



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 100 17 492 B4** 2007.05.24

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **100 17 492.2**
(22) Anmeldetag: **07.04.2000**
(43) Offenlegungstag: **31.10.2001**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **24.05.2007**

(51) Int Cl.⁸: **C09D 7/00** (2006.01)
C09D 7/12 (2006.01)
C08J 5/10 (2006.01)
C09D 5/25 (2006.01)
C09D 127/16 (2006.01)
C08J 5/18 (2006.01)
B32B 27/30 (2006.01)
B32B 27/32 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

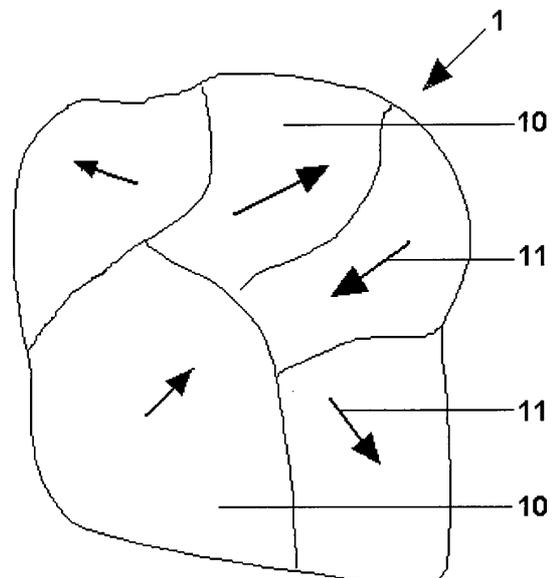
(73) Patentinhaber:
DaimlerChrysler AG, 70327 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
Ackermann, Volker, 70569 Stuttgart, DE; Hartweg, Martin, Dr., 89155 Erbach, DE; Michel, Josef, Dr., 89081 Ulm, DE; Roitzheim, Rolf-Dirc, Dr., 89160 Dornstadt, DE; Tomaschko, Silvia, Dr., 89075 Ulm, DE; Wang, Ping, Dr., 89075 Ulm, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
Makromol. Chem. Rapid Commun.12, S.657-661 [1991];

(54) Bezeichnung: **Beschichtung zur passiven Flächendämpfung von schwingenden Oberflächen von Bauteilen sowie Verfahren zur Herstellung der Beschichtung**

(57) Hauptanspruch: Beschichtung zur passiven Flächendämpfung von schwingenden Oberflächen von Bauteilen, mit granuliert- und/oder korn- und/oder plättchenförmigen Piezopartikeln, die zumindest zu 10 Vol-% in zumindest einem eine Matrix bildenden Polymer eingebettet sind, dadurch gekennzeichnet, daß der Anteil der Piezopartikel (1) an der Beschichtung (3, 3', 3'') ca. 10-80 Vol-% beträgt, und daß die Piezopartikel (1) für sich jeweils eine von Null verschiedene Polarisierung – im folgenden Partikelpolarisation (2) genannt – aufweisen.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Beschichtung zur passiven Flächendämpfung von schwingenden Oberflächen von Bauteilen, ein Halbzeug oder ein Gemenge zur Herstellung der Beschichtung sowie Verfahren zur Aufbringung der Beschichtung auf die Oberfläche von Bauteilen, gemäß den Oberbegriffen der Ansprüche 1, 17, 19 bzw. 21, wie sie u.a. aus dem gattungsbildenden zugrundegelegten Artikel "New damping materials composed of piezoelectric and electro-conductive, particalled polymer composites: effect of electromechanical coupling factor" von M. Sumita u.a., in Makromol. Chem. Rapid Commun. 12, 5.657-661 (1991) als bekannt hervorgeht.

[0002] Aus dem gattungsbildend zugrundegelegten Artikel ist eine Folie bekannt, bei der in einer Polymermatrix Piezopartikel aus einer Piezokeramik sowie als Leitmittel Graphit eingelagert ist. Gemäß dieser Veröffentlichung erfolgt hier eine Dämpfung von Schwingungen bei einem Graphitanteil zwischen ca. 5 und ca. 9 Vol-%. In diesem Bereich steigt gleichzeitig die elektrische Leitfähigkeit der Folie sehr stark an.

[0003] Die Aufgabe der Erfindung ist es, die vorbekannte Beschichtung dahingehend weiter zu entwickeln, daß eine Dämpfung von Schwingungen prinzipiell auch ohne Leitmittelzusätze stattfindet. Ferner ist es Aufgabe der Erfindung Ausgangsprodukte sowie Verfahren zur Herstellung der erfindungsgemäßen Beschichtung bereitzustellen.

[0004] Die Aufgabe wird durch eine Beschichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. der Ansprüche 17, 19 bzw. 21 gelöst. Trotz der gegenläufigen Erkenntnisse der zugrundegelegten Schrift ist es durch die Verwendung von vorpolarisierten Piezopartikeln, d.h. von Piezopartikeln, die bereits für sich eine Polarität aufweisen, möglich, ohne die Hinzunahme von Leitmittelzusätzen und insbesondere einer genau definierten Leitmittelmenge, eine Dämpfung zu erreichen.

[0005] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind den weiteren Ansprüchen entnehmbar. Im übrigen wird die Erfindung anhand von in den Beispielen und den nachfolgenden Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Dabei zeigt

[0006] [Fig. 1](#) ein Piezopartikel mit seinen Kristalldomänen ohne Vorzugspolarisation,

[0007] [Fig. 2](#) ein Piezopartikel mit seinen Kristallbezirke mit Vorzugspolarisation,

[0008] [Fig. 3](#) ein Bauteil, das mit einer eine Gesamtpolarität aufweisender Beschichtung versehen ist,

[0009] [Fig. 4](#) ein Bauteil, das mit einer keine Gesamtpolarität aufweisender Beschichtung versehen ist,

[0010] [Fig. 5](#) einen Querschnitt durch eine mehrlagige Beschichtung,

[0011] [Fig. 6](#) ein Diagramm des Verlustfaktors über der Frequenz einer mit einem und einer ohne einen äußeren ohmschen Widerstand beschalteten Probe,

[0012] [Fig. 7](#) ein Diagramm des Verlustfaktors über der Frequenz einer Probe und

[0013] [Fig. 8](#) ein weiteres Diagramm des Verlustfaktors über der Frequenz einer weiteren Probe,

[0014] [Fig. 9](#) ein Diagramm mit Resonanzkurven von Proben aus Beispiel 3 mit 41Vol% PZT-Gehalt, Probendicke 1,25mm,

[0015] [Fig. 10](#) ein Diagramm des Verlustfaktors über der Frequenz von Proben aus Beispiel 3 mit 41Vol% PZT-Gehalt, Probendicke 1,25mm,

[0016] [Fig. 11](#) ein Diagramm mit Resonanzkurven von Proben aus Beispiel 4 mit 21Vol% PZT-Gehalt, Probendicke 0,6mm und

[0017] [Fig. 12](#) ein Diagramm des Verlustfaktors über der Frequenz von Proben aus Beispiel 4 mit 21Vol% PZT-Gehalt, Probendicke 0,6mm.

[0018] In [Fig. 1](#) ist ein Piezopartikel **1** einer Piezokeramik dargestellt. Dieses sogenannte Piezopartikel **1** weist verschiedene Kristalldomänen **10** unterschiedlicher Domänenpolarisation **11** auf. Aufgrund der normal vorliegenden statistischen Verteilung der einzelnen Domänenpolarisationen **11** ist die (Partikel)Polarisation **2** des Piezopartikels **1**, also die Summe aller Domänenpolarisationen **11** des Piezopartikels **1**, gleich Null.

[0019] Wird ein Piezopartikel **1** gemäß [Fig. 1](#) einem elektrischen Feld ausgesetzt, richten sich – wie in [Fig. 2](#) dargestellt – die Domänenpolarisationen **11** entlang den elektrischen Feldlinien aus. Durch die Ausrichtung der einzelnen Domänenpolarisationen **11** der Piezopartikel **1** weist ein jedes Piezopartikel **1** anschließend eine von Null verschiedene Partikelpolarisation **2** auf. Die Ausrichtung der Domänenpolarisationen **11** und damit die Partikelpolarisation **2** ist bis zur Sättigungsfeldstärke umso höher, je stärker das ausrichtende E-Feld ist.

