



(10) **DE 10 2015 122 621 A1** 2017.06.22

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2015 122 621.9**

(22) Anmeldetag: **22.12.2015**

(43) Offenlegungstag: **22.06.2017**

(51) Int Cl.: **B32B 5/04 (2006.01)**

(71) Anmelder:
**Karlsruher Institut für Technologie, 76131
Karlsruhe, DE**

(72) Erfinder:
Böse, Till-Falco, 68219 Mannheim, DE

(74) Vertreter:
**Fitzner PartGmbH Rechtsanwalt und
Patentanwälte, 40878 Ratingen, DE**

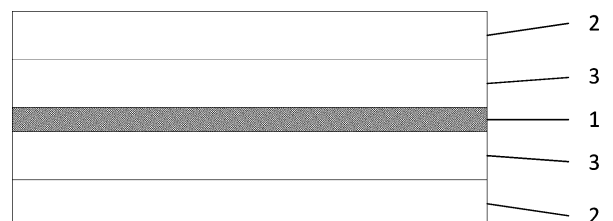
(56) Ermittelter Stand der Technik:
WO 2003/ 026 882 A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Einstellung der Elastizität eines Werkstoffs und mit diesem Verfahren hergestelltes Werkstück**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Einstellung der Elastizität eines Werkstoffs, ein mit diesem Verfahren hergestelltes Werkstück sowie dessen Verwendung.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Einstellung der Elastizität eines Werkstoffs, ein mit diesem Verfahren hergestelltes Werkstück sowie dessen Verwendung.

[0002] Leichtbau ist ein zentrales Thema in verschiedensten Situationen, u. a. im Fahrzeug- und Flugzeugbau. Die Strukturoptimierung ist ein essentieller Bestandteil bei der Entwicklung von Maschinen- und Leichtbauteilen um höchste Leistungsfähigkeit und/oder Ressourcenschonung zu erreichen. So besteht z. B. in der Fahrwerkstechnik und bei der Herstellung von Federelementen der Bedarf an korrosionsfesten, dauerfesten, leichten Fahrwerksfedern mit hohem Arbeitsaufnahmevermögen. In der Luft- und Raumfahrtindustrie sowie der Schiffsbauindustrie besteht der Bedarf an strukturoptimierten Bauteilen zur Gewichtsreduktion wie z. B. an (struktur-)optimierten Tragflächen und Rümpfen. Auch in der Automobil- bzw. Motorsportindustrie besteht der Bedarf an optimierten Fahrwerkskomponenten (wie z. B. von optimierten Blatt- und Schraubenfedern aus CFK/GFK-Verbund) und Karosserien.

[0003] Heutzutage werden verschiedene Methoden der Strukturoptimierung in der virtuellen Produktentwicklung eingesetzt. Hierbei wird im Allgemeinen zwischen den Verfahren Querschnittsoptimierung („Sizing“), Formoptimierung („Shape optimal design“) und Topologieoptimierung unterschieden.

[0004] Durch die Topologieoptimierung, d. h. der Optimierung von z. B. der Gestalt der Bauteile, können z. B. Wanddicken oder Faserorientierungen optimiert werden. Bei der Querschnittsoptimierung werden ausschließlich Querschnittswerte (Dicke, Höhe, Querschnittsfläche, Trägheitsmoment etc.) als Optimierungsvariablen verwendet. Eine Querschnittsoptimierung wird z. B. angewendet, wenn sowohl Form als auch das Tragswerkskonzept schon definiert sind. So kann die Querschnittsoptimierung bei der optimalen Auslegung von Kompositwerkstoffen (z. B. Glasfaser- oder Kohlefaserlaminat) angewandt werden um den optimalen Lagenaufbau zu bestimmen um Material und somit Gewicht einzusparen.

[0005] Nach dem Stand der Technik werden Bauteile nach der kinematischen Hypothese von Bernoulli ausgelegt und konzipiert. Am Beispiel eines Biegebalkens besagt diese, dass sich bei einer Biegebelastung ein linearer (Zug/Druck-)Spannungsverlauf im Balken einstellt. Bei einem Torsionsstab bildet sich demnach ein linearer (Schub-)Spannungsverlauf über den gesamten Querschnitt aus. Das Lehrbuch Festigkeitslehre von Herbert Balke macht die Einschränkung, dass die Annahmen „unabhängig von speziellen Eigenschaften isotroper homogener Materialien gültig“ sind (Herbert Balke. Einführung in die Technische Mechanik: Festigkeitslehre, Volume 3, Seite 82). Die Eigenschaften eines isotropen Materials sind in allen Richtungen gleich. Im Gegensatz zum isotropen Material ändern sich in einem anisotropen Material die Eigenschaften in Abhängigkeit der Richtung und der Position. Die Elastizität von Werkstoffen ist im Allgemeinen anisotrop und kann mit den Elastizitätsgesetzen beschrieben werden. Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK) und glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) und verstreckte Kunststoffe haben ein richtungsabhängiges Elastizitätsgesetz.

