



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 598 807 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
23.11.2005 Patentblatt 2005/47

(51) Int Cl.7: **G10D 3/16**

(21) Anmeldenummer: **05010306.8**

(22) Anmeldetag: **12.05.2005**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR LV MK YU

(72) Erfinder:
• **Hanselka, Holger, Prof.-Ing.**
64297 Darmstadt (DE)
• **Schwen, Eduard**
29664 Walsrode (DE)

(30) Priorität: **19.05.2004 DE 102004024918**

(74) Vertreter: **Rösler, Uwe**
Rösler Patentanwaltskanzlei
Landsberger Strasse 480a
81241 München (DE)

(71) Anmelder: **Fraunhofer-Gesellschaft zur
Förderung der angewandten Forschung e.V.**
80686 München (DE)

(54) Streicherbogen für Streichinstrumente

(57) Beschrieben wird ein Streicherbogen für ein Streichinstrument mit einem wenigstens in Teilbereichen aus einem Faser verstärktem Verbundwerkstoff bestehenden Bogenstab, einem Bogenkopf, einem Frosch sowie einem zwischen Bogenkopf und Frosch einspannbaren Haarbündel.

Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass zumindest in Teilbereichen des aus Faser verstärktem Verbundwerkstoff bestehenden Bogenstabes wenigstens ein als Sensor und/oder als Aktor wirkender multifunktionaler Werkstoff vorgesehen ist.

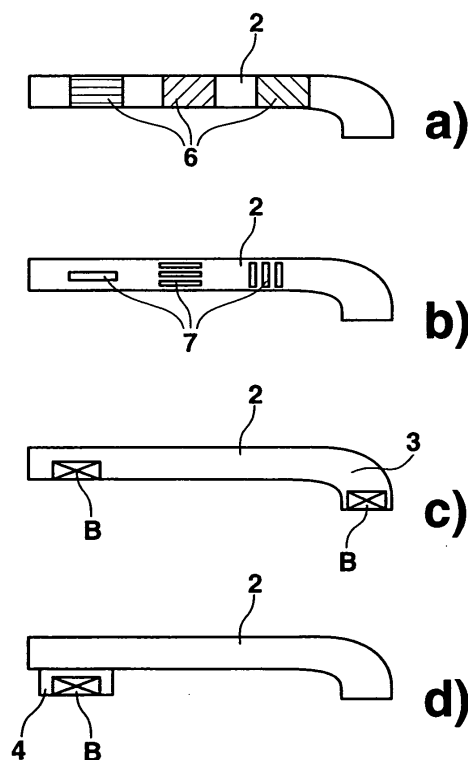


Fig. 2

EP 1 598 807 A2

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf einen Streicherbogen für ein Streichinstrument mit einem wenigstens in Teilbereichen aus Faser verstärktem Verbundwerkstoff bestehenden Bogenstab, einem Bogenkopf, einem Frosch sowie einem zwischen Bogenkopf und Frosch einspannbaren Haarbündel.

Stand der Technik

[0002] Hochwertige Streicherbögen für Violine, Bratsche, Cello, Kontrabaß sowie ähnlichen Streicherinstrumenten bestehen in aller Regel aus einer Bogenstange mit einem Bogenkopf sowie einem Frosch, der an der Bogenstange dem Bogenkopf gegenüberliegend angeordnet ist und über ein Spannmittel verfügt, das das am Bogenkopf fest eingespannte Haarbündel parallel zur Bogenstange einzuspannen vermag. Die vom jeweiligen Spieler subjektiv wahrnehmbaren Eigenschaften des Streicherbogens, bezüglich Steifigkeit, Schwingungsverhalten, Gewicht und letztlich das durch die Steifigkeit bedingte Dämpfungsvermögen hängt vornehmlich vom Material ab, aus dem der Streicherbogen gefertigt ist. In den meisten Fällen besteht der Bogenstab aus einer harten elastischen Holzart, die aus den brasilianischen Regenwäldern stammt und als Fernambuk-Holz bekannt geworden ist. Ein aus Fernambuk-Holz gefertigter Streicherbogen wird von den meisten Musikern als derjenige anerkannt, der allen Ansprüchen, die an einen Streicherbogen zu stellen sind, am besten entspricht, nicht zuletzt deswegen, weil ein derartiger Streicherbogen nicht nur den Forderungen nach Elastizität und Härte genügt, sondern auch spezifisch relativ leicht ist.

[0003] Aus Gründen einer abnehmenden Verfügbarkeit von Fernambuk-Holz und einem damit verbundenen erheblichen Preisanstieg sind eine Reihe alternativer Vorschläge bekannt geworden, Streicherbögen aus günstiger herstellbaren Materialien zu fertigen, beispielsweise aus Glas- oder Kohlestofffaserverbundwerkstoffen. Von besonderem Interesse beim Bau von Streicherbögen aus derartigen technischen Werkstoffen, im Unterschied zu Naturstoffen, ist die Möglichkeit der Herstellung von Streicherbögen mit exakt reproduzierbaren Spieleigenschaften, die im Wesentlichen durch eine bestimmte Biege- und Torsionssteifigkeit, ein damit verbundenes Dämpfungsvermögen und letztlich durch das Eigengewicht des Streicherbogens festgelegt werden.

[0004] In diesem Zusammenhang geht aus der DT-OS 14 97 823 ein Geigenbogen mit einem Bogenstab hervor, der im wesentlichen aus einem Glasfaser-Rohr besteht.

[0005] Aus der DT 25 47 663 B1 ist ein Geigenbogen bekannt, dessen Bogenstab ein als Armierung dienen-

des dünnwandiges Rohr vorsieht, das aus einem elastisch federndem, gehärtetem Nichteisenmetall gefertigt ist, das zudem mit einem aus Kunststoff bestehendem äußerem Mantel umgeben ist. Dieser hybride Aufbau ermöglicht Kostenersparnisse in der Herstellung sowie erhebliche Gewichtseinsparungen.

Ein weiteres Beispiel für einen aus faserverstärktem Verbundmaterial gefertigten Bogen für Streichinstrumente ist der österreichischen Patentschrift AT 37 456 B zu entnehmen, dessen Bogenkörper ist im Wesentlichen aus Harz gefertigt ist, der durch eine Vielzahl von Fasern unterschiedlicher Länge, die längs des Bogenstabes verlegt sind, verstärkt ist.

[0006] Allen bisher bekannten aus technischen Werkstoffen bestehenden Streicherbögen liegt das gemeinsame Ziel zugrunde, Spieleigenschaften im Streicherbogen zu vereinen, die einem als Ideal empfundenen, aus Naturholz bestehendem, vorzugsweise aus Fernambuk-Holz gefertigten Streicherbogen gleichkommen.

Da das subjektive Empfinden eines Spielers stark unterschiedlich ausgeprägt sein kann, bedarf es mit den bislang verfügbaren Streicherbögen einer zumeist langwierigen Auswahlprozedur bei der Auswahl eines individuell geeigneten Streicherbogens, darüber hinaus muss eine große Vielzahl unterschiedlich ausgebildeter Streicherbögen zur Verfügung gestellt werden, um einem Spieler eine individuelle Auswahlmöglichkeit zur Verfügung zu stellen. Überdies sind der Nachbildung von aus Naturhölzern gefertigten Streicherbögen unter Verwendung der vorstehend genannten technischen Materialien Grenzen gesetzt, zumal es nicht oder nur mit erheblich großem fertigungstechnischen Aufwand möglich ist, die durch die Holzstruktur vorgegebene, sich in unterschiedlichen Bereichen längs des Bogenstabes unterschiedlich stark ausbildende Steifigkeit und das damit verbundene Dämpfungsverhalten exakt nachzubilden.

Darstellung der Erfindung

[0007] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Streicherbogen für ein Streichinstrument mit einem wenigstens in Teilbereichen aus einem faserverstärkten Verbundwerkstoff bestehenden Bogenstab, einem Bogenkopf, einem Frosch sowie einem zwischen Bogenkopf und Frosch eingespannten Haarbündel derart auszubilden, dass die Spieleigenschaften des Streicherbogens möglichst individuell auf das subjektiv vom Spieler wahrnehmbare Empfinden eingestellt sind bzw. eingestellt werden können. Die Spieleigenschaften des Streicherbogens sollen insbesondere durch eine gezielte Wahl von Biege- und Torsionssteifigkeit längs des Bogenstabes einstellbar sein, durch die letztlich das Dämpfungsverhalten des gesamten Streicherbogens vorgebbar sind.

[0008] Ein weiterer Aspekt betrifft die Herstellung eines Streicherbogens, der individuell auf einen jeweili-

gen Spielertyp anpassbar sein soll. So ist es wünschenswert, in Abkehr von der bisher üblichen Vorgehensweise bei der Auswahl eines Streicherbogens durch einen Spieler durch Ausprobieren einer Vielzahl unterschiedlicher, vorgefertigter Streicherbögen, einen auf das Spielverhalten optimiert angepassten Streicherbogen zu fertigen, ohne dabei den bisher üblichen Aufwand, wie vorstehend beschrieben, betreiben zu müssen.