[0020] In [Fig. 3](#) ist ein Substrat **9** dargestellt, das mit einer erfindungsgemäßen Beschichtung **3** versehen ist. Das Substrat **9** stellt einen Teil der Oberfläche eines Bauteils dar, das bspw. ähnlich wie eine Membran zu Schwingungen erregt werden kann. Die Be-

schichtung **3**, vorzugsweise eine Folie oder bspw. ein lackähnlicher Überzug, weist eine Vielzahl von Piezopartikeln **1** auf. Die jeweils für sich eine von Null verschiedene Partikelpolarität **2** aufweisenden Piezopartikel **1** sind zu etwa 50 Vol% innerhalb eines Polymers **6** eingebettet, das eine Matrix ausbildet. Als Matrixpolymere sind piezoinaktive Polymere ausreichend. Die einzelnen Piezopartikel **1** sind vorzugsweise vereinzelt und räumlich voneinander getrennt. Ferner können zumindest einige der Piezopartikel **1** auch in Clustern **7** auftreten. In diesen Clustern **7** sind die Piezopartikel **1** sehr dicht beieinander und/oder berühren sich sogar. Der Anteil der Piezopartikel **1** an einer erfindungsgemäßen Beschichtung **3** beträgt sinnvollerweise 10-80 Vol-%, bevorzugt 30-70 Vol% und besonders bevorzugt 40-60 Vol%.

[0021] Die einzelnen Partikelpolarisationen **2** weisen eine Vorzugsrichtung auf. Daher ergibt sich für die Beschichtung **3** in der Gesamtheit eine (Gesamt-)Polarisation **12**, die von Null verschieden ist. Die Ausrichtung der Partikelpolarisation **2** kann bspw. durch das Anlegen eines elektrischen Feldes während der Herstellung der Beschichtung **3** und/oder während des Auftrags der Beschichtung **3** vorgenommen werden.

[0022] In [Fig. 4](#) ist ebenfalls ein vorzugsweise metallisches Substrat **9** vorgesehen, das gleichfalls wie bei dem Ausführungsbeispiel nach [Fig. 3](#) mit einer schwingungsdämpfenden Beschichtung **3'** versehen ist. Im Gegensatz zu dem vorhergegangenen Beispiel sind hier aber die einzelnen von Null verschiedenen Partikelpolarisationen **2** in ihrer Gesamtheit statistisch ausgerichtet, so daß die Gesamtpolarisation **12** der Beschichtung **3'** gleich Null ist; d.h. für die einzelnen von Null verschiedenen Partikelpolarisation **2** existiert keine Vorzugsrichtung.

[0023] In [Fig. 5](#) ist eine schwingungsdämpfende Beschichtung **3''** dargestellt, die aus mehreren Lagen gebildet ist. Bei dieser Beschichtung **3''** sind zwischen den einzelnen die Partikelpolarisation **2** aufweisenden Piezopartikel **1** beinhaltenden Lagen – im folgenden Piezolagen **4** genannt – durch eine Trennschicht **5** voneinander getrennt.

[0024] Als Trennschicht **5** wird vorzugsweise eine dünne Metallschicht verwendet. Die Schichtdicke der vorzugsweise metallenen Trennschicht **5** ist insbesondere kleiner 200 µm, bevorzugt kleiner 100 µm und besonders bevorzugt kleiner 50 µm.

[0025] Generell sollte das Material der Trennschicht **5** gegenüber der Piezolage **4** eine geringere Dehnbarkeit aufweisen; d.h. bei einer gleichen Kraftbeanspruchung sollte die Längendehnung der Trennschicht **5** geringer sein als die der Piezolage **4**. Dadurch werden bei einer Verwindung und/oder einer Biegung der mehrlagigen Beschichtung **3''** die Piezo-

lagen **4** zusätzlich gedrückt, so daß der Dämpfungseffekt der mehrlagigen Beschichtung **3''** gegenüber deren einer entsprechenden dicken einlagigen Beschichtung **3** oder **3'** erhöht ist.

[0026] Bei allen drei Ausführungsbeispielen ([Fig. 3](#), [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#)) kann es sinnvoll sein, als Polymer **6** ein piezoelektrisch aktives Polymer **6** zu verwenden. Ein vorteilhaftes Beispiel hierfür ist das thermoplastische Copolymer aus Vinylidenfluorid und Trifluorethylen (VDF und TrFE), das im Gegensatz zum gängigen polymeren Piezostandardmaterial Polyvinylidendifluorid (PVDF) ohne Streckprozesse aktivierbar ist. Desweiteren können auch polymerisierbare piezoaktive Harze, wie z.B. in DE 3819947 beschrieben, verwendet werden.

[0027] Aus Kostengründen ist es zweckmäßig, als Bindermatrix ein piezoinaktives, hochohmiges Polymer **6** bzw. dessen Vorstufen zu verwenden und nach bekannten Verfahren zu verarbeiten. Ein Beispiel für ein thermoplastisches Polymer ist das als Feinpulver verfügbare Polyvinylidendifluorid/Hexafluorpropylen-Copolymer (PVDF-HFP), Typ Kynarflex 2801 GL, Elf Atochem. Dies kann vorteilhafterweise in trockener Form homogen gemischt und anschließend z.B. durch Heißpressen zu Filmen verarbeitet werden.

[0028] Ebenfalls möglich ist die Verwendung von bekannten polymeren bzw. vernetzbaren polymeren Bindern, die je nach Typ und Herstellungsprozeß ohne Lösemittelzusatz oder in Form von Lösungen oder wässrigen Dispersionen eingesetzt werden können. Insbesondere sind lösemittelfreie Systeme wie z.B. das in Ausführungsbeispiel 3 und 4 beschriebene Ethylen-Propylen-Monomer (Typ Vistalon 703 mit 73G% Ethylenanteil, Fa. ExxonMobil) vorteilhaft. Dieser Binder kann im Extruder verarbeitet und nach dem Mischprozeß vernetzend polymerisiert werden, wobei eine elastomere Matrix entsteht. Ferner sind polymerisierbare Harze z.B. aus der Stoffklasse der Urethane, Ester und Epoxyde zu verwenden, die unverdünnt oder gegebenenfalls auch mit Lösemittel verdünnt eingesetzt werden können.

[0029] Als weitere Ausführungsform ist es möglich piezoaktive Polymere in Partikel- oder Plättchenform anstelle der keramischen Piezopartikel in eine piezoinaktive Polymermatrix einzubringen.

[0030] Der Mechanismus ist noch nicht abschließend geklärt. Möglicherweise kann es sich hierbei um Oberflächen- und/oder Grenzflächeneffekte handeln.

[0031] Im Hinblick auf die Anwendung macht es Sinn, wenn die Beschichtung **3**, **3'**, **3''** als bspw. verklebbare Folie oder als Lack aufgetragen, insbesondere gespritzt wird.

[0032] Des weiteren kann der dämpfende Effekt einer vorzugsweise vollflächig, aber zumindest innerhalb der schwingenden Oberfläche angebrachten Beschichtung **3**, **3'**, **3''** – je nach verwendetem Polymer **6** – noch dadurch verbessert werden, daß der Beschichtung **3**, **3'**, **3''** zur Verbesserung der Ableitung der Ladungen der Piezopartikel **1** noch Leitmittelzusätze zugegeben werden. Als Leitmittelzusätze wird bevorzugt Kohlenstoff (Graphit) und/oder Metallpulver eingesetzt.

[0033] In [Fig. 6](#) ist ein Diagramm einer Probe dargestellt, in dem der Verlustfaktor über der Frequenz einer Probe maßstabsgerecht aufgetragen ist, die entsprechend dem später beschriebenen Beispiel 2 hergestellt wurde.