[0006] Im Lehrbuch TM2 von Gross wird dieser Spannungsverlauf hingegen als allgemeingültig dargestellt – ohne Verweis auf Isotropie (Dietmar Gross. Technische Mechanik 2 – Elastostatik, Volume 12, Seite 89ff). Diese Darstellung verleitet beim späteren Konstruieren mit anisotropen Werkstoffen zu falschen Schlüssen. So ist eine bekannte Strukturoptimierungstechnik beim Leichtbau das Weglassen beanspruchungsfreier Bauteilvolumina. Beim isotropen Biegebalken resultiert daraus die klassische Doppel-T-Träger Geometrie, bei toridierten Stäben das Rohr.

[0007] Ein Ziel der Festigkeitslehre (Elastostatik) ist es, Aussagen über Belastungen von Maschinenteilen oder Bauwerken zu treffen. Hierfür wird beispielsweise die Biegung bzw. der Deformations- und Spannungszustand von schlanken und/oder dünnen Bauteilen (Balken, Bögen, Schalen oder Platten) mittels Anwendung von Biegetheorien berechnet. Die Schicht eines Bauteils, deren Länge sich bei einer Belastung nicht ändert wird als „neutrale Faser“ bezeichnet (oder auch „Nulllinie“). An dieser Stelle verursacht die Belastung keine Zug- oder Druck- bzw. Schubspannungen. Für die von der neutralen Faser in senkrechter Richtung am weitesten entfernten Schichten (Lagen) besteht die größte Gefahr zur Entstehung von Rissen. Diese Risse entstehen durch eine unzureichende Streckgrenze R_e bzw. elastische Dehngrenze ϵ des Materials an dieser Stelle.

[0008] Die maximale Spannung tritt stets an der Oberfläche des Bauteils bzw. Werkstücks auf. Dies macht das Bauteil bzw. Werkstück besonders empfindlich für äußere Beschädigungen. Ein wesentliches Problem bei der im Stand der Technik eingesetzten Strukturoptimierung ist, dass bislang die niedrig beanspruchte Struktur nahe der neutralen Faser entweder weggelassen oder durch eine Schaum- oder Wabenstruktur aufgefüllt wird.

[0009] Ein weiteres Problem ist, dass die Strukturoptimierung bisher anhand der Spannungsverteilung bei konstantem Modul durchgeführt wird. Der Elastizitätsmodul (E-Modul, Formelzeichen E) ist ein Materialkennwert aus der Werkstofftechnik, der den Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung bei der Verformung eines festen Körpers bei linear elastischem Verhalten beschreibt. Je mehr Widerstand ein Material seiner elastischen Verformung entgegensetzt desto größer ist der Betrag des E-Moduls. Analog ist der Schubmodul (G-Modul, Formelzeichen G) definiert als die linear-elastische Verformung eines Bauteils infolge einer Scherkraft.

[0010] Aufgabe der Erfindung ist daher die Strukturoptimierung bzw. die Querschnittsoptimierung eines Bauteils zur maximalen reversiblen Energieaufnahmefähigkeit.

[0011] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Einstellung der Elastizität eines Werkstoffs aus zwei oder mehreren Materialien die in Schichten angeordnet sind gelöst, wobei die Schichten unterschiedliche Moduln aufweisen und derart angeordnet werden, dass ausgehend von einer neutralen Faser diese abfallende Moduln aufweisen.

[0012] Werkstoffe sind Materialien, die in Produktionsprozessen weiter verarbeitet werden und in Endprodukte eingehen. Die Materialien werden ausgewählt aus der Gruppe enthaltend oder bestehend aus Rohstoffen, Hilfsstoffen oder Halbzeugen und Halfertigprodukten.

[0013] Im Sinne der Erfindung werden als Werkstoffe Kombinationen verschiedener Materialarten und/oder Materialqualitäten verstanden. Beispiele unterschiedlicher Materialien sind in Tabelle 1, 2 und 3 zu finden. Wesentlich ist, dass die Materialien in Schichten, also einzelnen Lagen innerhalb des Werkstoffs vorliegen und dass die Moduln der Schichten, also Lagen, verschieden sind. Erfindungsgemäß enthalten die einzelnen Schichten unterschiedliche Materialien. In einer Alternative können auch Kombinationen von zwei oder mehr Materialien in den einzelnen Lagen vorhanden sein. Wird dieselbe Faserart, also Fasern gleicher Art und Qualität in unterschiedlicher Orientierung eingesetzt, so handelt es sich erfindungsgemäß um zwei unterschiedliche Schichten. Zwei Schichten unterscheiden sich in mindestens einem physikalischen und/oder chemischen Merkmal voneinander, insbesondere in ihrem E- und/oder G-Modul-Wert.

[0014] In einer Ausführung der Erfindung liegen die Materialien als Fasern, gegebenenfalls in einer Matrix vor. Mithin enthält der erfindungsgemäße Werkstoff eine Kombination aus verschiedenen Faserarten, Faserqualitäten und/oder Faserorientierungen.

[0015] In einer Ausführung werden Naturfaser eingesetzt, also aus nachhaltigen und/oder nachwachsenden Rohstoffen. Dabei handelt es sich um Rohstoffe, die pflanzlichen oder tierischen Ursprungs sind. Erfindungsgemäß kann eine Schicht aus einer Matrix bestehen, in welcher die einzusetzenden Materialien, bevorzugt Fasern eingelagert sind. Als Matrix können dem Fachmann bekannte Harze verwendet werden.

