



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 32 948 T2** 2007.10.25

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 301 930 B1**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H01B 5/10** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 32 948.8**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US00/31992**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 982 188.5**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2002/007170**

(86) PCT-Anmeldetag: **21.11.2000**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **24.01.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **16.04.2003**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **10.01.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **25.10.2007**

(30) Unionspriorität:

**616784 14.07.2000 US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

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

(73) Patentinhaber:

**3M Innovative Properties Co., Saint Paul, Minn.,  
US**

(72) Erfinder:

**JOHNSON, Douglas, E., Saint Paul, MN  
55133-3427, US; ANDERSON, Tracy, L., Saint Paul,  
MN 55133-3427, US**

(74) Vertreter:

**derzeit kein Vertreter bestellt**

(54) Bezeichnung: **VERSEILTES KABEL UND HERSTELLUNGSVERFAHREN**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung**

## TECHNISCHES GEBIET DER ERFINDUNG

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein verdrehte Kabel und ihr Herstellungsverfahren. Insbesondere betrifft die Erfindung verdrehte Kabel, die schraubenförmig verdrehte spröde Drähte umfassen, und ihr Herstellungsverfahren. Solche verdrehten Kabel sind bei Kabeln zur Energieübertragung und für andere Anwendungen einsetzbar.

## ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

**[0002]** Das Verseilen von Kabeln ist ein Prozess, bei dem einzelne Drähte kombiniert werden, normalerweise in einer schraubenförmigen Anordnung, um ein fertiges Kabel herzustellen. Siehe z.B. die US-Patente Nr. 5,171,942 und 5,554,826. Das sich ergebende verseilte Kabel oder Drahtseil sorgt für viel größere Flexibilität, als mit einem massiven Stab von gleicher Querschnittsfläche möglich wäre. Die verdrehte Anordnung ist auch vorteilhaft, weil das verdrehte Kabel seine Gesamtquerschnittsform beibehält, wenn das Kabel bei der Handhabung, Befestigung und Verwendung gebogen wird. Solche verdrehten Kabel werden in einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzt, wie zum Beispiel als Schachtseil, Flugzeugkabel und Energieübertragungskabel.

**[0003]** Solche schraubenförmig verdrehten Kabel werden normalerweise aus Metallen wie Stahl, Aluminium oder Kupfer hergestellt. In einigen Fällen, wie zum Beispiel bei nackten Freileitungsenergieübertragungskabeln, könnte der schraubenförmig verdrehte Kern ein erstes Material, wie zum Beispiel Stahl, umfassen, und der äußere Stromleitungsteil könnte ein anderes Material, wie zum Beispiel Aluminium, umfassen. In diesem Fall kann der Kern ein vorverdrehtes Kabel sein, das als Eingangsmaterial zur Herstellung des Stromübertragungskabels mit einem größeren Durchmesser verwendet wird.

**[0004]** Schraubenförmig verdrehte Kabel können von nur 7 Einzeldrähten bis zu häufigeren Konstruktionen mit 50 und mehr Drähten umfassen. Vor dem schraubenförmigen Verdrehen werden die einzelnen Drähte auf separaten Spulenkörpern bereitgestellt, die dann in eine Reihe von motorbetriebenen Wagen der Verseilanlage gesetzt werden. Normalerweise wird ein Wagen für jede Lage des fertig gestellten verseilten Kabels verwendet. Die Drähte jeder Lage werden am Ausgang jedes Wagens zusammengeführt und um den Mitteldraht oder um die vorhergehende Lage angeordnet. Während des Kabelverseilprozesses wird der Mitteldraht, oder das in der Mitte liegende unbearbeitete verseilte Kabel, das eine oder mehrere zusätzliche Lagen hat, die darum gewickelt sind, durch die Mitte der verschiedenen Wagen gezogen, wobei jeder Wagen eine Lage zum verseilten Kabel hinzufügt. Die einzelnen Drähte, die als eine Lage hinzugefügt werden sollen, werden gleichzeitig von ihren jeweiligen Spulenkörpern abgewickelt, während sie vom motorgetriebenen Wagen um ihre Mittelachse gedreht werden. Dies erfolgt nacheinander für jede gewünschte Lage. Das Ergebnis ist ein schraubenförmig verdrehtes Kabel, das geeignet geschnitten und gehandhabt werden kann, ohne seine Form zu verlieren oder sich aufzudrehen. Diese Eigenschaft kann man als gegeben hinnehmen, sie ist aber ein äußerst wichtiges Merkmal. Das Kabel behält seine schraubenförmig verdrehte Anordnung, weil die Metalldrähte während der Kabelherstellung Spannungen ausgesetzt sind, die die Fließspannungen des Drahtmaterials übersteigen, aber kleiner als die Grenz- oder Bruchspannung ist. Diese Spannung wird übertragen, wenn der Draht schraubenförmig um den relativ kleinen Radius der vorgehenden Lage oder des Mitteldrahtes gewickelt wird. Zusätzliche Spannungen werden am Schließstein übertragen, der Radial- und Scherkräfte auf das Kabel bei der Herstellung ausübt. Die Drähte verformen sich daher plastisch und behalten ihre schraubenförmig verdrehte Form.