[0009] So gilt es die zur Herstellung eines individuell auf einen Spieler optimiert angepassten Streicherbogens erforderlichen Aufwendungen so gering wie möglich zu halten, so dass die damit verbundenen Kostenaufwendungen vergleichsweise niedrig sind. Der nach einem derartigen Verfahren herstellbare Streicherbogen soll zumindest unter weitgehendem Verzicht auf Edelhölzer, insbesondere unter Verzicht auf das hochpreisige Fernambuk-Holz auf Basis faserverstärkter Verbundwerkstoffe realisierbar sein, so dass auch eine Herstellung von hochqualitativen Streicherbögen im industriellen Maßstab möglich wird.

[0010] Die Lösung der der Erfindung zugrunde liegenden Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben, der einen Streicherbogen beschreibt, der auf individuelle Spielereigenschaften abstimmbare und einstellbar ist. Gegenstand des Anspruches 22 ist ein Verfahren unter Verwendung des erfindungsgemäßen Streicherbogens, mit dem es möglich wird Spieler individuelle Anforderungen an einen individuell zu optimierenden Streicherbogen quantitativ zu erfassen. In Kenntnis dieser die spieler-spezifischen Anforderungen an einen Streicherbogen repräsentierenden Messgrößen gibt Anspruch 23 ein Verfahren zur Herstellung eines Streicherbogens für ein Streichinstrument an. Letztlich bezieht sich Anspruch 29 auf einen an das individuelle Spielverhalten optimiert angepassten Streicherbogen, der mit verfahrenstechnisch günstigen und leicht beherrschbaren Materialien und Komponenten herstellbar ist.

[0011] Die dem erfindungsgemäßen Streicherbogen zugrunde liegende Idee geht von der Zielsetzung aus, einen Streicherbogen zu schaffen, dessen Spieleigenschaften in Bezug auf Steifigkeits- und Dämpfungseigenschaften auf die jeweils spieler-spezifischen Ansprüche optimiert abzustimmen sind. So verfügt der erfindungsgemäß ausgebildete Streicherbogen gemäß dem Oberbegriff des Anspruches 1 zumindest in Teilbereichen des aus faserverstärktem Verbundwerkstoff bestehenden Bogenstabes über wenigstens einen als Sensor und/oder als Aktor wirkenden multifunktionalen Werkstoff.

[0012] Der im oder an dem Bogenstab eingearbeitete bzw. angebrachte multifunktionale Werkstoff, auf den im Weiteren noch genauer eingegangen wird, vermag im Sinne eines Sensor die innerhalb des Bogenstabes auftretenden Verformungen zu erfassen und in physikalisch messbare Größen umzuwandeln. So erfasst der als Sensor arbeitende multifunktionale Werkstoff orts- und zeitaufgelöste Dehnungen bzw. Schwingungen

längs des Bogenstabes, die in einer geeigneten, vorzugsweise als Mikro-Chip ausgebildeten im Streicherbogen integrierten Auswerteeinheit ausgewertet und vorzugsweise gespeichert werden.

[0013] Mit Hilfe einer geeigneten, am Streicherbogen vorzusehenden Datenschnittstelle können die im Mikro-Chip abgespeicherten Daten ausgelesen und mit Hilfe einer entsprechenden Auswerte-Software analysiert werden, die zu Schulungs-, Ausbildungs-, Studien- sowie bei auch Optimierungszwecken bewertet werden können. In einer bevorzugten Ausführungsform sieht die vorzugsweise innerhalb des Streicherbogens integrierte Auswerteeinheit eine miniaturisierte Sendeeinheit vor, über die die aktuell erfassten, den Dehnungs- und/oder Steifigkeitszustand des Bogenstabes beschreibenden Messgrößen an eine getrennt von Streicherbogen vorgesehene Empfangsstation übertragen werden können. Mit Hilfe einer schnellen Datenverarbeitung wird eine Online-Datenauswertung möglich, die mit Hilfe einer geeigneten visuellen Darstellungseinheit der aktuell erfassten Messgrößen eine sofortige Spieleranalyse oder Spielkorrektur gestattet.

[0014] Neben der erwähnten Anwendungsmöglichkeit, die erfassten Messgrößen zu Schulungs-, Ausbildungs- und Studienzwecken zu verwenden, dienen die in der erfindungsgemäßen Weise sensoruell erfassten, die Spieldynamik des Bogens repräsentierenden Messgrößen dazu, die Spieleigenschaften des Streicherbogens quantitativ zu bewerten.

[0015] In einer bevorzugten Ausführungsform des Bogenstabes erstreckt sich der funktionale Werkstoff über große Bereiche des Bogenstabes, vorzugsweise über die gesamte Länge des Bogenstabes, um, wie vorstehend erwähnt, zeit- und orts aufgelöst das Dehnungs- und Schwingungsverhalten des Bogenstabes über seine gesamte Länge erfassen zu können. Empfindet ein Spieler das durch den faserverstärkten Verbundwerkstoff vorgegebene und durch den multifunktionalen Werkstoff bestimmte Steifigkeits- und Dämpfungsverhalten des Streicherbogens als ideal, so können die Spieleigenschaften des Bogenstabes im Wege der sensoruellen Erfassung als eine Art individueller Fingerabdruck des Bogenstabes quantitativ festgehalten werden. Wie im Weiteren ausgeführt wird, dient dieser Fingerabdruck als informelle Grundlage für die Fertigung eines Streicherbogens, der einerseits über optimierte Spieleigenschaften verfügt, andererseits kostengünstig herstellbar ist.

[0016] Neben der Möglichkeit der sensoruellen Erfassung von den Dehnungs- und Steifigkeitszustand des Bogenstabes beschreibenden Messgrößen ermöglicht der Einsatz des multifunktionalen Werkstoffes zugleich auch aktiv auf die Spieldynamik des Streicherbogens Einfluss zu nehmen. So vermögen multifunktionale Werkstoffe durch externe Energiezufuhr ihre Werkstoffsteifigkeit sowie auch Werkstoffform in geeigneter Weise zu verändern, wodurch letztlich das Steifigkeits- und Dämpfungsverhalten des Streicherbogens selbst

maßgeblich beeinflusst wird.

[0017] So ist es denkbar, den innerhalb des Bogenstabes integrierten multifunktionalen Werkstoff bzw. an den Bogenstab applizierten Werkstoff durch gezielte Energiezufuhr derart zu beeinflussen, dass das Verhältnis aus Biegesteifigkeit zu Torsionssteifigkeit des Bogenstabes in unterschiedlichen Abschnitten längs des Bogenstabes variabel einstellbar ist. Die Wahl des Verhältnisses aus Biege- zu Torsionssteifigkeit längs des Bogenstabes kann unter Maßgabe des individuellen Spielvermögens eines Spielers und dessen subjektive Wahrnehmung vorgenommen. Hierbei können durch geeignete Aktivierung des multifunktionalen Werkstoffes in unterschiedlichen Bereichen längs des Bogenstabes individuell auf die Bedürfnisse des jeweiligen Spielers abgestimmte Steifigkeits- und damit verbundene Dämpfungseigenschaften eingestellt werden.

[0018] Ist eine derartige Optimierung, die im Wege iterativer Veränderungsschritte bezüglich unterschiedlicher Steifigkeitseigenschaften längs des Streicherbogens vorzunehmen sind, abgeschlossen, so dient der als Akteur wirkende funktionelle Werkstoff zugleich als Sensor, der, wie eingangs erläutert, die den Dehnungs- und/oder Steifigkeitszustand des Bogenstabes beschreibende Messgrößen quantitativ erfasst, ohne dabei die im Wege der durchgeführten Optimierung geschaffene Steifigkeit längs des Bogenstabes zu beeinträchtigen. Die auf diese Weise gewonnenen Messgrößen werden, wie im weiteren noch zu beschrieben ist, als Grundlage für die Nachbildung eines aus faserverstärktem Verbundwerkstoff bestehenden Streicherbogens verwendet, der über exakt die gleichen Steifigkeits- und Dämpfungseigenschaften verfügt, wie jener Streicherbogen, der im vorstehend beschriebenen Optimierungsverfahren unter gezieltem Einsatz eines multifunktionalen Werkstoffes eingesetzt worden ist.

[0019] Neben der Möglichkeit des bloßen messtechnischen Erfassens der Spieldynamik eines an einen Spieler optimiert angepassten Streicherbogens kann der erfindungsgemäß ausgebildete Streicherbogen, dessen Bogenstab wenigstens einen multifunktionalen Werkstoff vorsieht, gezielt in seinem Steifigkeits- und Dämpfungsverhalten vom Spieler selbst in Abhängigkeit vom Temperament, einem zu spielendem Stück oder weiteren Gegebenheiten dynamisch gezielt eingestellt werden.