[0034] Der Verlustfaktor d ist der Quotient aus Imaginärteil E'' und Realteil E' des komplexen Elastizitätsmoduls oder des Tangens des Phasenwinkels \varnothing . Wobei \varnothing der Phasenwinkel zwischen mechanischer Spannung und Verformung ist [DIN 53440, Ausgabe Jan. 1994, Teil 2, Abschnitt 2.4].

$$d = E''/E' = \tan \varnothing$$

d = Verlustfaktor
 E'' = Verlustmodul: Maß für die, bei der Schwingung nicht wiedergewinnbare Energie
 E' = Speichermodul: Maß für die wiedergewinnbare Energie, die beim Verformungswechsel während der Schwingung umgesetzt wird.
 \varnothing = Phasenwinkel

[0035] Damit stellt der Verlustfaktor ein Relativmaß für die Energieverluste bei der Schwingung im Vergleich zur wiedergewinnbaren Energie dar.

[0036] Der Verlustfaktor kann sowohl über den Zeitbereich aber auch aus der Frequenzdarstellung ermittelt werden. Zweckmäßigerweise erfolgt die Berechnung des Verlustfaktors bei abklingender Biegeschwingung.

[0037] Hierzu wird ein mit der Beschichtung versehener Biegeschwingstab mit genau definierter Kraft zu erzwungenen Schwingungen erregt. Nach Abschalten der Kraft führt der Biegeschwingstab (Substrat 9) freie gedämpfte Biegeschwingungen aus. Der Verlustfaktor kann bei abklingender Biegeschwingung über das log. Dekrement oder über die Nachhallzeit berechnet werden. Die Nachhallzeit ist die Dämpfungsgröße im Falle abklingender Schwingungen. Sie ist definiert als Zeitspanne, in der die Amplitude der gedämpften Schwingung auf 1/1000 ihres Anfangswertes oder um 60 Dezibel (dB) abnimmt. An Stelle der Nachhallzeit wird als Dämpfungsgröße auch der Reziprokwert, die Amplitudenabnahme in Dezibel (dB) je Zeit (Dt) benutzt [DIN 53440, Ausgabe Jan. 1994, Teil 1, Abschnitt 2.3].

[0038] Der Verlustfaktor für Mehrschichtsysteme berechnet sich genauso wie für homogene Systeme. Er ist abhängig von Temperatur und Frequenz.

[0039] Zum Vergleich des internen Dämpfungsvermögens einer erfindungsgemäßen Beschichtung **3**, **3'**, **3''** wurde der Verlustfaktor einer Probe ohne äußere Beschaltung eines ohmschen Widerstandes (quadratische Maßpunkte) und einer Probe mit Beschaltung eines äußeren Widerstandes (dreieckige Maßpunkte) aufgenommen.

[0040] Der Unterschied zwischen den beiden Meßreihen ist im Bereich der Meßgenauigkeit angesiedelt. Weitere Versuche, bei denen der Wert des ohmschen Widerstandes variiert wurden, ergaben gleichartige Ergebnisse.

[0041] Ferner zeigt der Vergleich von gepolten und ungepolter Referenzproben ohne Zusatz von Leithilfe einen drastischen Anstieg der Dämpfungseigenschaften bei den gepolten Proben (siehe [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#), jeweils gepolte und ungepolte Referenzprobe).

[0042] Daher ist unzweifelhaft festzustellen, daß wider Erwarten die Schwingungsdämpfung allein eine Eigenschaft der erfindungsgemäßen Beschichtung **3**, **3'**, **3''** ist. Möglicherweise werden hierbei die durch den Piezoeffekt gebildeten Oberflächenladungen über interne ohmsche Ströme ausgeglichen.

[0043] Hilfreich ist für diesen Effekt diesen Ladungsausgleich durch die Zugabe von Leitmitteln wie Metallpulver, Graphit, leitfähige Polymere oder dgl. zu unterstützen. Dies kann insbesondere sinnvoll sein, wenn bei der Herstellung der Beschichtung **3**, **3'**, **3''** vorgepolte Piezopartikel verwendet werden.

[0044] In den [Fig. 7](#), [Fig. 8](#), [Fig. 10](#) und [Fig. 12](#) sind Diagramme dargestellt, in denen der Verlustfaktor über der Frequenz einer Probe maßstabsgerecht aufgetragen ist. Für die Proben aus Beispiel 3 und 4 sind zusätzlich die Resonanzamplituden als Funktion der Frequenz dargestellt ([Fig. 9](#) und [Fig. 11](#)). Die Reduktion der Amplituden und die Verbreiterung der Resonanzpeaks sind ein Indiz für das Ausmaß der Schwingungsdämpfung. Aus den Resonanzkurven wurde der Verlustfaktor als Maßzahl für die Schwingungsdämpfung bestimmt (Verlustfaktor = Quotient aus Halbwertsbreite Δf und Resonanzfrequenz f_n , wobei Δf bei 3dB Amplitudenabfall ausgewertet wird, siehe DIN 53440). Bei sehr hohen Dämpfungswerten ist diese Auswertung nicht mehr möglich. Dies ist z.B. bei [Fig. 10](#) (Probe von Beispiel 3 mit 1,25mm Probendicke) bei Meßfrequenzen über 2000 Hz der Fall, so daß dann die primär gemessenen Resonanzkurven direkt verglichen werden.

[0045] Für die Prüfung der Schwingungsdämpfung,

wurden die nachfolgend in Beispiel 1 und 2 beschriebenen Proben durch Bedampfen mit Aluminium kontaktiert und bei 10kV/mm in einem Silikonbad bei 120°C gepolt. 4 Streifen (Breite 1 cm, Einzellänge 4 cm) wurden hintereinander auf einen Metallstreifen (Länge 20 cm, Dicke 1,0 mm, Breite 1,1 mm) aufgeklebt.

[0046] Die Proben aus den Beispielen 3 und 4 wurden im Gegensatz zu den Proben aus Beispielen 1 und 2 ohne zusätzliche Leitschicht mittels Koronaentladung (15 min/ 30 kV/80°C) gepolt und jeweils 2 Streifen hintereinander (Breite 1 cm, Gesamtlänge 15 cm) auf einen Metallstreifen (Länge 19,4 cm, Dicke 1,0 mm, Breite 1,1 mm) aufgeklebt.

[0047] Die Schwingungsdsdämpfung wurde in Anlehnung an den Biegeschwingersuch, DIN 53440 gemessen und ausgewertet. Meßpunkte gepolter Proben sind als Dreiecke dargestellt. Für Vergleichsmessungen wurden auch ungepolte Probestreifen (quadratische Meßpunkte) präpariert.

Beispiel 1

[0048] 56,2 Volumen% feingemahlendes PZT-Pulver (PbZrTitanat) mit einer spezifischen Oberfläche von ca. 5m²/g (Typ 501A Ultasonic-Powders) und 43,8 Vol% thermoplastisches Polymerfeinpulver (PVDF/HFP-Copolymer, Typ Kynarflex 2801 GL, Elf Atochem) wurden in einem Taumelmischer trocken durchgemischt und Aliquote hiervon in einer Pressform heiß gepresst (30min/200°C/3,3kN/cm²), so daß 0,5mm dicke Folien entstanden.

Beispiel 2

[0049] 56,2 Volumen% feingemahlendes PZT-Pulver mit einer spezifischen Oberfläche von ca. 1 m²/g (Typ 501A Ultasonic-Powders) und 43,8 Vol-% thermoplastisches Polymerfeinpulver (PVDF/HFP-Copolymer, Typ Kynarflex 2801 GL, Elf Atochem) wurden in einem Taumelmischer trocken durchgemischt und Aliquote hiervon in einer Pressform heiß gepresst (30 min/200 °C/3,3k N/cm²), so daß 0,5mm dicke Folien entstanden.

Beispiel 3:

[0050] 41 Vol% PZT-Pulver (PbZrTitanat) mit einer spezifischen Oberfläche von 3,1 m²/g (Typ Sonox P53, Dichte 7,88g/cm³, Fa. Ceramtec) und 59Vol% EPM (Ethylen-Propylen-Monomer, Typ Vistalon 703 mit 73G% Ethylenanteil, Fa. ExxonMobil) wurden in einem Extruder vermischt und unter vernetzenden Bedingungen zu einer 1,25 mm dicken elastomeren Kompositfolie extrudiert.