[0016] In einer Ausführung wird für alle Schichten des Werkstoffs dieselbe Matrix verwendet.

[0017] Einerseits spielt dadurch die Matrix bezüglich der Moduländerung keine Rolle. Andererseits werden weitere Stoffe wie z. B. Klebstoffe vermieden, die bezüglich ihres Moduls nicht in Abfolge passen würde. In einer Ausführung können jedoch auch unterschiedliche Matrices verwendet werden oder das Werkstück wird mit einer Oberflächenveredelung versehen.

[0018] Vorzugsweise ist der Modul der einzelnen Lagen in Richtung der Schicht erhöht, deren Länge sich beim Belastungsvorgang nicht ändert. Eine solche Schicht ist die sogenannte neutrale Faser. Im Ergebnis grenzt die Lage mit dem höchsten Modul an die neutrale Faser.

[0019] Die vorliegende Erfindung zeigt, dass durch die Verwendung des Moduls als Variable im Strukturoptimierungsprozess und die Steigerung des Moduls in Richtung der neutralen Faser bzw. die Variation des Moduls über den Beanspruchungsquerschnitt die Spannungsverteilung gezielt beeinflusst und homogenisiert werden kann.

[0020] Werkstück im Sinne der Erfindung bezeichnet jegliche Bauteile, wie z. B. Tragwerke, Maschinenbauteile, Federn (Schraubenfedern, Spiralfedern, Blattfedern etc.), Balken, Fahrwerkskomponenten et cetera.

[0021] Die vorliegende Erfindung bietet ein vollkommen neues Verständnis von Spannungsverläufen bei Verwendung von anisotropen Materialien gegenüber Isotropen, da mit dem neuen Verfahren dieser Bereich jedoch auch für einen Großteil der Energieaufnahme nutzbar gemacht werden kann, während diese niedrig be-

anspruchte Struktur nahe der neutralen Faser im Stand der Technik bislang entweder weggelassen oder durch eine Schaum- oder Wabenstruktur aufgefüllt wird.

[0022] Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist, dass besonders bei der Verwendung von anisotropen Werkstoffen wie beispielsweise Faserverbundkunststoffen der Modul in einem sehr großen Bereich eingestellt werden kann. So ist es möglich, den Spannungsverlauf gegenüber isotropen Werkstoffen drastisch zu verändern. Die maximale Spannung tritt somit nicht mehr zwangsweise an der Oberfläche auf.

[0023] Ferner wird vorteilhafterweise so eine gleichmäßige und/oder homogene Beanspruchung des gesamten Beanspruchungsquerschnitts erreicht. Ein weiterer Vorteil ist, dass eine Spannungsverteilung gemäß der maximalen Streckgrenzen bzw. elastischen Dehngrenzen des jeweiligen Materials erreicht werden kann. Generell ist das Verfahren zur Optimierung sämtlicher Zug/Druck- und biegebeanspruchten Strukturen geeignet. Zusätzlich kann bei Torsionsbeanspruchung der Schubmodul in analoger Weise variiert werden und ein entsprechender Aufbau des Werkstoffs erreicht werden.

[0024] Diese Erkenntnis führt zu einem Spannungsverlauf im Materialquerschnitt, der dem jeweils verwendeten Material angepasst werden kann. Entscheidend sind demgemäß die Kombination von Materialien mit unterschiedlichem Modul.

[0025] Typische Moduln sind in nachfolgend in Tabelle 1 dargestellt:

Tabelle 1: Modul-Zahlenwerte für verschiedene Materialien

Material	E-Modul [GPa]	G-Modul [GPa]
Baustahl	200...216	77...85
V2A-Stahl	189...210	74...84
Gusseisen	90...145	31...71
Messing	78...123	35...42
Kupfer	100...130	45...52
Titan	110...120	36...51
Aluminium	68...89	25...34
Magnesium	42...47	15...19
Blei	13...17	4...6
Gold	77...81	26...30
Nickel	150...245	72...100
Wolfram	310...406	120...148
Glas	40...90	25...49
Beton	20...40	6...11
Technische Keramik	140...700	60...283
Holz	6...25	0,3...2
Polypropylen	0,8...1,8	0,3...0,5
Naturkautschuk	bis 0,05	bis 0,0008
Graphen	ca. 1000	N/A
Diamant	800...1200	440...470
Marmor	50...72	22...28
Hartgummi	5	0,0003
Kohlenstofffaser UHM	690...830	310...370
Kohlenstofffaser VHM	530...580	230...240
Kohlenstofffaser HM	370...390	165...175

Kohlenstofffaser HS	225...245	100...110
Wolframcarbid	388...406	165...175
Titanborid	500...545	229...245
Siliciumcarbid	440...480	190...210
Aramid(faser)	170...190	1...2
Asbest/Kevlar	160...195	44...66
Ramie (Chinagrass)	61...128	14...16
Basaltfaser	71...110	31...41
S-Glasfaser	86...93	35...39
E-Glasfaser	72...85	30...36
T-Glasfaser	68...76	27...32
C-Glasfaser	66...70	27...30

Modul von Laminaten:

Tabelle 2

Material 0° (isotrop)	E-Modul [GPa]	G-Modul [GPa]
Cyanatester + Carbon HM	299... 376 (101...115)	4.5 (33...42)
PEEK + Carbon IM	146...149 (56...57)	5...6 (21...22)
EPOXY + Carbon HS	129...154 (49...60)	3...7 (19...23)
BMI + Carbon HS	110...130 (55...65)	5...6 (16...20)
Epoxy + S-Glas	47...48 (19...21)	4... 5 (9...10)

[0026] Mögliche Kombinationen sind erfindungsgemäß beispielsweise Carbonfasern mit Glasfasern oder Aramidfasern mit Basaltfasern. Grundsätzlich soll im Vergleich der Dehngrenze ein Unterschied von 4 oder mehr Prozent vorliegen. Der optimale Bereich der E-Moduln der Fasern liegt hier zwischen 60 GPa und 830 GPa bzw. zwischen 80 GPa und 600 GPa. In einer Alternative sollten die Spannungssprünge zwischen zwei benachbarten Schichten nur moderat sein, d. h. es sollten keine Schichten nebeneinander angeordnet sein, deren Modul-Werte sehr unterschiedlich sind. Denkbar wären Modul-Werte benachbarter Schichten die sich um 0,1% bis 100% unterscheiden. Über den gesamten Werkstoff ändert sich der Modul um Faktor 1,01 bis 13. Generell ist zu bemerken, dass sich sämtliche Moduln rein auf die Faser beziehen. Diese ist jedoch ohne das Harz wertlos, der Modul ist deshalb im Laminatverbund um über 40% geringer und zusätzlich abhängig vom verwendeten Harz und dem Faservolumenanteil bzw. Herstellungsverfahren. Das höchste verwendete Modul bestimmt den Preis. Je Modulstufe (HM → VHM → UHM) verdoppelt sich der Preis pro kg Material. Realistisch ist deshalb eine geringe Dicke UHM nahe der neutralen Faser mit einem schnellen Wechsel zu günstigeren Qualitäten. Um lediglich die Werte eines Stahlbauteils zu erreichen genügen Carbonfasern der Qualität HS oder HM und Bereiche zwischen 80 GPa (Glasfaser) und 390 GPa. Bei LAMINATEN liegen die Maximalwerte entsprechend zwischen 40 GPa und 340 GPa. Der optimale Bereich der G-Moduln der Fasern liegt zwischen 27 GPa und 370 GPa bzw. zwischen 35 GPa und 175 GPa. Erfindungswesentlich ist, einen Werkstoff mit einem hohen Modul zu verwenden, welcher gleichwohl keine ausreichende Dehnfähigkeit besitzt. Die Kombination mit einer Faser mit einer entsprechenden hohen Dehngrenze, aber einem niedrigen Modul, führt zu einer überraschenden Kombination der betreffenden Eigenschaften.

[0027] Generell kommen erfindungsgemäß Lang- und Endlosfasern für die erfindungsgemäße Optimierung in Frage. Erfindungsgemäß vorteilhaft verwendbare Fasern sind der folgenden Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 3:

Naturfasern:	Haare, Wolle, Seide, Baumwolle, Flachs, Sisal, Hanf, Jute, Ramie, Bananenfasern
Organische Fasern:	PE, PP, PA, PES, PAN, Aramid (Kevlar), Kohlenstoff
Anorganische Fasern:	Glas, Basalt, Quarz, SiC, Al ₂ O ₃ , Bor, Asbest
Metallfasern:	Stahl, Aluminium, Kupfer, Nickel, Beryllium, Wolfram

[0028] Generell besteht bei Werkstoffen eine negative Korrelation zwischen Modul und Dehngrenze. Carbon hat z. B. als Federwerkstoff zwar ein hohes E-Modul und eine hohe Streckgrenze – jedoch keine hohe Dehnfähigkeit. Glasfaser hingegen hat eine hohe Dehngrenze, jedoch ein sehr niedriges E-Modul. Herausforderung war stets beide Eigenschaften zu kombinieren. Der Modul wird nun gezielt in Richtung der niedrigsten Dehnungen (neutrale Faser) erhöht. In einer Ausführung wird eine Kombination von Materialien aus 2, 3, 4 oder mehr ausgewählt aus den Tabellen 1, 2 und 3 eingesetzt.

[0029] Die theoretischen Ergebnisse lassen sich anhand von Simulationen einer isotropen Feder und einer Feder, bei der der E-Modul in Richtung der neutralen Faser zunimmt, verdeutlichen. Die tordierte Schraubfeder gleicht einem aufgewickelten Biegebalken und verhält sich bei isotropem Material wie vorhergesagt.

[0030] In der Materialmitte bildet sich eine neutrale Faser, welche nicht der Energieaufnahme beiträgt. Die Spannungsverteilung ist linear und die Materialausnutzung bei dieser Beanspruchung (Arnutzgrad) beträgt 50 Prozent bzw. 0,5. Nach den im Stand der Technik bekannten Methoden und Verfahren würde nun die Faser mit der höchsten Streckgrenze (also Carbon) an den Stellen höchster Spannung verwendet. Die Querschnittsmitte würde wie bei bekannten Sandwichbauweisen mit strukturschwachem Material ausgeschäumt oder mit einer Wabenstruktur ausgefüllt.

