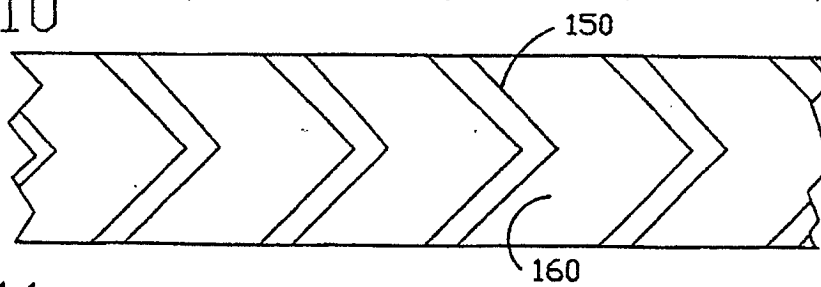


Fig. 11

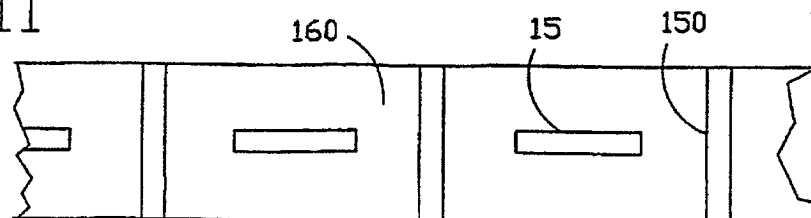
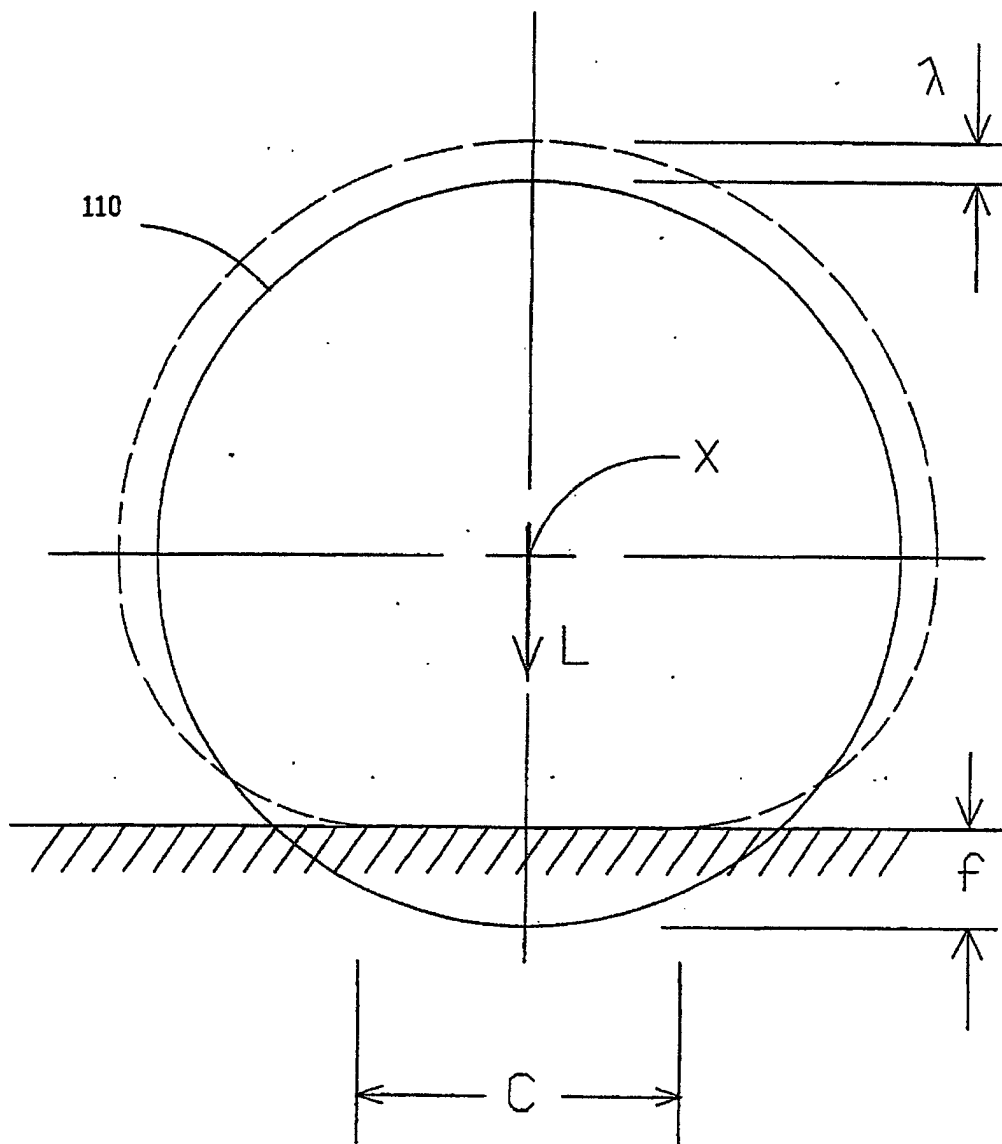