[0051] Proben hiervon wurden im ungepolten und im gepolten Zustand auf Schwingungsdämpfung un-

tersucht ([Fig. 9](#) und [Fig. 10](#)). Die Polung erfolgte mittels Koronaentladung (15 min/30 kV/80°C).

Beispiel 4:

[0052] 21 Vol% PZT-Pulver (PbZrTitanat) mit einer spezifischen Oberfläche von 3,1 m²/g (Typ Sonox P53, Fa. Ceramtec) und 79Vol% EPM (Ethylen-Propylen-Monomer, Typ Vistalon 703 mit 73G% Ethylenanteil, Fa. ExxonMobil) wurden in einem Extruder vermischt und unter vernetzenden Bedingungen zu einer 0,6 mm dicken elastomeren Kompositfolie extrudiert.

[0053] Proben hiervon wurden im ungepolten und im gepolten Zustand auf Schwingungsdämpfung untersucht ([Fig. 11](#) und [Fig. 12](#)). Die Polung erfolgte mittels Koronaentladung (15 min/30 kV/80°C).

[0054] In allen Diagrammen der Ausführungsbeispiele 1 bis 4 ([Fig. 7](#) bis [Fig. 12](#)) ist eine deutliche Erhöhung des Verlustfaktors bei den gepolten Proben; d.h. bei den Proben, deren Piezopartikel **1** eine von Null verschiedene Partikelpolarisation **2** aufweisen, zu erkennen.

[0055] Bei den Proben gemäß Beispiel 1 bzw. 2 sind die quantitativen Kenngrößen sowohl hinsichtlich der Materialien, hinsichtlich deren Zusammensetzung und auch hinsichtlich der Herstellung völlig identisch. Einziger Unterschied ist die spez. Oberfläche und damit die mittlere Korngröße der Piezopartikel **1** der Proben.

[0056] Bei den Proben gemäß Beispiel 3 und 4 sind gegenüber den Proben aus Beispiel 1 und 2 alle Komponenten verändert (Bindermatrix, Piezomaterial inklusive spezifische Oberfläche, Füllgrad und Polverfahren). Innerhalb der Proben aus Beispiel 3 und 4 ist nur der Füllgrad und Probendicke variiert (41Vol% bzw. 21 Vol% PZT, 1,25mm bzw. 0,6mm Dicke).

[0057] Ein Vergleich des Diagramms **7** mit dem Diagramm **8** zeigt, daß bei der feinkörnigern Probe (Beispiel 1, [Fig. 7](#)) der Verlustfaktor und damit die Dämpfungswirkung einer erfindungsgemäßen Beschichtung **3**, **3'**, **3''** über einen breiten, innerhalb des Hörbaren angeordneten Frequenzbereich (880 Hz bis 5200 Hz) größer ist als der Verlustfaktor der grobkörnigen Probe (Beispiel 2, [Fig. 8](#)).

[0058] Des weiteren ist erkennbar, daß die feinkörnigere Probe (Beispiel 1, [Fig. 7](#)) im unteren Frequenzbereich (880 Hz bis 2200 Hz) sogar um ein Vielfaches besser dämpft als die grobkörnigere Probe (Beispiel 2, [Fig. 8](#)).

[0059] Auch bei mittlerer Korngröße und zusätzlich deutlich reduziertem Füllgrad sind jedoch ebenfalls

noch hohe Dämpfungswerte zu erzielen, insbesondere im Frequenzbereich über 1500–3000 Hz (Beispiel 3, [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#)). Im direkten Vergleich zu Beispiel 1 ist die höhere Probendicke zu berücksichtigen.

[0060] Selbst bei 21Vol% Füllgrad und geringer Probendicke ist noch ein deutlicher Effekt nachzuweisen (Beispiel 4, [Fig. 11](#) und [Fig. 12](#)).

[0061] Ferner zeigen die Beispiel 3 und 4, daß man in der Auswahl der Bindermatrix grundsätzlich nicht eingeschränkt ist, insbesondere ist die Auswahl nicht auf polare und/oder piezoaktivierbare Binder beschränkt.

[0062] Eine weitere Verbesserung wird erreicht, wenn eine Probe beidseitig mit einem dünnen Metallfilm (bspw. Cu, Dicke 50 µm) belegt wird. Diese Ausgestaltung entspricht im wesentlichen der Grundzelle, als der kleinsten Einheit des Ausführungsbeispiels gemäß [Fig. 5](#).

[0063] Im folgenden werden unterschiedliche Ausgangsprodukte zur Herstellung einer erfindungsgemäßen Beschichtung **3**, **3'**, **3''** auf einem Substrat **9** vorgestellt.

[0064] Für den Fall großflächiger Substrate **9**, wie bspw. Karosseriebleche und/oder sonstiger Verkleidungen, ist es bspw. sinnvoll, ein Halbzeug in Form einer Folie vorzufertigen. Die die Beschichtung **3**, **3'**, **3''** bildende Folie, die vorzugsweise auf das Substrat **9** aufgeklebt werden kann, beinhaltet sinnvollerweise bereits die Piezopartikel **1**.

[0065] Die Piezopartikel **1** können bereits ihre von Null verschiedene Partikelpolarisation **2** aufweisen, bevor sie zur Herstellung der Folie herangezogen werden. Ferner können Sie auch erst während der Herstellung der Folie polarisiert werden. Bei dieser Vorgehensweise und der Verwendung von bereits eine von Null verschiedene Partikelpolarisation **2** aufweisenden Piezopartikel **1**, können die Partikelpolarisationen **2** der jeweiligen Piezopartikel **1** zusätzlich noch im Kollektiv ausgerichtet werden. Ferner ist darauf zu achten, daß dann die Temperatur bei der Herstellung der Folie nicht zu hoch ist, damit sich die einzelnen Piezopartikel **1** nicht wieder entpolarisieren; d.h. ihre Partikelpolarisation **2** verlieren.

[0066] Des weiteren ist es möglich eine Folie zu verwenden, deren Piezopartikel **1** erst beim Aufbringen der Folie auf das Substrat **9** polarisiert werden. Dies kann bspw. durch das Anlegen eines elektrischen Feldes während des Aufbringens der Folie auf das Substrat **9** vorgenommen werden. Hier können aber auch anstelle unpolarisierter Piezopartikel **1** auch bereits eine Partikelpolarisation **2** aufweisende Piezopartikel **1** eingesetzt und diese zusätzlich im Kollektiv

ausgerichtet werden.

[0067] In besonderer und billiger Weise ist es möglich, eine erfindungsgemäße Beschichtung **3**, **3'** auch in der Art eines Lackes mit einem der bekannten Verfahren, wie (Druckluft-)Spritzen, Tauchlackieren, Pulverlackieren usw. auf das Substrat **9** aufzutragen.

[0068] Hierzu kann beispielsweise ein Gemenge verwendet werden, das außer den normalen Bestandteilen eines Lackes noch das Polymer **6** und/oder dessen Ausgangsmaterialien und die zweckmäßigerweise schon die Partikelpolarisation **2** aufweisenden Piezopartikel **1** beinhaltet. Gegebenenfalls kann es sich bei dem Polymer **6** und/oder dessen Ausgangsmaterialien um ein bereits in einem normalen Lack vorkommenden Bestandteil handeln. Des weiteren ist es möglich die Piezopartikel **1** erst beim Auftrag oder noch im flüssigem Lack zu polarisieren. In den beiden letzten Fällen können auch bereits eine Partikelpolarisation **2** aufweisende Piezopartikel **1** zusätzlich im Kollektiv ausgerichtet werden.