[0031] Im Sinne der Erfindung wird jedoch nun das Material mit dem höchsten E-Modul in die neutrale Faser, d. h. in die Schicht, deren Länge sich beim Biegevorgang nicht ändert, gelegt. Das Material mit der höchsten Elastizität wird in die Lage gelegt, die am weitesten von dieser Schicht entfernt ist, deren Länge sich bei dem Biegevorgang nicht ändert, d. h. am weitesten von der neutralen Faser entfernt ist. Es handelt sich hierbei vorzugsweise um die Randschicht eines Werkstoffs.

[0032] Im Gegensatz zu bestehenden Lösungen wird nicht die zugfeste Faser, z. B. (Carbon), in die Randschichten sondern in die Querschnittsmitte gelegt, da dort nun die größten Spannungen herrschen bzw. erzeugt werden. In die Randschichten wird die Faser mit der höchsten Elastizität gelegt (Glasfaser).

[0033] Tests zeigen eine Steigerung der Arbeitsaufnahmefähigkeit des anisotropen Werkstoffs um 35% gegenüber isotropen Werkstoffen. Gleichzeitig konnte das Gewicht des Federelements um 65% gesenkt werden.

[0034] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der Figuren näher beschrieben. In **Fig. 1** ist das Prinzip eines Aufbaus des Werkstoffs am Beispiel eines Biegebalkens im Querschnitt dargestellt. Hierbei bildet sich mittig die neutrale Faser **1** aus. Daran grenzt die Lage **3** an, welche den höchsten E-Modul im Vergleich zu den anderen Lagen aufweist. Die folgende Lage **2** weist im Verhältnis zu den anderen Lagen die höchste Elastizität auf. Weitere Schichten können folgen, wobei jede weitere Schicht einen kleineren Modul-Wert besitzt als die vorangehende Schicht ausgehend von der neutralen Faser.

[0035] Ein optimierter Lagenaufbau des Schubmodules eines tordierten Stabes ist analog in der folgenden **Fig. 2** im Schnitt exemplarisch dargestellt. In den **Fig. 3–Fig. 5** ist die Spannungskurve weiterer, optimierter Werkstoffe dargestellt. Zudem sind die y-symmetrischen E-Moduln und die maximale Dehngrenzen e sowie die gepunktete Linie der Verformung angegeben. Die Flächen zwischen der jeweiligen Spannungskurve und der Ordinate sind ein Maß für die Energieaufnahme des Materials, bzw. die Gesamtfläche ist ein Maß für die Energieaufnahme des Werkstoffs. Beim optimierten Faserverbund (FVK, Faserverbundkunststoff) in **Fig. 3** ist diese um etwa 70% größer als beim Stahl (E-Modul 206000).

[0036] Der entstandene Lagenaufbau besteht ausschließlich aus hochwertigen Kohlenstofffasern, deren E-Modul größer ist als von Stahl. Dieser Aufbau gemäß **Fig. 3** ist steif und sehr teuer. Ziel ist es, auch die hohe Dehngrenze der Glasfaser von $> 4\%$ auszunutzen, um mit der Kohlenstofffaser lediglich die Steifigkeit des Werkstoffs einzustellen (vgl. hierzu **Fig. 4**). Die Flächen und Energieaufnahmen sind nahezu gleich.

[0037] Die Dehngrenze von Glasfasern mit 4% ist um den Faktor 5 größer als diejenige von Stahl, der E-Modul ist jedoch um den Faktor 3 geringer. Hierdurch ergibt sich zusätzlich die Möglichkeit, den Belastungsquerschnitt gegenüber Stahl zu erhöhen. Die Energieaufnahme des Stahls ist auf die dargestellten, gestrichelten Dreiecke begrenzt (vgl. **Fig. 4**) Somit gelingt es, trotz des geringen E-Moduls von Glasfaser eine hohe Energie in ihm zu speichern und die Fläche abermals zu vergrößern.

[0038] Die neutrale Faser muss nicht zwangsweise in der Werkstoffmitte liegen. Daraus folgt ein asymmetrischer Aufbau. Die Lagenoptimierung findet erfindungsgemäß statt – dann jedoch überwiegend in eine Richtung. Ziel ist es die aufgenommene Spannung der Glasfaser bei gleichem Querschnitt zu erhöhen (**Fig. 5**).

[0039] Der erfindungsgemäße Werkstoff kann in einer Ausführung wie folgt hergestellt werden: Flächige Geometrien werden beispielsweise durch Schichtung verschiedener Fasermatten und Fasergeweben/gelegen hergestellt, welche anschließend imprägniert werden und unter Temperatureinfluss im Werkzeug, im Vakuum oder in einem Autoklaven ausgehärtet werden. Alternativ können sogenannte Prepregs verwendet werden. Eine Imprägnierung im Infusions- oder RTM Verfahren ist in diesem Fall nicht notwendig. Profilmäßige Geometrien werden im Pultrusions- bzw. Pulwindingverfahren hergestellt. Ausgangsstoff sind hierbei einzelne Faserrovings, Faserbänder und Fliese. Diese werden durch ein Harzbad oder direkt im formgebenden Werkzeug getränkt, in einer Matrize/Kavität unter Temperatureinfluss ausgehärtet und von einem Raupen- oder Greifermechanismus kontinuierlich abgezogen.