Fig. 12



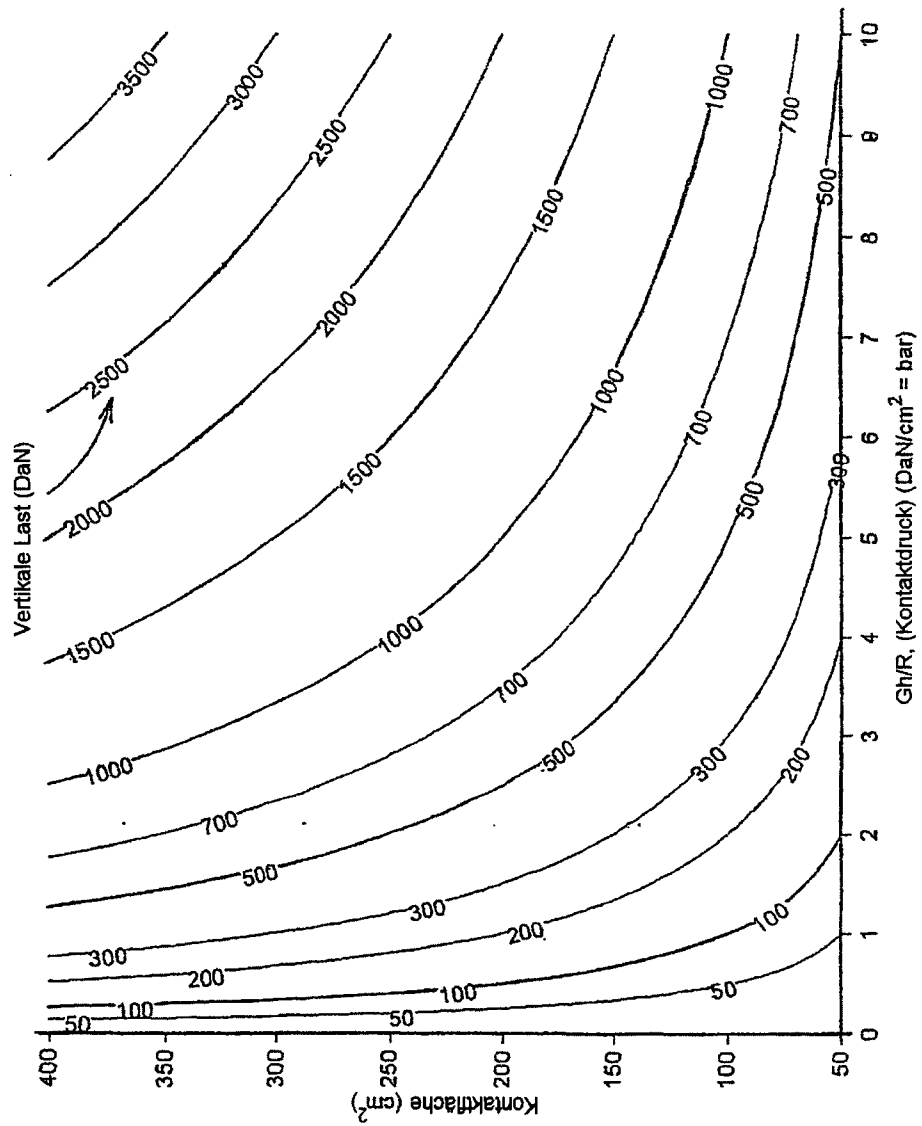