[0069] Ferner ist es möglich ein Gemenge aus dem Polymer **6** und/oder dessen Ausgangsmaterialien sowie den Piezopartikeln **1** und ggf. anderen üblichen Bestandteilen eines Pulverlackes zu bilden. Bis auf die üblichen Unterschiede verhält es sich bzgl. der Piezopartikel **1** und der Vorgehensweise zu deren Partikelpolarisation **2** bzw. zu der Gesamtpolarisation **12** des Kollektivs der Piezopartikel **1** entsprechend dem bei dem Flüssiglack erwähnten.

[0070] Bevorzugte Anwendungsgebiete der Erfindung sind im Fahrzeugbau und in der Luftfahrt und hierbei insbesondere bei der Schwingungs- und/oder Schalldämpfung von Komponenten bevorzugt von insbesondere Karosserien (von Kraftfahrzeug oder Flugzeugen, Hubschraubern usw.) und/oder sonstigen Verkleidungsteilen zu sehen.

Patentansprüche

1. Beschichtung zur passiven Flächendämpfung von schwingenden Oberflächen von Bauteilen, mit granulat- und/oder korn- und/oder plättchenförmigen Piezopartikeln, die zumindest zu 10 Vol-% in zumindest einem eine Matrix bildenden Polymer eingebettet sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Anteil der Piezopartikel (**1**) an der Beschichtung (**3**, **3'**, **3''**) ca. 10-80 Vol-% beträgt, und daß die Piezopartikel (**1**) für sich jeweils eine von Null verschiedene Polarisation – im folgenden Partikelpolarisation (**2**) genannt – aufweisen.

2. Beschichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschichtung (**3**, **3'**, **3''**) mehrlagig ausgebildet ist, wobei zwischen den einzelnen, die von Null verschiedene Partikelpolarisation (**2**)

aufweisenden Piezopartikeln (1) beinhaltenden Lagen – im folgenden Piezolagen (4) genannt – voneinander durch eine Trennschicht (5) voneinander getrennt sind, welche vorzugsweise als dünne Metallschichtschicht ausgebildete Trennschicht (5) eine gegenüber einer Piezolage (4) geringere Dehnbarkeit aufweist.

3. Beschichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Matrixpolymer der Beschichtung (3, 3', 3'') hochohmig ($\geq 10^{10} \Omega \text{ cm}$) ist.

4. Beschichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Komposit der Beschichtung (3, 3', 3'') bei Verwendung vorgepolter Piezopartikel einen Widerstand von $\geq 10^4 \Omega \text{ cm}$ aufweist.

5. Beschichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Matrixpolymer der Beschichtung (3, 3', 3'') bevorzugt piezoinaktiv ist.

6. Beschichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Material der Piezopartikel (1) aus keramischem Pulvermaterial, z.B. PbZrTitanat ist.

7. Beschichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Material für die Piezopartikel (1) ein piezoaktives Polymermaterial oder ein PVDF-Copolymer oder ein polymerisierbares piezoaktives Harz ist.

8. Beschichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Material für die Piezopartikel (1) Polyvinylidendifluorid (PVDF) ist.

9. Beschichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Material für die Piezopartikel (1) Vinylidenfluorid oder Trifluorethylen (VDF und TrFE) ist.

10. Beschichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Material für die Piezopartikel (1) ein wie in der DE 38 19 947 beschriebenes polymerisierbares piezoaktives Harz ist.

11. Beschichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Material der Piezopartikel (1) PbZrTitanat ist.

12. Beschichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Anteil der Piezopartikel (1) an der Beschichtung (3, 3', 3'') 30-70 Vol-% und bevorzugt 40-60 Vol-% beträgt.

13. Beschichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die spez. Oberfläche der Piezopartikel (1) zwischen 0,1 und 100 m^2/g , bevorzugt zwischen 0,5 und 10 m^2/g beträgt.

14. Beschichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die jeweilige von Null verschiedene Partikelpolarisation (2) der einzelnen Piezopartikel (1) innerhalb der Beschichtung (3, 3', 3'') willkürlich, vorzugsweise statistisch ausgerichtet sind.

15. Beschichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Gesamtheit der jeweiligen von Null verschiedenen Partikelpolarisationen (2) aller Piezopartikel (1) innerhalb der Beschichtung (3, 3', 3'') eine Gesamtpolarisation (8) aufweist.

16. Beschichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschichtung (3, 3', 3'') zumindest auf einer Oberflächenseite des Bauteils (Substrat 9) flächig aufgetragen ist.

17. Halbzeug zur Herstellung einer Beschichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschichtung (3, 3', 3'') eine vorgefertigte Folie ist, die zum späteren vorzugsweise klebenden Auftrag auf ein Bauteil (Substrat 9) vorgesehen ist.

18. Halbzeug nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest einige der Piezopartikel (1) der vorgefertigten Folie bereits eine von Null verschiedene Partikelpolarisation (2) aufweisen.

19. Gemenge zur Herstellung einer Beschichtung nach Anspruch 1, mittels eines bekannten Auftragsverfahrens dadurch gekennzeichnet, daß das Gemenge das Polymer (6) und/oder dessen Ausgangsmaterialien aufweist und daß die Piezopartikel (1) mit dem Polymer (6) und/oder dessen Ausgangsmaterialien miteinander vermischt sind.

20. Gemenge nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Piezopartikel (1) bereits in dem Gemenge für sich eine von Null verschiedene Partikelpolarisation (2) aufweisen.

21. Verfahren zur Herstellung einer Beschichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mit dem Polymer (6) und/oder dessen Ausgangsmaterialien sowie den Piezopartikeln (1) in bekannter Weise eine partikelhaltige flexible Folie hergestellt wird, wobei Piezopartikel (1) mit bereits von Null verschiedener Partikelpolarisation (2) verwendet werden und daß die Folie auf die Bauteiloberfläche (Substrat 9) aufgebracht, vorzugsweise geklebt wird.

22. Verfahren zur Herstellung einer Beschichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mit dem Polymer (6) und/oder dessen Ausgangsmaterialien sowie den Piezopartikeln (1) in bekannter Weise eine partikelhaltige flexible Folie hergestellt wird und daß die Partikelpolarisation (2) bei oder nach der Folienherstellung orientiert wird und daß die Folie auf die Bauteiloberfläche (Substrat 9) aufgebracht, vorzugsweise geklebt wird.

23. Verfahren zur Herstellung einer Beschichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mit dem Polymer (6) und/oder dessen Ausgangsmaterialien sowie den Piezopartikeln (1) in bekannter Weise eine partikelhaltige flexible Folie hergestellt wird, daß die Folie auf die Bauteiloberfläche (Substrat 9) aufgebracht, vorzugsweise geklebt wird und daß die Partikelpolarisation (2) bei oder nach der Aufbringung der Folie orientiert wird.

wird, daß das Gemenge als Pulver auf die Bauteiloberfläche (Substrat 9) aufgetragen wird, daß das Gemenge beim und/oder nach dem Auftrag aufgeschmolzen wird und daß die Partikelpolarisation (2) während des Aufschmelzens und/oder nach dem Aufschmelzen orientiert wird.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

24. Verfahren zur Herstellung einer Beschichtung nach Anspruch 1, mittels eines bekannten Auftragsverfahrens dadurch gekennzeichnet, daß ein Gemenge aus dem Polymer (6) und/oder dessen Ausgangsmaterialien sowie aus Piezopartikeln (1), die bereits eine von Null verschiedene Partikelpolarisation (2) aufweisen, gebildet und vorzugsweise innig miteinander vermischt wird und daß das Gemenge flüssig auf die Bauteiloberfläche (Substrat 9) aufgetragen wird.