[0040] Gegenstand der Erfindung ist auch ein Werkstück enthaltend oder bestehend aus dem erfindungsgemäßen Werkstoff und/oder hergestellt nach dem erfindungsgemäßen Verfahren. Der Anwendungsbereich des Patents bezieht sich mithin explizit auch auf Werkstücke, wie zum Beispiel Federelemente von Industrie-, Gewerbe- und Garagentoren, Federelemente und/oder Tragflächen für Fahr- und Flugzeuge sowie Sportgeräte. D. h., der Werkstoff kann für diverse Sportgeräte Anwendung finden, z. B. Stäbe für Stabhochsprung, Sportbögen, Skier und Boards, Segel- und Surfmasten usw. Im Prinzip kommt der Werkstoff für alle Geräte in Betracht, bei denen eine hohe Elastizität bei gleichzeitiger Bruchfestigkeit verlangt ist. Somit werden die erfindungsgemäßen Werkstoffe als Stabilisatoren, (Antriebs-)wellen und/oder Tragwerke eingesetzt.

[0041] Oft werden an den Randschichten „Sichtlagen“ (bsp. Carbon Fabric) verwendet, damit es eine schöne Carbonoptik bekommt oder widerstandsfähiger gegen Umwelteinflüsse ist. Diese tragen der Energieaufnahme dann wenig bei.

ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Nicht-Patentliteratur

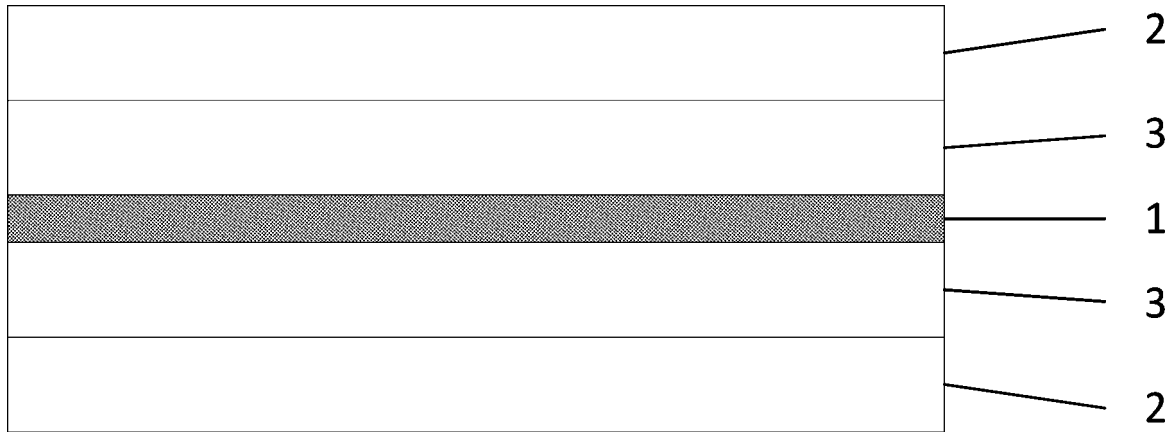
- Herbert Balke. Einführung in die Technische Mechanik: Festigkeitslehre, Volume 3, Seite 82 [0005]
- Dietmar Gross. Technische Mechanik 2 – Elastostatik, Volume 12, Seite 89ff [0006]