**[0005]** Vorkurzem sind Kabelerzeugnisse aus Materialien eingeführt worden, die spröde sind und daher nicht ohne weiteres plastisch in eine neue Form gebracht werden können. Gängige Beispiele für solche Materialien umfassen faserverstärkte Verbundstoffe, die auf Grund ihrer verbesserten mechanischen Eigenschaften im Vergleich zu Metallen attraktiv sind, in ihrem Zugdehnungsverhalten aber primär elastisch sind. Verbundkabel, die faserverstärkte Polymerdrähte enthalten, sind im Fachgebiet bekannt, wie auch Verbundkabel, die mit keramischen Fasern verstärkte Metalldrähte enthalten, siehe zum Beispiel WO 97/00976.

**[0006]** Im Fall der faserverstärkten Polymermatrixdrähte können die einzelnen Drähte im Kabel thermisch nach dem Verdrehen gehärtet werden, um eine schraubenförmige Anordnung aufrechtzuerhalten. In solch einer Anordnung brauchen die schraubenförmig verdrehten Kabel keinerlei Mittel, um ihre schraubenförmige Anordnung aufrechtzuerhalten. Zum Beispiel beschreibt das US-Patent Nr. 5,126,167 einen Prozess zum Herstellen eines faserverstärkten plastischen armierten Kabels. Bei diesem Prozess werden lange Verstärkungsfasern mit einem ungehärteten, thermisch härtbaren Harz imprägniert und in eine vorgegebene Form gebracht, um mehrere stabförmige Elemente zu erhalten, wobei das thermisch härtbare Harz in ungehärtetem Zustand ge-

halten wird. Dann werden die ungehärteten stabförmigen Elemente durch die Ziehöse eines Schmelzteller-Extruders geschickt, durch den die stabförmigen Elemente jeweils mit einer thermoplastischen Harzlage versehen werden. Die beschichteten Lagen der stabförmigen Elemente werden sofort abgekühlt, um gleichzeitig mehrere faserverstärkte plastische Armierungsdrähte zu bilden, wobei das thermisch härtbare Harz in ungehärtetem Zustand gehalten wird. Die Armierungsdrähte, die so erhalten wurden, werden um ein Kabel gewickelt, welches während der Drehung zugeführt wird. Das Kabel, auf welches die Drähte aufgewickelt sind, wird durch die Ziehöse eines Schmelzteller-Extruders geschickt, durch den das Kabel mit einer Hülle aus einer thermoplastischen Harzlage versehen wird, die sofort abkühlen und fest werden kann. Das mit einer Hülle versehene Kabel wird in den Härtungstank mit einer Flüssigkeit als Heizmedium geleitet, um das thermisch härtbare Harz in den Armierungsdrähten zu härten.