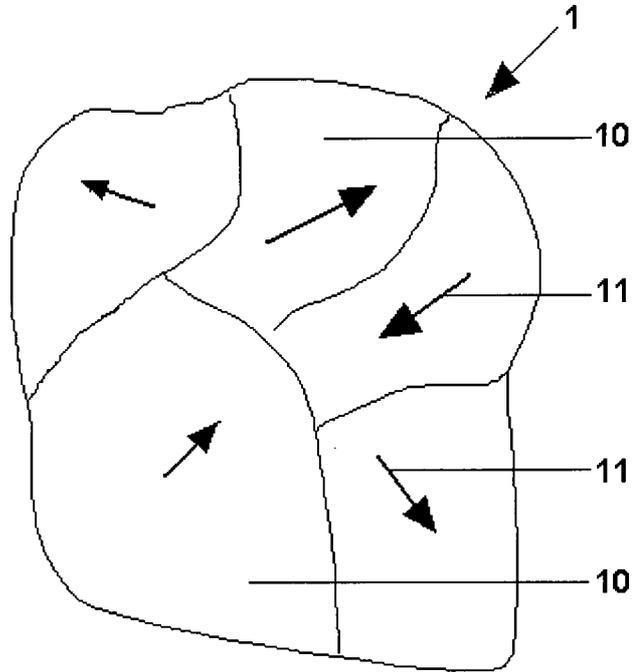
25. Verfahren zur Herstellung einer Beschichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Gemenge aus dem Polymer (6) und/oder dessen Ausgangsmaterialien sowie aus Piezopartikeln (1) gebildet und vorzugsweise innig miteinander vermischt wird, daß das Gemenge flüssig auf die Bauteiloberfläche (Substrat 9) aufgetragen wird und daß die Partikelpolarisation (2) während des Auftrags und/oder nach dem Auftrag des Gemenges orientiert wird.

26. Verfahren zur Herstellung einer Beschichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Gemenge aus dem Polymer (6) und/oder dessen Ausgangsmaterialien sowie den bereits eine von Null verschiedene Partikelpolarisation (2) aufweisenden Piezopartikeln (1) gebildet und vorzugsweise innig miteinander vermischt wird, daß das Gemenge als Pulver auf die Bauteiloberfläche (Substrat 9) aufgetragen wird und daß das Gemenge beim und/oder nach dem Auftrag aufgeschmolzen wird.

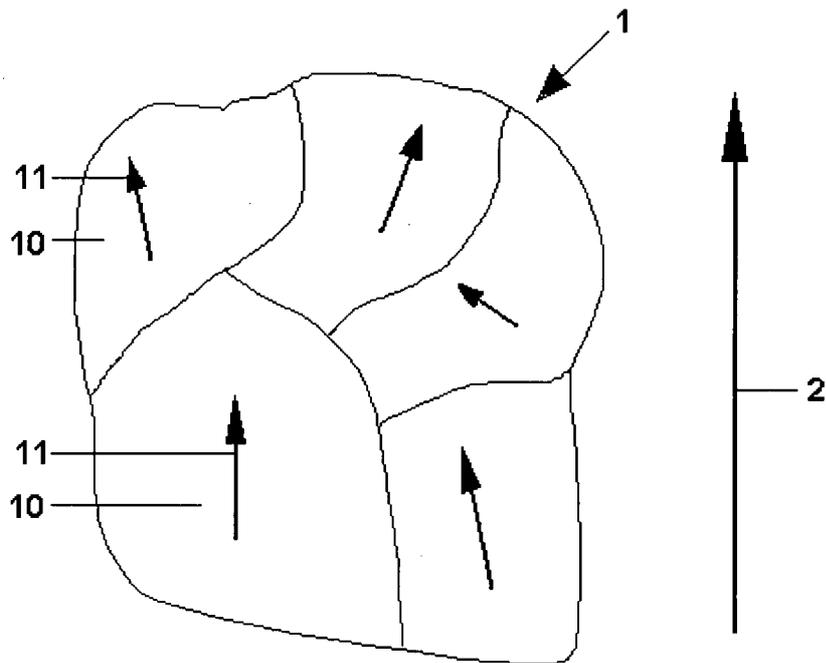
27. Verfahren zur Herstellung einer Beschichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Gemenge aus dem Polymer (6) und/oder dessen Ausgangsmaterialien sowie aus Piezopartikeln (1) gebildet und vorzugsweise innig miteinander vermischt wird, daß das Gemenge als Pulver auf die Bauteiloberfläche (Substrat 9) aufgetragen wird, daß das Gemenge beim und/oder nach dem Auftrag aufgeschmolzen wird und daß die Partikelpolarisation (2) während des Auftrags und/oder nach dem Auftrag orientiert wird.

28. Verfahren zur Herstellung einer Beschichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Gemenge aus dem Polymer und/oder dessen Ausgangsmaterialien sowie aus Piezopartikeln (1) gebildet und vorzugsweise innig miteinander vermischt