Patentansprüche

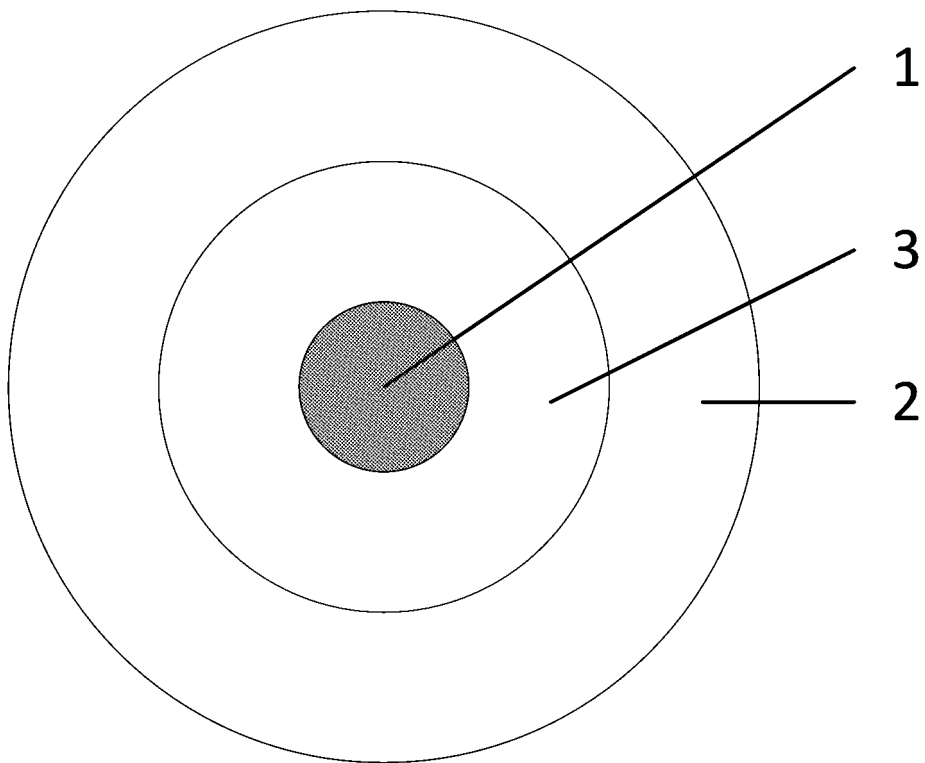
1. Verfahren zur Einstellung der Elastizität eines Werkstoffs aus zwei oder mehr Materialien die in Schichten angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schichten unterschiedliche Moduln aufweisen und derart angeordnet werden, dass – ausgehend von einer neutralen Faser – diese abfallende Moduln aufweisen.
2. Verfahren nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet**, dass unterschiedliche Materialien eingesetzt werden.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass der Modul das E-Modul und/oder G-Modul ist.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass Materialien, ausgewählt werden aus der Gruppe enthaltend: Naturfasern, organische Fasern, anorganische Fasern und Metallfasern.
5. Werkstoff enthaltend zwei oder mehrere Materialien die in Schichten angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie Schichten unterschiedliche Moduln aufweisen und diese derart angeordnet sind, dass – ausgehend von einer neutralen Faser – diese abfallende Moduln aufweisen.
6. Werkstoff nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass der Modul das E-Modul und/oder G-Modul ist.
7. Werkstoff nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass die Materialien, ausgewählt werden aus der Gruppe enthaltend: Naturfasern, organische Fasern, anorganische Fasern und Metallfasern.
8. Werkstoff nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass eine zugfeste Faser mittig angeordnet ist.
9. Werkstoff nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass die zugfeste Faser Carbon ist oder enthält und die Fasern mit der höchsten Elastizität der Randschicht Glasfasern sind oder enthalten.
10. Werkstoff nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass das Werkstück Schichten aus Carbon verstärktem Kunststoff und glasfaserverstärkten Kunststoff aufweist.
11. Verwendung eines Werkstoffs nach einem der Ansprüche 5–10 für die Herstellung von Federelementen und/oder Tragflächen für Fahr- und Flugzeuge, Sportgeräten, von Ausgleichsfedern für Industrie-, Gewerbe- und Garagentore sowie Rolläden, von Federelementen und Strukturelementen in Fahr- und Flugzeugen, von Druckbehältnissen und von Stabilisatoren, (Antriebs-)wellen und/oder Tragwerken.
12. Werkstück enthaltend oder bestehend aus einem Werkstoff nach einem der Ansprüche 5–10.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