**[0007]** Um die verdrehten Kabel werden aus verschiedenen Gründen Bänder gewickelt: als elektrische Abschirmung, als Schutz vor Umgebungseinwirkungen, wie zum Beispiel Wasser oder Feuchtigkeit, als elektrisch isolierendes Material, besonders in Erd- oder isolierten Freileitungsseilen, als schützende Armierungslage oder als thermisch isolierende Lage für Hochtemperaturanwendungen. Die japanische Patentanmeldung HEI 3-12606 offenbart ein Luftstarkstromkabel, das einen faserverstärkten Kunststoff („FRP“) als Kernelement zur Festigkeit aufweist. Der Stand der Technik der Anmeldung '606 stellt fest, dass faserverstärkte Kunststoffkabel vorher als Verstärkungselement für Luftstarkstromkabel zur Vergrößerung der Stromstärke und zur Verringerung des Durchhängens vorgeschlagen wurden, aber den Mangel aufweisen, dass der glasfaserverstärkte Kunststoff eine geringe Wärmestabilität und geringe Biege- und Schlagfestigkeit besitzt. Das Patent versucht, diese Beschränkungen durch Umwickeln eines glasfaserverstärkten Kunststoffdrahtes mit einem Metallband oder einer wärmebeständigen Beschichtung zu überwinden. Die Anmeldung '606 offenbart eine Ausführungsform, bei der eine Metallhülle, die aus einem Metallband hergestellt ist, um den FRP-Draht gebildet wird. Es wird berichtet, dass das Metallband als Pufferlage fungiert und die Sprödigkeit des FRP-Drahtes beim Biegen oder bei Schlägeinwirkung reduziert. Die Anmeldung '606 berichtet, dass gleichzeitig die thermische Qualitätsverschlechterung des Harzes im Innern wirksam verhütet werden kann und ein Aluminiumkabel, das mit FRP mit langer Gebrauchsdauer verstärkt ist, hergestellt werden kann. Die Anmeldung '606 schlägt auch eine Ausführungsform vor, die die einzelnen faserverstärkten Kunststoffdrähte durch Umwickeln jedes Kunststoffdrahtes mit einem Metallband (in [Fig. 4](#) gezeigt) oder durch Beschichten mit einem wärmebeständigen Bindemittel zu schützen.

**[0008]** WO 97/00976 beschreibt in einer Ausführungsform eine Anordnung von glasfaserverstärkten Verbunddrähten, die einen Kern bilden. Der Kern wird von einem Mantel aus monolithischen Metalldrähten umgeben, die als Leiter für ein Starkstromkabel dienen. Siehe die **Fig. 2a** und **2b** der Publikation '976. Die Drähte im Kern umfassen eine Metallmatrix von polykristallinen  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Fasern, die in einer Matrix von im wesentlichen reinem elementarem Aluminium oder einer Legierung von elementarem Aluminium und bis zu etwa 2 % Kupfer verkapselt sind. Diese Drähte sind spröde und lassen keine wesentliche plastische Verformung zu.

#### KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

**[0009]** Obwohl viele der obigen Vorgehensweisen sich eines gewissen Erfolgs erfreuen, ist es wünschenswert, die Konstruktion des schraubenförmig verdrehten Kerns und sein Herstellungsverfahren weiter zu verbessern. Es ist zum Beispiel wünschenswert, ein schraubenförmig verdrehtes Kabel bereitzustellen, das spröde Drähte umfasst. Es ist wünschenswert, ein geeignetes Mittel bereitzustellen, um die schraubenförmige Anordnung der spröden Drähte vor dem Einbau des Kerns in ein Produkt, wie zum Beispiel ein Starkstromkabel, aufrechtzuerhalten. Solch ein Mittel zur Bewahrung der schraubenförmigen Anordnung ist in vorherigen Kabelkernen mit plastisch verformbaren Drähten oder mit Drähten, die gehärtet oder nach ihrer schraubenförmigen Anordnung gehärtet werden können, nicht notwendig gewesen.

**[0010]** In einer Erscheinungsform stellt die vorliegende Erfindung ein verdrehtes Kabel bereit. Das Kabel umfasst mehrere spröde Drähte, wobei die spröden Drähte um eine gemeinsame Längsachse verdreht sind. Die spröden Drähte weisen einen beträchtlichen Umfang der elastischen Biegeverformung auf. Das Kabel umfasst auch ein Klebemittel zur Aufrechterhaltung der elastischen Biegeverformung der Drähte. In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das Klebemittel ein Klebeband, das um die mehreren spröden Drähte gewickelt ist. Das Klebeband kann einen druckempfindlichen Klebstoff umfassen. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst das Mittel zur Aufrechterhaltung ein Bindemittel. Das Bindemittel kann einen druckempfindlichen Klebstoff umfassen.