Fig. 13

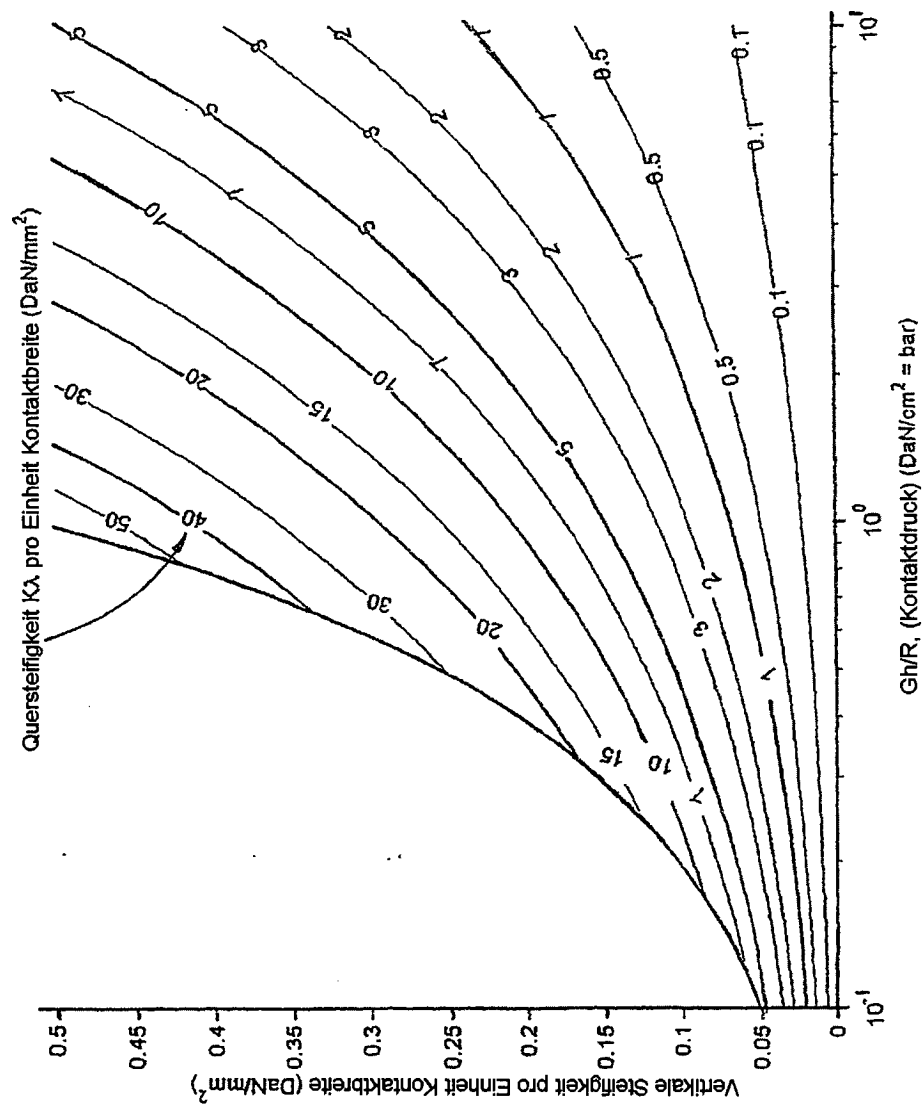


Fig. 14