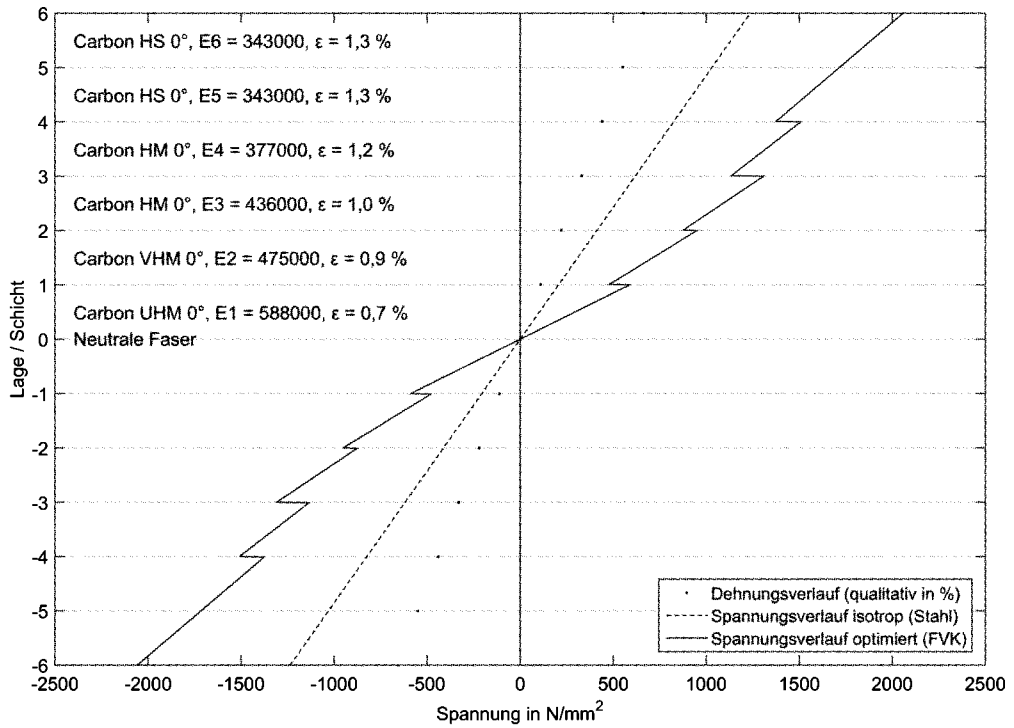
Anhängende Zeichnungen



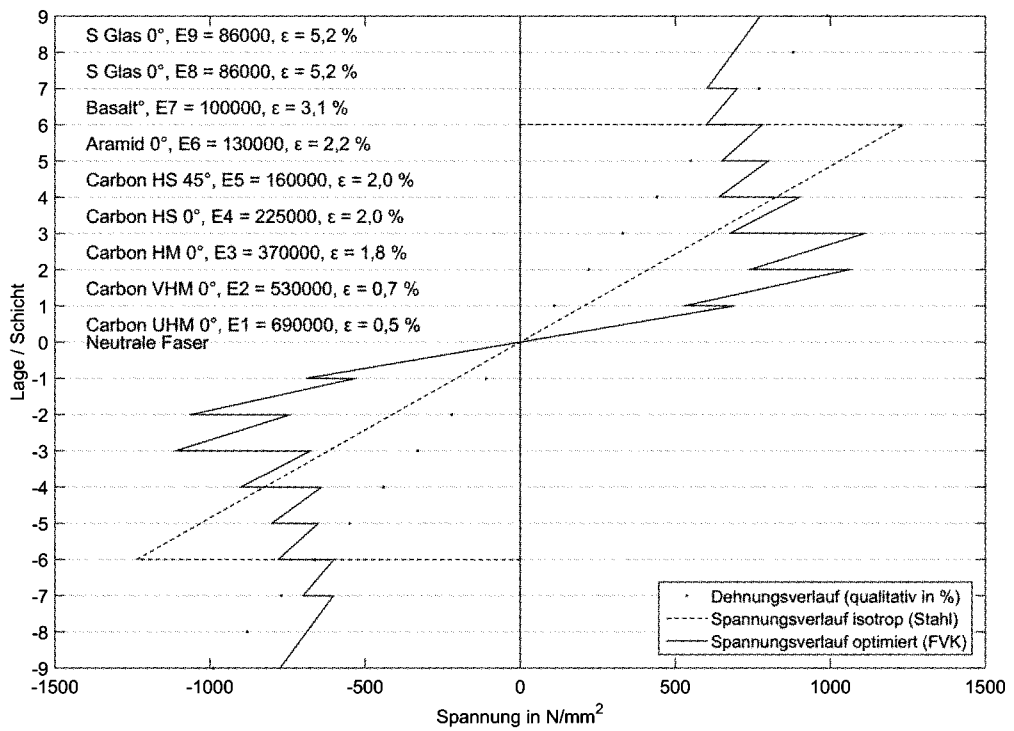
Figur 1



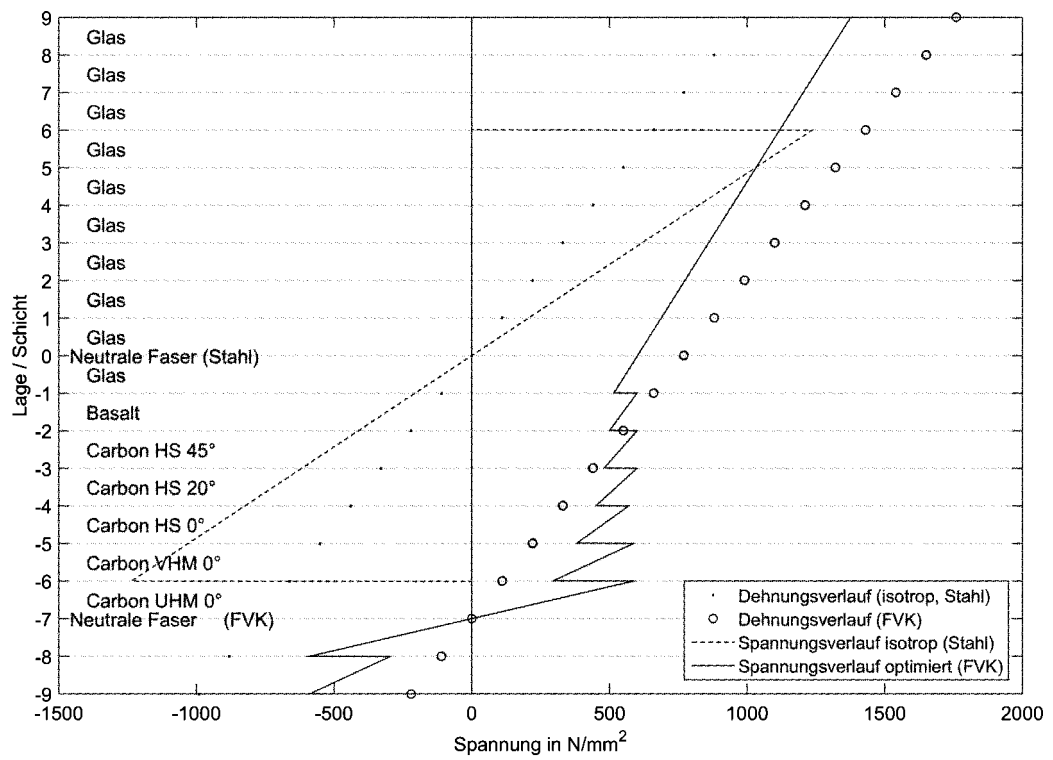
Figur 2



Figur 3



Figur 4



Figur 5