[0020] Der erfindungsgemäß ausgebildete Streicherbogen weist als multifunktionalen Werkstoff wenigstens einen der nachfolgenden Werkstoffklassen auf: Piezo-Keramik, Piezo-Polymer, elektrostriktive Keramik, elektroviskose Flüssigkeit, Polymergel, magnetostriktive Legierung, magnetoviskose Legierung, Formgedächtnislegierung oder Formgedächtnispolymer. In besonders vorteilhafter Weise eignen sich piezokeramische Werkstoffe, die durch äußere mechanische Krafteinwirkung deformierbar sind und im Wege von Ladungspolarisationen elektrische Spannungen zu generieren in der Lage sind, die messtechnisch erfassbar sind. In um-

gekehrter Weise kann durch externe Steuerung eines an einem piezo-keramischen Werkstoff anlegbare elektrische Spannung eine gezielte Deformation und eine damit verbundene Steifigkeit des multifunktionalen Werkstoffes erzielt werden. Derartige Werkstoffe sind hinlänglich bekannt und in den unterschiedlichsten Formen, beispielsweise in Faser-, Draht- oder Folienform verfügbar, so dass sie sowohl in den Gefügeverband eines faserverstärkten Verbundwerkstoffes implementierbar oder aber in Form geeigneter Ausbildungsformen, beispielsweise in Plättchenform (Patch) oder in Form eines schichtförmig ausgebildeten multifunktionalen Werkstoffstapels, der jeweils identische oder unterschiedliche Werkstoffschichten aufweist, an der Oberfläche des faserverstärkten Verbundwerkstoffes applizierbar sind.

[0021] Selbstverständlich eignen sich besonders vorteilhaft auch Formgedächtnismetalle bzw. -legierungen, so genannte SMA-Bauteile (Shape Memory Alloy), deren Form- und Steifigkeitsverhalten gleichsam den vorstehend beschriebenen piezo- und elektrostriktiven Materialien durch externe Energiezufuhr gezielt veränderbar sind. Andererseits ermöglichen derartige multifunktionale Werkstoffe auch eine rein passive Einflussnahme auf den Dehnungs- und/oder Steifigkeitszustand des Bogens im Wege eines adaptronischen Wirkprinzips, das auf der Grundlage der materialspezifischen Eigenschaften derartiger Materialien beruht. So vermögen insbesondere die vorstehend genannten SMA-Materialien ihre Form sowie ihre Materialsteifigkeit selbstständig durch entsprechende Deformation zu verändern. Wird beispielsweise ein Streicherbogen mechanisch besonders stark durch den Spieler belastet, so wirken auf den Streicherbogen erhöhte mechanische Kräfte, durch die der Streicherbogen gedehnt bzw. gebogen wird. Insbesondere in Spielabschnitten, die durch hohe mechanische Belastung des Streicherbogens charakterisiert sind, ist es für den Spieler wünschenswert, einen möglichst biege- und torsionssteifen Streicherbogen zu erhalten. Um dieser Forderung nachzukommen, vermag ein geeignet in den Bogenstab integrierter multifunktionaler Werkstoff, vorzugsweise SMA-Material, durch die im Wege der Spieldynamik auftretende mechanische Beeinflussung des Streicherbogens seine Eigensteifigkeit selbstständig zu erhöhen, wodurch die Biege- und Torsionssteifigkeit des gesamten Bogenstabes erhöht wird. Treten hingegen Spielabschnitte auf, in denen der Streicherbogen ruhig und ohne großen Anpressdruck gegen die entsprechenden Seiten des Streicherinstrumentes geführt wird, so ist ein möglichst "weicher" Streicherbogen wünschenswert. Da in diesem Fall der mit dem Bogenstab verbundene multifunktionale Werkstoff nicht oder nur in einem geringen Maße deformiert wird, nimmt dieser selbsttätig einen Zustand geringer Eigensteifigkeit ein.

[0022] Der vorstehend geschilderte Fall eines im Wege der Adaptronik eingesetzten multifunktionalen Werkstoffes gestattet zwar nicht unmittelbar eine aktive Ein-

flussnahme auf die Spieldynamik des Streicherbogens durch extern an den multifunktionalen Werkstoff anlegbare Steuersignale, ebenso wenig eine sensorielle Erfassung von Messgrößen; doch sind derartige multifunktionale Werkstoffe jederzeit mit geeigneten Steuer- und Auswerteeinheiten kombinierbar. Ein besonders geeigneter Werkstoff der sowohl passiv im Wege der Adaptronik als auch aktiv als Aktor und Sensorsystem eingesetzt werden kann, ist Blei-Zirkonat-Titanat (PZT), das sowohl in Faserform als auch in Schichtform als Patches oder Stapelaktoren ausgebildet werden kann.

[0023] Da die Spieldynamik eines Streicherbogens in entscheidendem Maße von dem Verhältnis aus Biege- und Torsionssteifigkeit längs des Bogenstabes bestimmt ist, gilt es, zur individuellen Beeinflussung eben jener Steifigkeiten den multifunktionalen Werkstoff in einer Weise in oder an den Bogenstab zu integrieren bzw. zu applizieren, so dass das Steifigkeitsverhalten des Bogenstabes sowohl in Längsrichtung als auch in Torsion gezielt beeinflussbar ist. Wird der multifunktionale Werkstoff als Fasermaterial ausgebildet und entsprechend am oder im Bogenstab eingesetzt, so lässt sich die Längssteifigkeit durch Verlegung der Faserrichtung parallel zur Längserstreckung des Bogenstabes effektiv beeinflussen. Soll hingegen die Torsionssteifigkeit des Bogenstabes gezielt verändert werden, so ist erfindungsgemäß erkannt worden, die den Verbundwerkstoff verstärkenden Fasern, insbesondere die aus multifunktionalen Werkstoffes bestehenden Fasern unter einem Winkel $\alpha \neq 0^\circ$ längs zur Längserstreckung des Bogenstabes anzuordnen. In besonders vorteilhafter Weise eignet sich ein Faserkreuzgewebe, dessen einzelne Fasern mit der Bogenstabslängsrichtung einen Winkel von $+\alpha$ bzw. $-\alpha$ einschließen. Als besonders vorteilhaft erweisen sich Winkel α von $0 < \alpha \leq \pm 30^\circ$, vorzugsweise Winkel α zwischen $\pm 5^\circ$ und $\pm 20^\circ$.

[0024] Je nach Spielverhalten des Spielers sind Bereiche längs des Bogenstabes mit unterschiedlichen Biege-/Torsionssteifigkeitsverhältnissen auszubilden, wobei Bereiche mit einer möglichst geringen Torsionssteifigkeit vorzugsweise parallel zur Bogenlängserstreckung orientierte Fasern, wohingegen Bereiche mit erhöhter Torsionssteifigkeit Fasern unter einem Winkel $\alpha \neq 0^\circ$ relativ zur Längserstreckung des Bogenstabes aufweisen.

[0025] Liegen Messgrößen für einen Streicherbogen vor, der auf das individuelle Spielverhalten eines Spielers optimiert ist, so lässt sich ein Streicherbogen für ein Streichinstrument unter Zugrundelegung der ermittelten Messgrößen derart nachbilden, dass der zumindest in Teilbereichen aus faserverstärktem Verbundwerkstoff bestehende Bogenstab Fasern aufweist, deren Faserlängserstreckung einen Winkel $\alpha \neq 0^\circ$ mit der Längserstreckung des Bogenstabes einschließen, wodurch das Verhältnis aus Torsions- und Biegefestigkeit des Streichbogens zumindest abschnittsweise bestimmt ist. Ein derartiger, unter Vorgabe eines optimierten Spielverhaltens nachgebildeter Streicherbogen weist nicht

notwendigerweise einen multifunktionalen Werkstoff auf, wie ein Streicherbogen, der zur Ermittlung eines optimierten Streicherbogens erforderlich ist, sondern sieht vorzugsweise Fasern vor, die als Glas-, Kohlenstoff-, Natur- oder Synthetikfasern ausgebildet sein können. Selbstverständlich können auch zusätzlich multifunktionale Fasern eingesetzt werden, die vorzugsweise auf den Wirkprinzipien der Adaptronik ihr Form- und Festigkeitsverhalten zu ändern vermögen.

[0026] Durch die gezielte Orientierung einzelner Fasern längs des Bogenstabes lässt sich somit ein genau einstellbares Verhältnis zwischen Längs- und Torsionssteifigkeit abschnittsweise einstellen, so dass eine definierte Charakteristik des Streicherbogens reproduzierbar einstellbar ist. Mit der Steifigkeit des Bogenstabes einher geht auch die Dämpfung des faserverstärkten Verbundwerkstoffes, die somit ebenfalls von der Faserverlegerichtung abhängt. Mit Hilfe eines vorstehend beschriebenen Streicherbogens ist eine spieler-spezifische Gesamtcharakteristik unter Zugrundelegung der Faktoren Biege-, Längs- und Torsionssteifigkeit sowie den damit verbundenen Schwingungsdämpfungen gezielt einstellbar.