**[0011]** In einer weiteren Erscheinungsform stellt die vorliegende Erfindung eine alternative Ausführungsform eines verdrehten Kabels bereit. Das verdrehte Kabel umfasst mehrere spröde Drähte, die um eine gemeinsame

Längsachse verdreht sind. Die spröden Drähte weisen einen beträchtlichen Umfang der elastischen Biegeverformung auf. Das verdrehte Kabel umfasst auch ein Aufrechterhaltungsmittel zum Beibehalten der elastischen Biegeverformung der Drähte, wobei der Außendurchmesser des verdrehten Kabels einschließlich des Aufrechterhaltungsmittels nicht mehr als 110 % des Außendurchmessers der mehreren verdrehten Drähte ohne das Aufrechterhaltungsmittel beträgt. In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das Aufrechterhaltungsmittel ein Band, das um die mehreren spröden Drähte gewickelt ist. Das Band umfasst vorzugsweise ein Klebeband. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst das Aufrechterhaltungsmittel ein Bindemittel, das an den mehreren spröden Drähte haftet. Das Bindemittel umfasst vorzugsweise einen druckempfindlichen Klebstoff.

**[0012]** In jeder oder in beiden der obigen zwei Ausführungsformen von verdrehten Kabeln können die folgenden Ausführungsformen eingesetzt werden:

In einer bevorzugten Ausführungsform umfassen die spröden Drähte jeweils einen Verbund von mehreren durchgehenden Drähten in einer Matrix. Die Matrix umfasst vorzugsweise eine Metallmatrix. Es wird stärker bevorzugt, dass die Metallmatrix Aluminium umfasst und die durchgehenden Fasern polykristallines  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> umfassen.

**[0013]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform sind die spröden Drähte durchgehend und mindestens 150 m lang. Es wird stärker bevorzugt, dass die durchgehenden spröden Drähte mindestens 1000 m lang sind.

**[0014]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform haben die spröden Drähte einen Durchmesser von 1 mm bis 4 mm.

**[0015]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform sind die spröden Drähte schraubenförmig verdreht und haben einen Lagenfaktor von 10 bis 150.

**[0016]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform gibt es mindestens 3 verdrehte spröde Drähte. Es wird stärker bevorzugt, dass das Kabel einen Mitteldraht umfasst und die verdrehten spröden Drähte in einer Lage um den Mitteldraht verdreht werden. Es wird noch mehr bevorzugt, dass es mindestens zwei Lagen von verdrehten spröden Drähten gibt.

**[0017]** In einer weiteren Erscheinungsform stellt die vorliegende Erfindung ein Starkstromkabel bereit, das einen Kern und eine Lage von Leitern um den Kern umfasst, wobei der Kern eines der oben beschriebenen verdrehten Kabel umfasst. In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das Starkstromkabel mindestens zwei Lagen von Leitern. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst die Lage der Leiter mehrere verdrehte Leitungsdrähte. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst das Starkstromkabel ein Freileitungstarkstromkabel.

**[0018]** In noch einer weiteren Erscheinungsform stellt die vorliegende Erfindung eine andere Ausführungsform eines verdrehten Kabels bereit. Das verdrehte Kabel umfasst mehrere spröde Drähte. Die spröden Drähte sind um eine gemeinsame Längsachse verdreht und weisen einen beträchtlichen Umfang der elastischen Biegeverformung auf. Das verdrehte Kabel umfasst auch ein Aufrechterhaltungsmittel zur Aufrechterhaltung der elastischen Biegeverformung der Drähte. In dieser Ausführungsform ist das verdrehte Kabel frei von Lagen elektrischer Leiter um die mehreren spröden Drähte. Falls diese Ausführungsform frei von Lagen elektrischer Leiter um die mehreren spröden Drähte ist, kann jede der bevorzugten Ausführungsformen, die oben beschrieben sind, in dieser Ausführungsform eingesetzt werden.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0019]** Die vorliegende Erfindung wird ferner mit Verweis auf die angehängten Figuren erläutert, wobei in allen Ansichten auf ähnliche Strukturen durch ähnliche Zahlen verwiesen wird, dabei gilt:

**[0020]** [Fig. 1](#) ist eine Endansicht einer ersten Ausführungsform eines verdrehten Kabels gemäß der vorliegenden Erfindung vor der Anwendung eines Aufrechterhaltungsmittels um die mehreren Drähte.

**[0021]** [Fig. 2](#) ist eine Seitenansicht des verdrehten Kabels von [Fig. 1](#).

**[0022]** [Fig. 3](#) ist eine Seitenansicht des verdrehten Kabels von [Fig. 2](#) mit einem Aufrechterhaltungsmittel, das ein Band umfasst, welches teilweise auf das verdrehte Kabel aufgebracht ist.

[0023] [Fig. 4](#) ist eine Endansicht des verdrehten Kabels von [Fig. 3](#).