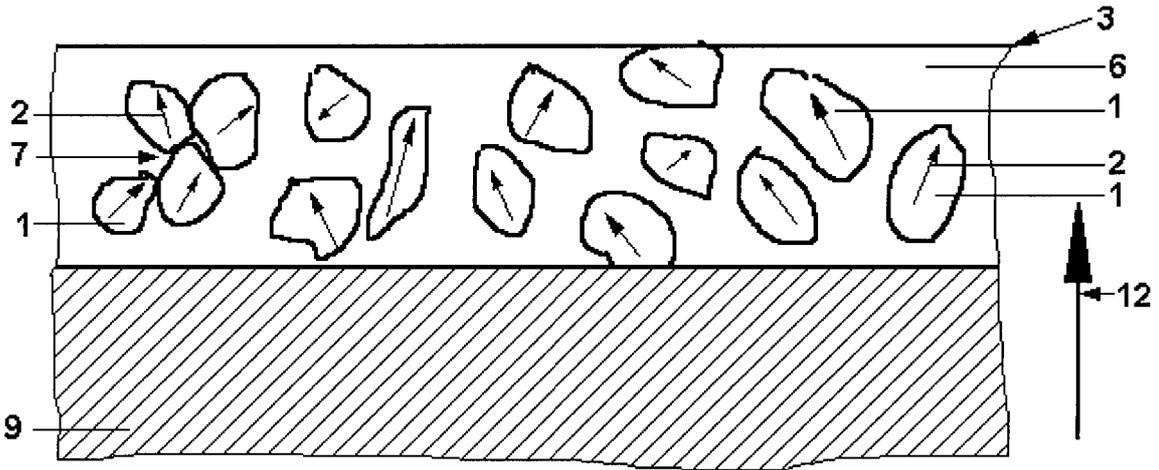
Figur 1



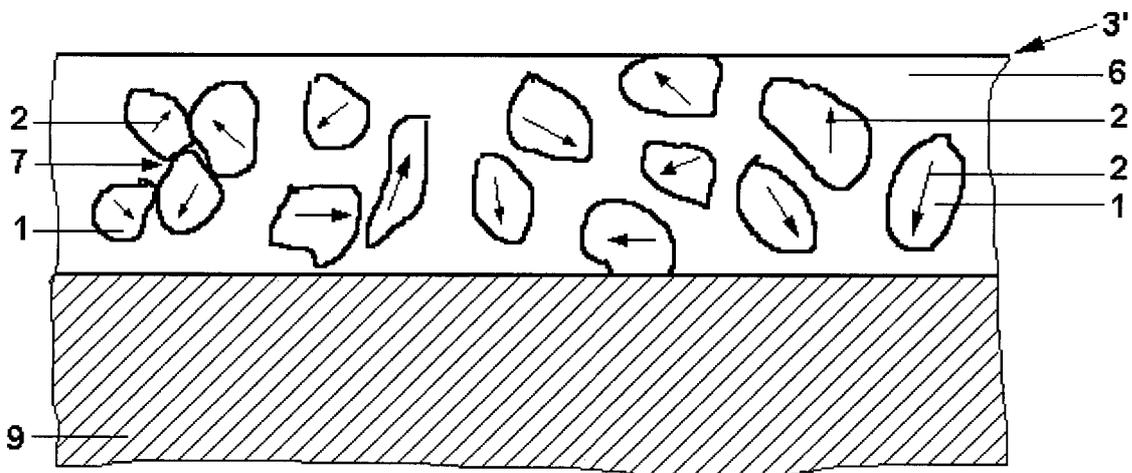
Figur 2



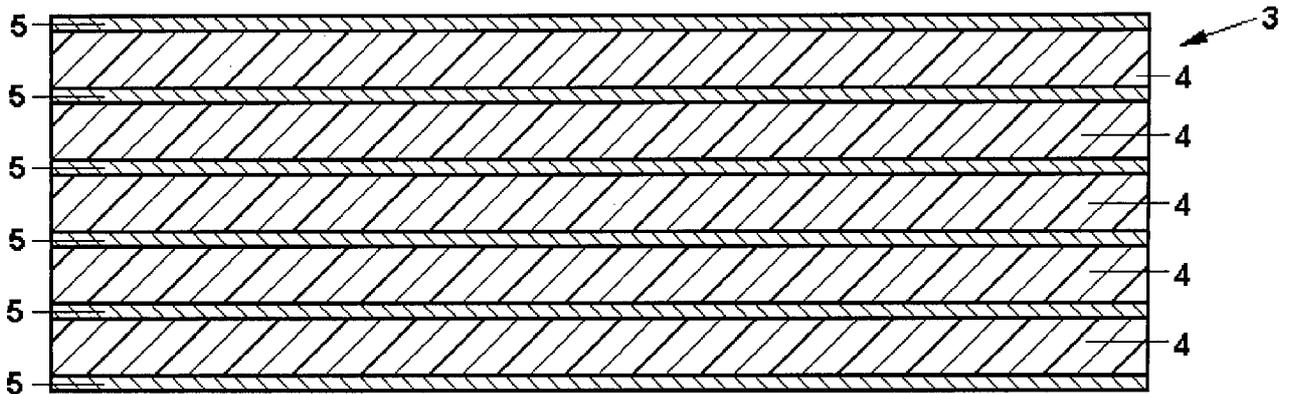
Figur 3



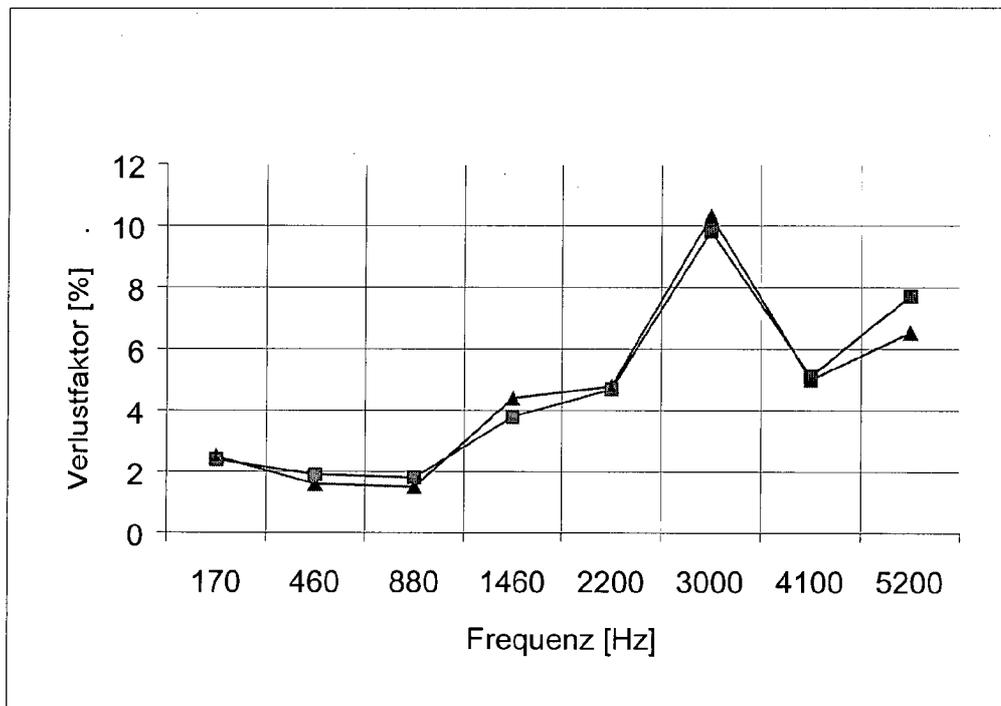
Figur 4



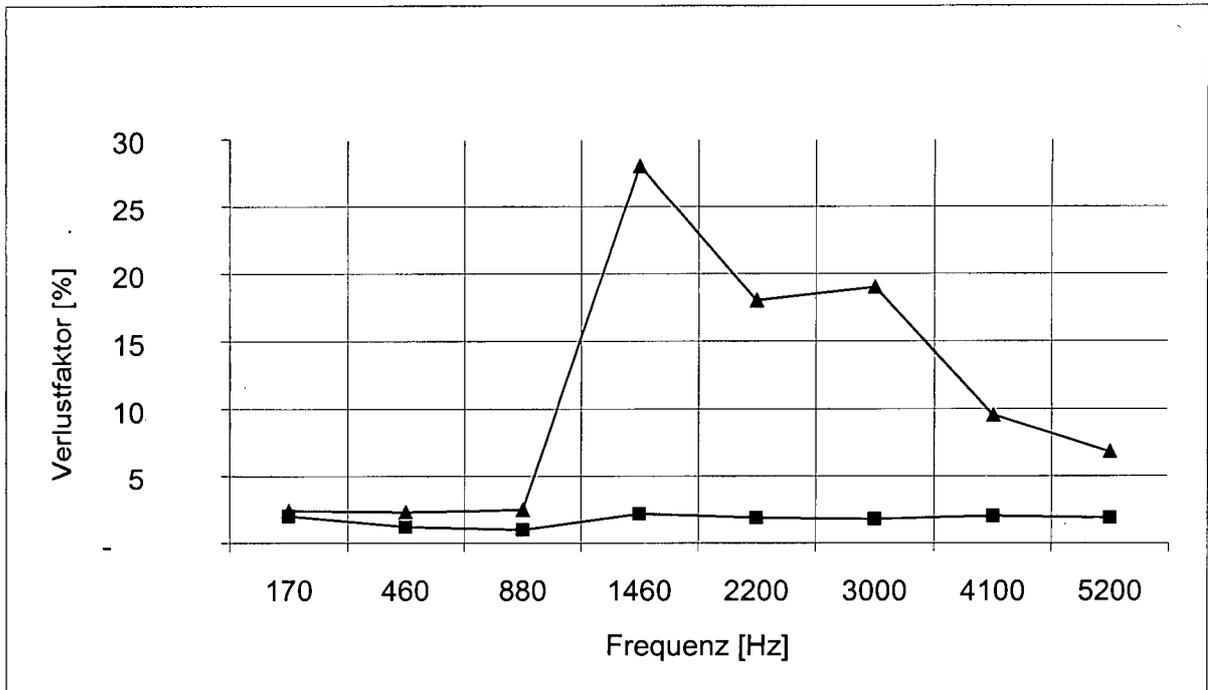