[0027] Auch ermöglicht eine Kombination verschiedener Fasertypen innerhalb des Bogenstabes über zusätzliche Gestaltungsparameter. Während beispielsweise hochsteife Kohlenstofffasern einen entsprechenden effektiven Beitrag zur Steifigkeit des Systems erzielen, liefern sehr leichte Naturfasern einen wirkungsvollen Beitrag zur Dämpfung des Bogenstabes.

[0028] Zur Herstellung eines im Hinblick auf das Spielverhalten optimierten Streicherbogens, dessen Bogenstab vorzugsweise vollständig aus einem faserverstärkten Verbundwerkstoff besteht, eignen sich in Abhängigkeit eines aus Fasern und Verbundmaterial bestehenden Matrixsystems unterschiedliche, an sich bekannte Herstellungsverfahren. Besonders eignen sich Injektions- und Presstechniken, in denen duroplastische Harze als Matrixmaterial verarbeitet werden. Derartige Verfahren betreffen beispielsweise Autoklavverfahren, RTM-Verfahren, DP-RTM-Verfahren sowie diverse Vakuumtechniken. Für die Verarbeitung thermoplastischer Polymere als Matrixmaterialien kommen Verfahren wie die Putru sion sowie Heisspresstechniken zum Einsatz. Derartige Verfahren ermöglichen ebenso die Verarbeitung von so genannten Biopolymeren als mögliches Verbundmaterial, in das geeignet gewählte Fasern nach einem geeignet festgelegten Verlegeplan eingearbeitet werden können.

Kurze Beschreibung der Erfindung

[0029] Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen exemplarisch beschrieben. Es zeigen:

- Fig. 1 schematisierte Darstellung eines Streicherbogens,
- Fig. 2a, b Anordnungen von Bereichen multifunktionalen Werkstoffes längs des Bogenstabes,
- Fig. 2a, b alternative Ausführungsformen für die Unterbringung von Steuer- und Auswerteeinheiten innerhalb des Streicherbogens
- Fig. 3 a-c alternative Ausführungsformen von multifunktionalen Werkstoffen in Form von Aktoren und Sensoren,
- Fig. 4 Detaildarstellung eines Aktor/Sensorsystems,
- Fig. 5 Ausbildung eines Streicherbogens mit unterschiedlich angebrachten Sensoren,
- Fig. 6 Streicherbogen mit elektrischen Schwingungsdämpfungsgliedern,
- Fig. 7a,b Bogenstab mit unterschiedlich eingearbeiteten Faser,
- Fig. 8 Bogenstab mit Bereichen unterschiedlicher Biege- und Torsionssteifigkeit.

Wege zur Ausführung der Erfindung, gewerbliche Verwendbarkeit

[0030] In Fig. 1 ist ein stark schematisierter Streicherbogen 1 dargestellt, der ein Bogenstab 2, einen Bogenkopf 3 und einen Frosch 4 aufweist, der zugleich auch als Handgriff für den Streicherbogen 1 dient. Zwischen Bogenkopf 3 und Frosch 4 ist ein Haarbündel 5 gespannt, das über ein am Frosch 4 vorgesehenes Spannmittel (nicht dargestellt) spannbar ist. Der vorzugsweise vollständig aus faserverstärktem Verbundwerkstoff bestehende Bogenstab 2 weist Bereiche auf, in denen multifunktionaler Werkstoff eingearbeitet und/oder auf den Bogenstab appliziert ist. Je nach Ausführungsform des multifunktionalen Werkstoffes kann dieser faser-, draht- oder folienartig ausgebildet sein.

[0031] In Fig. 2a sind jeweils drei getrennt voneinander angeordnete Bereiche längs des Bogenstabes 2 vorgesehen, in denen ein faserartig ausgebildeter multifunktionaler Werkstoff 6 appliziert ist. Es sei angenommen, dass der multifunktionale Werkstoff in der in Fig. 2a gezeigten Ausführungsform faserartig ausgebildet ist. Die unterschiedliche Schraffur in den Bereichen 6 soll jeweils die Faserrichtung der verlegten Werkstofffasern repräsentieren. Die multifunktionalen Werkstofffasern 6 können entweder oberflächlich auf dem Bogenstab 2 aufgebracht oder im Inneren des faserverstärkten Verbundwerkstoffes längs des Bogenstabes 2 integriert

sein. Die jeweilige Faserorientierung richtet sich nach dem gewünschten Verhältnis aus Biegezu Torsionssteifigkeit. Eine Faseranordnung parallel zur Bogenstablängsrichtung verbessert die Biegesteifigkeit (siehe linkes Fasernfeld), eine Faseranordnung schräg zur Bogenstablängsrichtung verbessert hingegen die Torsionssteifigkeit des Bogenstabes (siehe das mittlere und rechte Fasernfeld)

[0032] Auch ist gemäß Ausführungsbeispiel in Figur 2b die Ausbildung des multifunktionalen Werkstoffes in Folienform möglich. Derartige auch als Patches 7 bezeichnete rechteckförmige Werkstofffolien können mit unterschiedlichen Orientierungen an die Bogenstaboberfläche appliziert werden, wie in Fig. 2b dargestellt.

[0033] Die in den Fig. 2a bis 2b dargestellten multifunktionalen Werkstoffanordnungen, die als Fasern 6 oder Patches 7 ausgebildet sind, dienen je nach Einsatzzweck als Sensoren oder Aktoren. Im Falle einer Aktorwirkung vermögen beispielsweise aus PZT-Material gefertigte Fasern durch Anlegen eines äußeren elektrischen Feldes ihre Form- und Längssteifigkeit zu verändern, wodurch letztlich Einfluss auf das Steifigkeitsverhalten des Bogenstabes 2 genommen wird. Gilt es hingegen das aktuelle Schwingungs- und Dehnungsverhalten des Bogenstabes zu erfassen, so ist eine entsprechende Auswerteeinheit vorzusehen, um die durch Dehnungsänderungen der PTZ-Fasern hervorgerufene elektrische Spannung in aussagekräftige Messgrößen umzuwandeln.

[0034] Alle für den Aktor und den Sensorbetrieb erforderlichen Komponenten sind in vorteilhafter Weise im Streicherbogen selbst zu integrieren, um die Spieldynamik des Streicherbogens nicht zu beeinträchtigen. In den Figur 2 c und d sind bevorzugte Bereiche B im Streicherbogen 1 markiert, die sich für eine Implementierung geeigneter Komponenten, wie eine Steuereinheit zur Ansteuerung des multifunktionalen Werkstoffes im Aktorbetrieb oder eine Auswerteeinheit 9 für einen Sensorbetrieb, eignen.

[0035] So ist bspw. zur gezielten elektrischen Energieversorgung des multifunktionalen Werkstoffes eine mikroelektronisch ausgebildete Steuereinheit entweder innerhalb des Bogenstabes 2 oder im Bogenkopf 3 integriert (Fig., 2c) Eine alternative Variante sieht die Integration bspw. der Steuereinheit innerhalb des Frosches 4 vor (siehe Fig. 2d). Weitere für den Aktor und Sensorbetrieb erforderliche oder optional vorzusehende Komponenten wie Batterie, Speichereinheit, Sendeeinheit etc. können in geeignet miniaturisierter Ausbildung an den angegebenen Bereichen B im Streicherbogen 1 integriert werden.

[0036] In einer vorteilhaften Ausführungsform eignet sich der multifunktionale Werkstoff PZT, d.h. $PB(Zr, Ti)O_3$, der sowohl in Patch-Form, als auch in Faser-Form ausgebildet werden kann. Zur elektrischen Versorgung eines in Figur 3a dargestellten PZT-Patches 7 dienen so genannte Interdigitalelektroden 8, über die der PZT-Patch 7 bei geringem Kontaktwiderstand mit einer

Steuerspannung U versorgt werden kann. Im Falle des Sensorwirkprinzips kann gleichfalls die durch Deformation des PZT-Patches generierte Spannung U über die Interdigitalelektroden 8 abgegriffen werden.

[0037] Fig. 3b zeigt demgegenüber so genannte PZT-Fasern 9, die als Parall-Faserverbund angeordnet sind. Zur Ansteuerung der PZT-Faser 9 dienen gleichfalls zwei als Interdigitalelektroden ausgebildete Steuerelektroden 9. Das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 2d zeigt in einer Matrix 10, bspw. eine Harz-Matrix, integrierte multifunktionale PZT-Fasern 9 und verdeutlicht die Integrationsfähigkeit der Fasern 9, so insbesondere in den aus faserverstärktem Verbundwerkstoff bestehenden Bogenstab 2 eines Streicherbogens.

[0038] In Fig. 4 ist gemäß Detaildarstellung ein als Patch 7 ausgebildeter multifunktionaler Werkstoff innerhalb des Bogenstabes 2 integriert, der sowohl als Sensor als auch als Aktor betreibbar ist und über zwei Verbindungsleitungen 11 in geeigneter Weise mit Steuer- bzw. Auswerteeinheit 12 verbunden ist. Der aus multifunktionalem Werkstoff bestehende Patch 7 ist innerhalb des faserverstärkten Matrixverbundes 10 vorgesehen, der beispielsweise in an sich bekannter Form von Natur-, Kohlenstoff-, Glas- oder Synthetikfasern verstärkt ist. Ebenso denkbar ist die Ausbildung des multifunktionalen Werkstoffes in Faserform, so dass der faserverstärkte Verbundwerkstoff 10 zusätzlich von aus multifunktionalem Werkstoff bestehenden Fasern durchsetzt ist. In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform kann der gesamte Faseranteil des faserverstärkten Verbundwerkstoffes aus multifunktionalem Werkstoff bestehen.

[0039] In Fig. 5 ist in stark schematisierter Darstellung ein Bogenstab 2 mit Bogenkopf 3 dargestellt, längs dessen Bogenstab so genannte aus multifunktionalem Werkstoff bestehende Stapelaktoren 13 integriert sind, die aktiv das Steifigkeitsverhalten des Bogenstabes 2 zu beeinflussen vermögen. Längs des Bogenstabes 2 sind darüber hinaus konventionelle Dehnungsmessstreifen 14 vorgesehen, durch die das Dehnungs- und Schwingungsverhalten und letztlich das Dämpfungsverhalten des Bogenstabes 2 erfassbar ist.

[0040] Zur gezielten Schwingungsdämpfung des Bogenstabes 2 sieht ein Ausführungsbeispiel gemäß Figur 6 die Kombination eines am oder im Bogenstab vorgesehenen multifunktionalen Werkstoffes, bspw. in Form einer PZT-Faser 9, mit wenigstens einem ohmschen Widerstand R vor. Die im multifunktionalen Werkstoff gespeicherte bzw. generierte elektrische Energie fließt über den Widerstand R ab und wird in thermische Energie umgewandelt, die letztlich dissipiert. Auf diese Weise lassen sich aktive Dämpfungsmaßnahmen durch die Wahl bspw. des elektrischen Widerstandes vornehmen. In Figur 6 sind mehrere alternative Schaltungsvarianten dargestellt, in denen die PZT-Faser in ihren elektrischen Eigenschaften als Kondensator C beschreibbar ist. Die einfachste Schaltungsvariante sieht eine Reihenschaltung aus C und R vor. Eine ebenso denkbare

Variante ist die Parallelschaltung des Kondensators C mit einer Induktivität L , wobei die Parallelschaltung in Serie mit einem ohmschen Widerstand R geschaltet ist. In allen Fällen kann durch geeignete Wahl von Widerstand R , Induktivität L und/oder Kapazität C ein gewünschtes Dämpfungsverhalten, d.h. in eine gezielte Energieumwandlung elektrischer Energie in Wärmeenergie eingestellt werden. Hierzu bedarf es keinerlei aktiver Steuer- oder Auswerteeinheiten innerhalb des Bogenstabes 2.

[0041] Zur Untersuchung des dynamischen Spielverhaltens eines Streicherbogens und letztlich zur Bestimmung eines an einen Spieler optimal anzupassenden Streicherbogens im Hinblick auf Steifigkeits- und Dämpfungsverhaltens bedarf es der Bestückung des Streicherbogens mit wenigstens einem als Sensor arbeitenden multifunktionalen Werkstoffes, der mit einer vorzugsweise innerhalb des Bogenstabes 2, des Bogenkopfes 3 oder des Frosches 4 integrierten Auswerteeinheit verbunden ist, in der den Dehnungs- und Schwingungszustand beschreibende Messgrößen generiert und vorzugsweise abspeicherbar sind. Gilt es, ein vom Spieler gewünschtes Verhältnis zwischen Biege- und Torsionssteifigkeit längs des Bogenstabes 2 zu bestimmen, so ist der als Aktor dienende multifunktionale Werkstoff mit entsprechenden Steuersignalen zu beaufschlagen, durch die der Werkstoff seine Form sowie seine Werkstoffsteifigkeit zu verändern vermag. Die zu Sensorzwecken sowie auch zu Aktorzwecken erforderlichen elektronischen Komponenten, wie beispielsweise Regelkreis, Energieversorgungseinheit, Leistungselektronik, Speichermedien sowie auch eine Datenschnittstelle, sind in Form einer mikroelektronischen Baueinheit, vorzugsweise in Form eines Mikro-Chips in der Bogenstange vorzusehen.

[0042] In einer bevorzugten Ausführungsform sieht die im Streicherbogen integrierte Mikroelektronikeinheit eine Sendeeinheit vor, über die die aktuell erfassten Messgrößen an eine extern zum Streicherbogen vorgesehene Empfangseinheit übertragen werden können, die im weiteren in geeigneter Weise dargestellt und ausgewertet werden können. Auch ist es möglich und denkbar, dass von einer externen Sendeeinheit Steuersignale an die im Streicherbogen integrierte Mikroelektronikeinheit übertragbar sind, durch die der als Aktor dienende multifunktionale Werkstoff bezüglich seiner Steifigkeit und Form manipulierbar ist, so dass auch während des Spielens mit dem Streicherbogen ein gezieltes Steifigkeits- und Dämpfungsverhalten des Streicherbogens eingestellt werden kann. Durch die Kombination eines in traditioneller Form gefertigten Streicherbogens mit einem aus faserverstärkten Verbundwerkstoffen gefertigten Bogenstabes mit einem als Sensor- und/oder Aktorsystem dienenden multifunktionalen Werkstoff, der über eine integrierte Intelligenz im Rahmen eines Regelkreises und mit einer geeigneten Schnittstelle vorgesehene Daten-Chips verbunden ist, kann ein vollkommen neuartiges Produkt zur Verfügung gestellt werden, mit

dem in Kombination mit geeigneter Anwendungssoftware dem Streichinstrumentenspiel vollkommen neue Möglichkeiten geboten wird.

[0043] Darüber hinaus eröffnet der mit einem multifunktionalen Werkstoff ausgerüstete Streicherbogen durch die quantitative Erfassung des Steifigkeits- sowie Dämpfungsverhaltens eines an einen Spieler optimiert angepassten Streicherbogens die Möglichkeit für eine kostengünstige Nachbildung eines derartigen Streicherbogens. In Kenntnis der quantitativ erfassten Steifigkeits- und Dämpfungseigenschaften eines so genannten "Masterbogens" lässt sich durch eine spezielle Verlegetechnik, mit der die Fasern in den Verbundwerkstoff zur Ausbildung des Bogenstabes eingebracht werden, eine exakte Nachbildung des Masterbogens schaffen.

[0044] Hierzu werden die Fasern unter bestimmten Winkeln längs zur Erstreckung des Bogenstabes angeordnet, um abschnittsweise längs des Bogenstabes individuell vorgegebene Verhältnisse aus Biegesteifigkeit zu Torsionssteifigkeit exakt einstellen bzw. nachbilden zu können. Nicht notwendigerweise ist die Verwendung von Fasern aus multifunktionalem Werkstoff erforderlich, vielmehr können konventionelle Fasern, so beispielsweise Kohlefasern, Aramitfasern, Naturfasern, Synthetikfasern, Glasfasern, um nur einige zu nennen, eingesetzt werden. So lässt sich das Steifigkeits- und Dämpfungsverhalten längs des Bogenstabes durch geeignete Wahl der Verlegerichtung, des Fasermaterials sowie des Volumens, aus dem die einzelnen Fasern bestehen, gezielt einstellen.

[0045] Es zeigt sich bspw., dass gemäß Bilddarstellung in Fig. 7a bei einer Faserorientierung, die unidirektional in Längsrichtung des Bogenstabes 2 orientiert ist (siehe Bereich A), eine um den Faktor 3 geringere Dämpfung d vorhanden ist, als im Falle B mit einer Faseranordnung, die in Kreuzverlegetechnik vorgenommen worden ist, bei der die einzelnen Fasern mit der Bogenstablängsachse einen Winkel von $\pm 7,5^\circ$ einschließen. In gleicher Weise vermag eine gezielte Mischung von Fasern, bestehend jeweils aus unterschiedlichen Fasertypen, die Steifigkeit des Bogenstabes 2 und damit verbunden die Dämpfung zu beeinflussen. So weist eine unidirektional orientierte Faseranordnung, beispielsweise bestehend aus Aramit-, Natur- oder Synthetikfasern, die zusätzlich Kohlenstofffasern vorsieht eine höhere Dämpfung auf, als beispielsweise eine ausschließlich aus Naturfasern bestehende Faseranordnung. Einen ähnlichen Einfluss auf das Dämpfungsverhalten kann erzielt werden, wenn unter einem bestimmten Winkel angeordnete Fasern mit Fasern eines anderen Fasertypus gemischt werden. Im Fallbeispiel gemäß Fig. 7bc sind beispielsweise in Kreuzstellung verlegte Naturfasern N zusätzlich mit Kohlenstofffasern K vermischt, wodurch die Dämpfungseigenschaften verbessert werden.