Figur 5



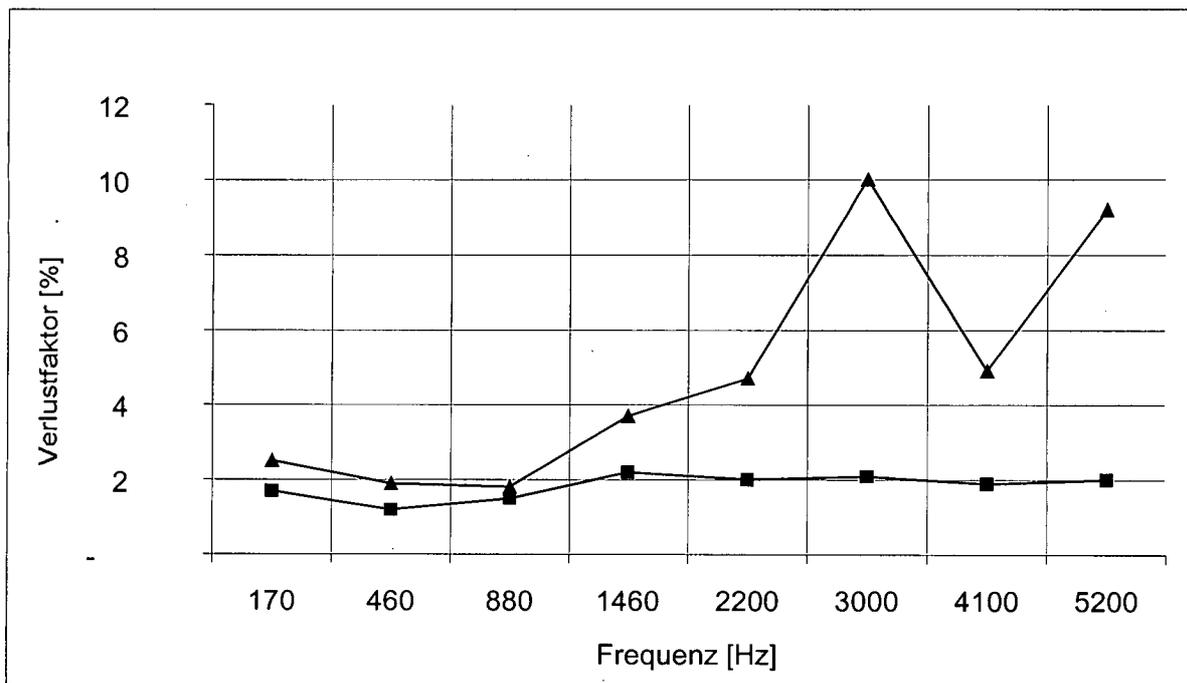
Figur 6



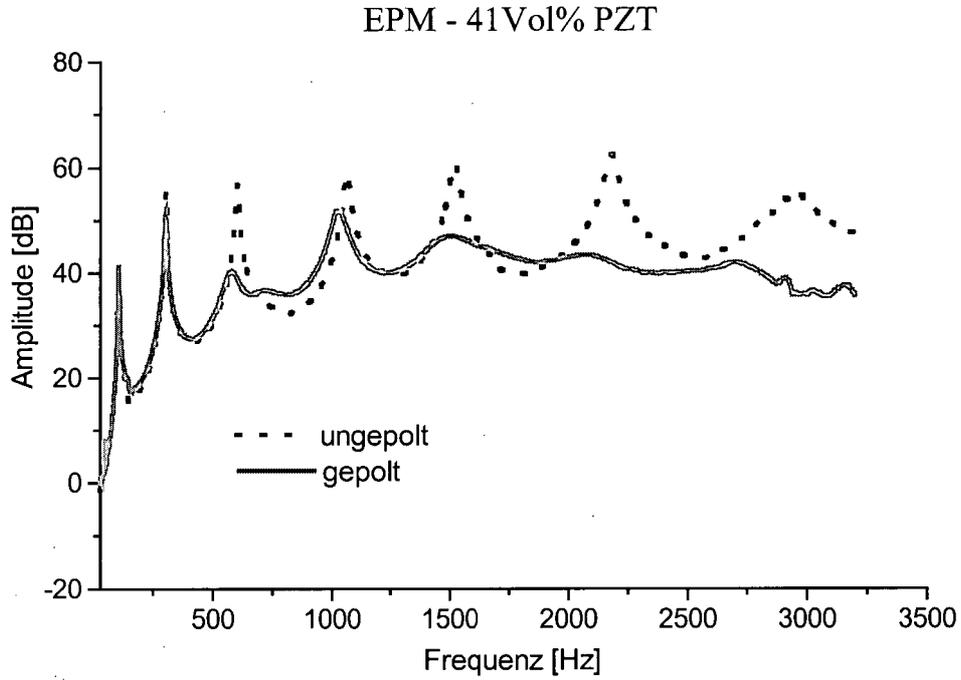
Figur 7



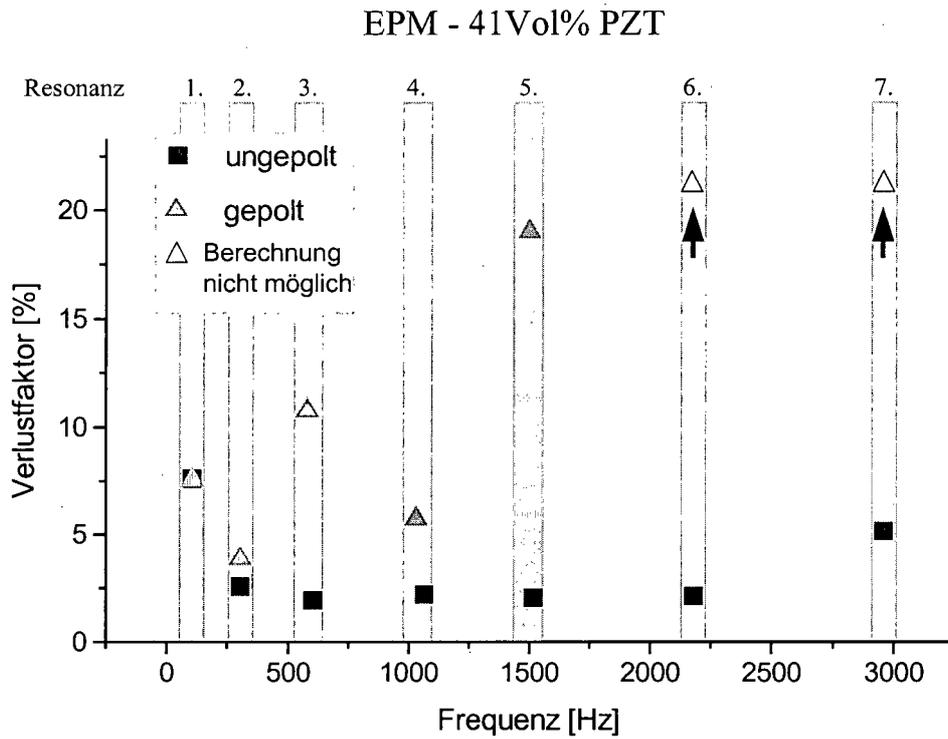
Figur 8



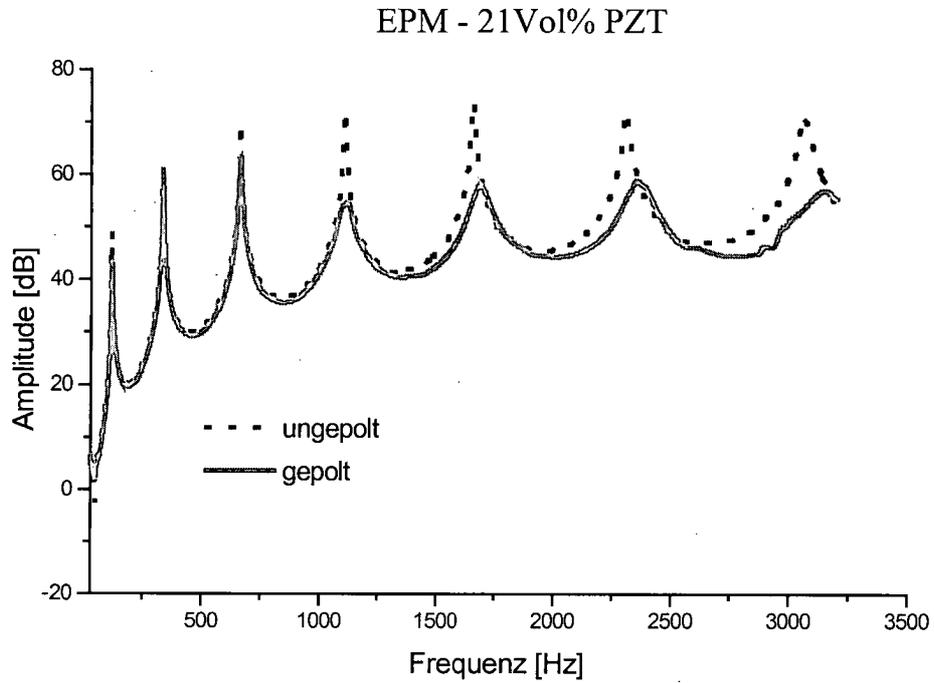
Figur 9



Figur 10



Figur 11



Figur 12