[0046] Wie bereits vorstehend mehrfach erwähnt, ist es möglich, über gezielte Kreuzstellung der Fasern

längs zur Bogenstablängserstreckung die Torsionssteifigkeit der Bogenstange wenigstens abschnittsweise gezielt einzustellen bzw. zu variieren. Da der Streicherbogen insbesondere beim Violinspiel vorwiegend durch einen angekanteten Aufsatz des in aller Regel zu einem Band zusammengefassten Haarbündels auf einer Instrumentensaite erfolgt, erfährt der Geigenbogen eine beträchtliche Torsionsbelastung, neben der in Längsrichtung auf den Geigenbogen einwirkenden Biegebeanspruchung. Da klassische, aus Holz gefertigte Streicherbögen in aller Regel keine allzu große Torsionssteifigkeit aufweisen, zumal alle Holzfasern in Richtung der Längserstreckung der Bogenstange verlaufen, sind auch aus Fernambuk-Holz gefertigte Geigenbögen wenig torsionssteif. Wird hingegen die Bogenstange eines Streicherbogens aus einem faserverstärkten Verbundwerkstoff gefertigt, dessen Faserorientierung zur Längsrichtung der Bogenstange geneigt ist, so weist der Bogenstab eine gegenüber herkömmlichen Bögen höhere Torsionssteifigkeit auf.

[0047] Das Ausführungsbeispiel in Fig. 8 zeigt einen schematisiert dargestellten Bogenstab 2, der drei Bereiche aufweist I, II, III, in denen durch geeignete Wahl des Verlegewinkels α unterschiedliche Verhältnisse aus Biegesteifigkeit zu Torsionssteifigkeit eingestellt sind. So zeigt es sich beispielsweise für einen Spieler A, dass im froschnahen Bereich I der Bogenstange 2 eine erhöhte Torsionssteifigkeit als geeignet erscheint, die durch einen Verlegewinkel α von $\pm 10^\circ$ zu erzielen ist. Im mittleren Bereich II des Bogenstabes 2 gilt es hingegen eine hohe Biegesteifigkeit einzustellen, die durch den Verlegewinkel α von 0° erzielbar ist. Schließlich verfügt der Bogenstab 2 im Kopfbereich III wiederum über eine hohe Torsionssteifigkeit, die durch einen Verlegewinkel α von $\pm 10^\circ$ erreichbar ist. Dem gegenüber bevorzugt ein Spieler B im Froschbereich I der Bogenstange 2 eine etwas geringere Torsionssteifigkeit, die durch einen Verlegewinkel α von $\pm 8^\circ$ erzielbar ist. Im Mittelbereich II hingegen führt ein Verlegewinkel von $\pm 1^\circ$ zu einer erhöhten Biegesteifigkeit, die jedoch geringer ist, als im Falle des Spielers A. Schließlich ist für den Spieler B im Kopfbereich III der Bogenstange 2 eine sehr hohe Torsionssteifigkeit erwünscht, die durch einen Verlegewinkel von $\pm 15^\circ$ erzielbar ist.

[0048] Zusätzlich zu der vorstehend dargelegten Einstellmöglichkeit des Verhältnisses aus Biege- zu Torsionssteifigkeit über die geeignete Wahl des Verlegewinkels α eignen sich auch die geeignete Wahl unterschiedlicher Fasertypen sowie Faservolumenanteilen in Relation zu dem die Fasern umgebenden Matrixmaterial.

Bezugszeichenliste

[0049]

1 Streicherbogen

- 2 Bogenstab
- 3 Bogenkopf
- 4 Frosch
- 5 Haarbündel
- 6 Multifunktionaler Werkstoff
- 7 Patch
- 8 Interdigitalelektroden
- 9 Fasern
- 10 Matrixmaterial des Verbundwerkstoffes
- 11 Verbindungsleitungen
- 12 Auswerteeinheit- Steuereinheit
- 13 Stapelaktor
- 14 Dehnungsmessstreifen - DMS

Patentansprüche

- 1. Streicherbogen für ein Streichinstrument mit einem wenigstens in Teilbereichen aus einem Faser verstärktem Verbundwerkstoff bestehenden Bogenstab, einem Bogenkopf, einem Frosch sowie einem zwischen Bogenkopf und Frosch einspannbaren Haarbündel,
dadurch gekennzeichnet, dass zumindest in Teilbereichen des aus Faser verstärktem Verbundwerkstoff bestehenden Bogenstabes wenigstens ein als Sensor und/oder als Aktor wirkender multifunktionaler Werkstoff vorgesehen ist.
- 2. Streicherbogen nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass der multifunktionale Werkstoff aus wenigstens einer der nachfolgenden Werkstoffklassen besteht: Piezo-Keramik, Piezo-Polymer, elektrostriktive Keramik, elektroviskose Flüssigkeit, Polymergel, magnetostriktive Legierung, magnetoviskose Legierung, Formgedächtnislegierung (SMA=Shape Memory Alloy), Formgedächtnispolymer.
- 3. Streicherbogen nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass der multifunktionale Werkstoff in Faser-, Draht- oder Folienform ausgebildet ist.
- 4. Streicherbogen nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass der multifunktio-

nale Werkstoff schichtförmig, in Form eines Werkstoffstapels bestehend aus jeweils identischen oder unterschiedlichen Werkstoffschichten ausgebildet ist.

- 5. Streicherbogen nach Anspruch 3 oder 4,
dadurch gekennzeichnet, dass der multifunktionale Werkstoff als Blei-Zirkonat-Titan-Faser, so genannte PZT-Faser ($\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$), oder als PZT-Patch ausgebildet ist.
- 6. Streicherbogen nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, dass der multifunktionale Werkstoff in den faserverstärkten Verbundwerkstoff eingebettet oder außen an den Bogenstab im Bereich des faserverstärkten Verbundwerkstoffes appliziert ist.
- 7. Streicherbogen nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass der multifunktionale Werkstoff in Faserform ausgebildet ist und den Verbundwerkstoff faserverstärkt.
- 8. Streicherbogen nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass der multifunktionale Werkstoff in Folien- oder Stapelform ausgebildet ist und an der Außenkontur des Bogenstabes angebracht ist.
- 9. Streicherbogen nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, dass eine mit dem multifunktionalen Werkstoff verbundene Auswerteeinheit im Streicherbogen integriert ist, die innerhalb des Bogenstabes auftretende Verformungen in Form von Dehnungen und/oder Schwingungen orts- und/oder zeitaufgelöst erfasst. (SENSOR!)
- 10. Streicherbogen nach 9,
dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinheit in Form eines Mikrochips ausgebildet und im Frosch oder im Bogenstab integriert ist. (SENSOR!)
- 11. Streicherbogen nach Anspruch 9 oder 10,
dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinheit den Dehnungs- und/oder Steifigkeitszustand des Bogenstabes beschreibende Messgrößen generiert, abspeichert und/oder diese zur weiteren Auswertung und Darstellung an eine getrennt vom Streicherbogen vorgesehene Empfangsstation übermittelt. (SENSOR!)
- 12. Streicherbogen nach einem der Ansprüche 1 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, dass der multifunktionale Werkstoff mit einer Steuereinheit verbunden ist, die dem Werkstoff kontrolliert Energie zuführt, durch die der Werkstoff eine sich versteifende und/oder formverändernde Wirkung erfährt. (AKTOR)

13. Streicherbogen nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit im Bogenstab, Bogenkopf oder im Frosch integriert ist. (AKTOR)

14. Streicherbogen nach einem der Ansprüche 1 bis 13,
dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit wenigstens eine der folgenden Komponenten umfasst: elektrischer Regelkreis, Energieversorgungseinheit, Leistungselektronik, Speichermedium, Datenschnittstelle, Sendeeinheit. (AKTOR)

15. Streicherbogen nach einem der Ansprüche 1 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, dass der multifunktionale Werkstoff als selbstregelnde Struktur auf der Grundlage der Adaptronik arbeitet, d.h. der multifunktionale Werkstoff verändert seine Steifigkeit und/oder Form in Abhängigkeit des Dehnungs- und Schwingungszustandes des Bogenstabes.

16. Streicherbogen nach Anspruch 15,
dadurch gekennzeichnet, dass der multifunktionale Werkstoff aus der Gruppe nachfolgender Werkstoffe ausgewählt ist: Piezo-Keramiken, Piezo-Polymere, Elektrostriktive Keramiken, Elektroviskose Flüssigkeiten, Polymergele, und dass der multifunktionale Werkstoff mit einer wenigstens einen elektrischen Widerstand aufweisenden elektrischen Schaltungsanordnung, vorzugsweise in Form eines elektrischen Schwingkreises, verbunden ist.

17. Streicherbogen nach einem der Ansprüche 1 bis 16,
dadurch gekennzeichnet, dass der faserverstärkte Verbundwerkstoff Fasern vorsieht, die in Längsrichtung zum Bogenstab ausgerichtet sind und/oder Fasern vorsieht, die unter einem Winkel $\neq 0^\circ$ zur Längsrichtung des Bogenstabes angeordnet sind.

18. Streicherbogen nach einem der Ansprüche 1 bis 18,
dadurch gekennzeichnet, dass der Faser verstärkte Verbundwerkstoff Fasern von aus wenigstens zwei unterschiedlichen Fasertypen aufweist.

19. Streicherbogen nach Anspruch 18,
dadurch gekennzeichnet, dass folgende Fasertypen einsetzbar sind: Glas-, Kohlenstoff-, Natur-, Synthetik- oder multifunktionale Fasern, wie PZT oder SMA.

20. Verwendung des im oder am Streicherbogen nach einem der Ansprüche 1 bis 19 vorgesehenen multifunktionalen Werkstoffes als Sensor zur Gewinnung von Informationen über das Steifigkeits- und Dämpfungsverhalten des Streichbogens.

21. Verwendung des im oder am Streicherbogen nach

einem der Ansprüche 1 bis 19 vorgesehenen multifunktionalen Werkstoffes als Aktor zur einstellbaren Variation des Steifigkeits- und Dämpfungsverhaltens des Streicherbogens.

22. Verfahren zur Ermittlung eines nutzerspezifisch optimierten Streicherbogens durch gezieltes Einstellen des Steifigkeits- und Dämpfungsverhaltens des Streicherbogens, bei dem das Steifigkeits- und Dämpfungsverhalten des Streicherbogens unter Verwendung des im oder am Streicherbogen nach einem der Ansprüche 1 bis 8 und 12 bis 14 vorgesehenen als Aktor dienenden multifunktionalen Werkstoffes variiert wird und dass bei Erreichen eines nutzerspezifisch nach Steifigkeits- und Dämpfungseigenschaften optimierten Streicherbogens das Steifigkeits- und Dämpfungsverhalten des Streicherbogens unter Verwendung des im oder am Streichbogen nach einem der Ansprüche 1 bis 11 vorgesehenen als Sensor dienenden multifunktionalen Werkstoffes erfasst wird.

23. Verfahren zur Herstellung eines Streicherbogens für ein Streichinstrument mit einem wenigstens in Teilbereichen aus einem Faser verstärktem Verbundwerkstoff bestehenden Bogenstab, einem Bogenkopf, einem Frosch sowie einem zwischen Bogenkopf und Frosch einspannbaren Haarbündel, **gekennzeichnet** nach einem der folgenden Verfahrensschritte:

- Ermitteln des nutzerspezifisch optimierten Steifigkeits- und Dämpfungsverhaltens eines Streicherbogens nach einem Verfahren nach Anspruch 22,
- Nachbilden eines Bogenstabes unter Verwendung faserverstärkten Verbundwerkstoffes nach Maßgabe des nutzerspezifisch nach Steifigkeits- und Dämpfungseigenschaften optimierten Streicherbogens.

24. Verfahren nach Anspruch 23,
dadurch gekennzeichnet, dass bei der Nachbildung des nutzerspezifisch nach Steifigkeits- und Dämpfungseigenschaften optimierten Streicherbogens die Fasern des Verbundwerkstoffes in Abhängigkeit der erzielbaren Steifigkeits- und Dämpfungseigenschaften zumindest abschnittsweise in einem Winkel $\neq 0^\circ$ zur Längsgerstreckung des Bogenstabes verlegt werden.

25. Verfahren nach Anspruch 24,
dadurch gekennzeichnet, dass die Fasern zumindest abschnittsweise in Kreuzverlegetechnik längs des Bogenstabes angeordnet werden.

26. Verfahren nach Anspruch 25,
dadurch gekennzeichnet, dass die in Kreuzverle-

getechnik angeordneten Fasern einen Winkel $\pm\alpha$ zur Bogenstablängserstreckung einschließen, für den gilt: $0^\circ < \alpha \leq 35^\circ$.

27. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 26, 5
dadurch gekennzeichnet, dass das Verlegen der Fasern unter Berücksichtigung eines bestimmten Verhältnisses aus Torsions- und Biegesteifigkeit des Streicherbogens durchgeführt wird, 10
 dass für eine erhöhte Torsionssteifigkeit die Fasern zumindest abschnittsweise längs des Bogenstabes in Kreuzstellung und für eine erhöhte Biegesteifigkeit die Fasern zumindest abschnittsweise längs des Bogenstabes parallel zur Längserstreckung des Bogenstabes verlegt werden. 15

28. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 27,
dadurch gekennzeichnet, dass folgende Fasertypen einzeln oder in Kombination zum Verlegen längs des Bogenstabes verwendet werden: Glas-, 20
 Kohlenstoff-, Natur-, Synthetik- oder multifunktionale Fasern, wie PZT oder SMA.

29. Streicherbogen für ein Streichinstrument mit einem wenigstens in Teilbereichen aus einem Faser verstärktem Verbundwerkstoff bestehenden Bogenstab, einem Bogenkopf, einem Frosch sowie einem zwischen Bogenkopf und Frosch einspannbaren Haarbündel, 25
dadurch gekennzeichnet, dass der zumindest in Teilbereichen aus Faser verstärktem Verbundwerkstoff bestehende Bogenstab Fasern aufweist, deren Faserlängserstreckung einen Winkel $\alpha \neq 0^\circ$ mit der Längserstreckung des Bogenstabes einschließen, wodurch das Verhältnis aus Torsions- und Biegesteifigkeit des Streicherbogens zumindest abschnittsweise bestimmt ist. 30
 35

30. Streicherbogen nach Anspruch 29,
dadurch gekennzeichnet, dass der Bogenstab Bereiche mit hoher Biegesteifigkeit aufweist, in denen die Fasern im Wesentlichen parallel zur Längserstreckung des Bogenstabes verlaufen, und 40
 dass der Bogenstab Bereiche mit hoher Torsionssteifigkeit aufweist, in denen die Fasern in Kreuzstellung verlegt sind mit einem Winkel α von $\pm 1^\circ$ bis $\pm 35^\circ$, vorzugsweise von $\pm 5^\circ$ bis $\pm 20^\circ$. 45

31. Streicherbogen nach Anspruch 29 und 30,
dadurch gekennzeichnet, dass folgende Fasertypen einzeln oder in Kombination zum Verlegen längs des Bogenstabes verwendet werden: Glas-, 50
 Kohlenstoff-, Natur-, Synthetik- oder multifunktionale Fasern, wie PZT oder SMA. 55

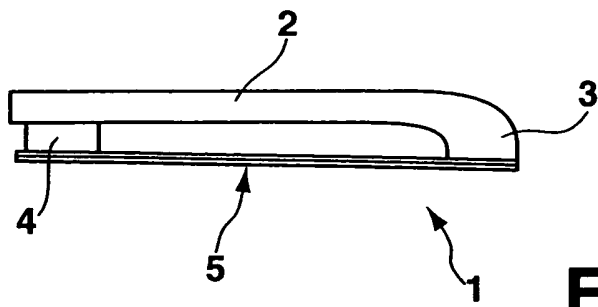


Fig. 1

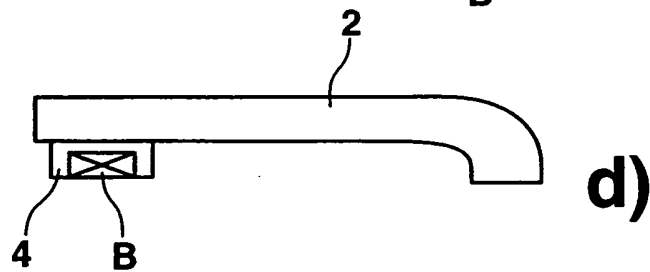
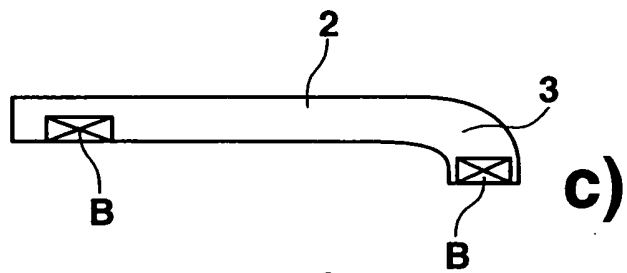
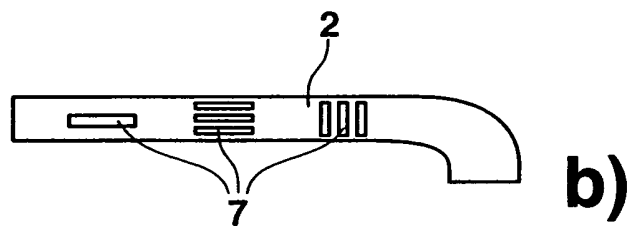
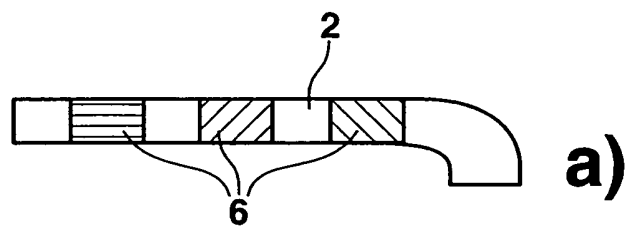


Fig. 2

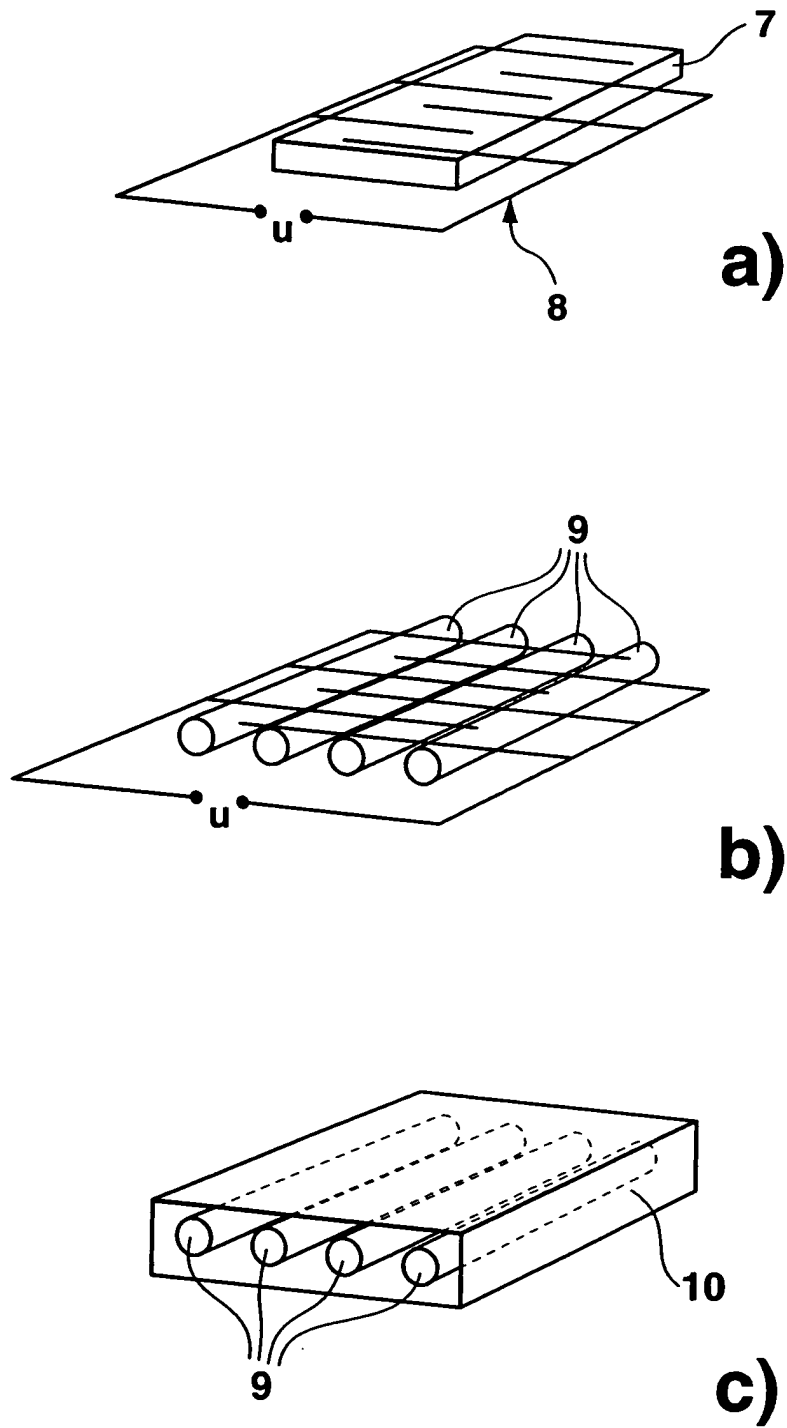


Fig. 3

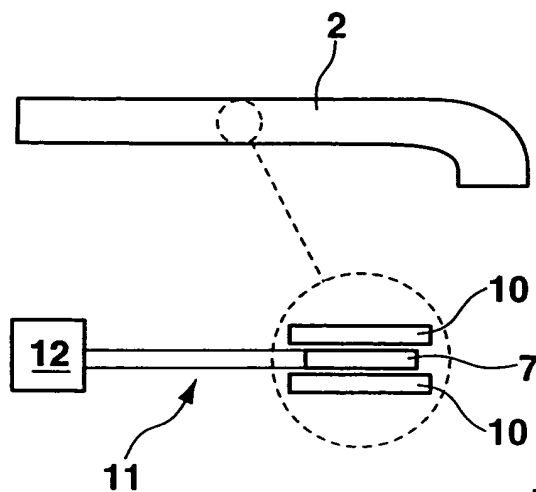


Fig. 4

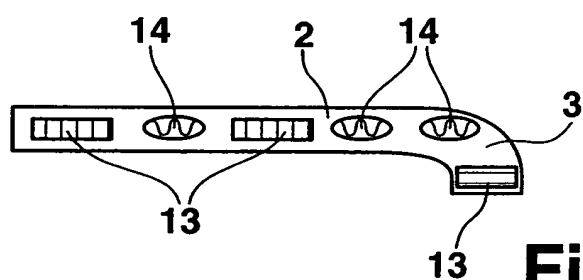


Fig. 5

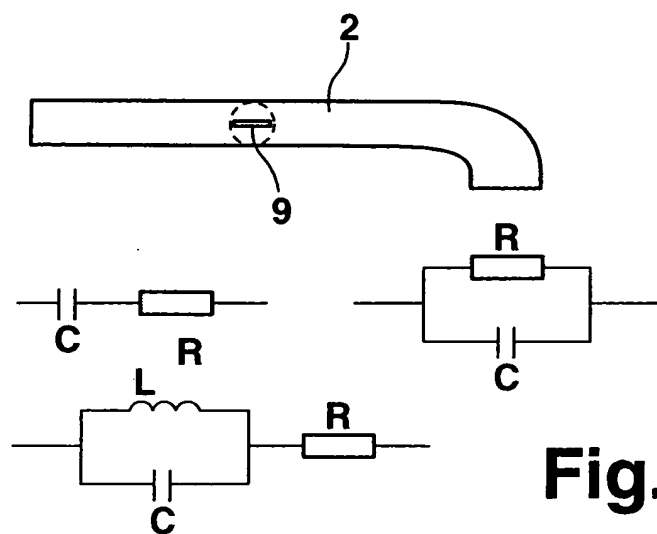


Fig. 6

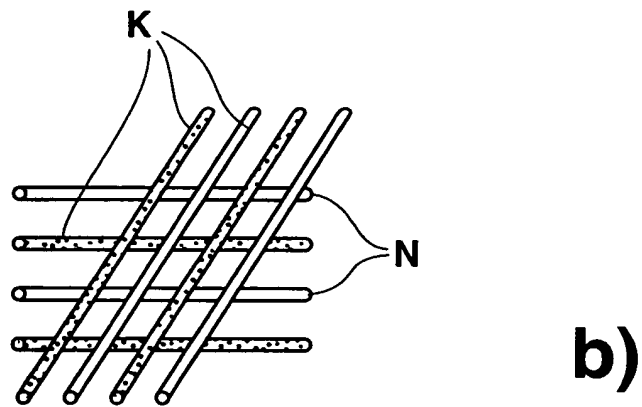
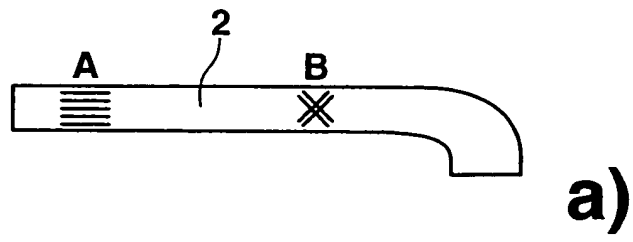


Fig. 7

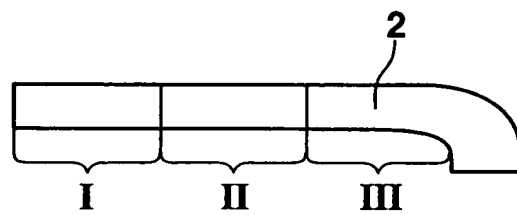


Fig. 8