[0024] [Fig. 5](#) ist eine Endansicht einer zweiten Ausführungsform eines verdrehten Kabels gemäß der vorliegenden Erfindung mit einem anderen Band, das auf die mehreren Drähte aufgebracht ist.

[0025] [Fig. 6](#) ist eine Endansicht einer dritten Ausführungsform eines verdrehten Kabels gemäß der vorliegenden Erfindung mit einem Bindemittel, das auf die mehreren Drähte aufgetragen ist.

[0026] [Fig. 7](#) ist eine Endansicht einer anderen Ausführungsform eines verdrehten Kabels gemäß der vorliegenden Erfindung vor der Anwendung eines Aufrechterhaltungsmittels auf die mehreren Drähte.

[0027] [Fig. 8](#) ist eine Endansicht einer ersten Ausführungsform eines Stromkabels gemäß der vorliegenden Erfindung.

## AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0028] Die vorliegende Erfindung stellt ein verdrehtes Kabel bereit, das mehrere tragende Drähte umfasst. Die tragenden Drähte sind spröde, so dass sie während des herkömmlichen Kabelverseilprozesses nicht so ausreichend verformt werden können, dass sie ihre schraubenförmige Anordnung beibehalten. Daher stellt die vorliegende Erfindung Mittel zum Beibehalten der schraubenförmigen Anordnung der Drähte im verdrehten Kabel bereit. Auf diese Weise kann das verdrehte Kabel geeignet als Zwischenprodukt oder als Endprodukt bereitgestellt werden. Bei Verwendung als Zwischenprodukt kann es später in ein Endprodukt aufgenommen werden, wie zum Beispiel ein Freileistungsstromkabel.

[0029] In der Beschreibung und in den Ansprüchen werden bestimmte Begriffe verwendet, die eine Erläuterung erfordern, obwohl sie zum größten Teil bekannt sind. Es versteht sich, dass der Verweis auf einen "Draht" als "spröde" bedeutet, dass der Draht unter Zugbelastung mit minimaler plastischer Verformung bricht. Der Begriff "elastisch", wenn damit auf die Verformung eines Drahtes verwiesen wird, bedeutet, dass der Draht beim Entfernen der Belastung, die die Verformung bewirkt, im Wesentlichen in seine anfängliche, unverformte Gestalt zurückkehrt. Der Begriff "biegen" umfasst, wenn er zum Verweis auf die Verformung eines Drahtes benutzt wird, entweder die zweidimensionale oder dreidimensionale Biegeverformung, wie zum Beispiel das schraubenförmige Biegen des Drahtes. Wenn man sagt, dass ein Draht eine Biegeverformung besitzt, so schließt dies nicht die Möglichkeit aus, dass der Draht auch eine Verformung besitzt, die aus Zug- und/oder Torsionskräften resultiert. Eine "beträchtliche" elastische Biegeverformung bedeutet eine Biegeverformung, bei der der Draht mit einem Krümmungsradius von bis zum 10.000 fachen des Drahtradius gebogen wird. Bei Anwendung auf einen Draht mit kreisförmigem Querschnitt würde diese beträchtliche elastische Biegeverformung eine Dehnung an der äußeren Faser des Drahtes von mindestens 0,01 % hervorrufen. Die Begriffe "Verseilen" und "Verdrillen" werden austauschbar verwendet, wie auch "verseilt" und "verdrillt".

[0030] [Fig. 1](#) ist eine Endansicht einer ersten Ausführungsform eines verdrehten Kabels **10** gemäß der vorliegenden Erfindung vor der Anwendung eines Aufrechterhaltungsmittels um die mehreren Drähte **12**. Wie illustriert, umfasst das verdrehte Kabel **10** einen Mitteldraht **12a** und eine erste Lage **13a** von Drähten **12**, die schraubenförmig um den Mitteldraht **12a** gewickelt sind. In einer bevorzugten Ausführungsform umfassen die spröden Drähte **12** jeweils mehrere durchgehende Fasern **14** in einer Matrix **16**, wie später detaillierter diskutiert wird. Die Drähte **12** können auf einer geeigneten Kabelverseilanlage, wie zum Beispiel die Planetenkabelverseilmaschinen, die von Cortinovis, Spa, aus Bergamo, Italien, und von Watson Machinery International, aus Patterson, New Jersey, erhältlich sind, verdreht oder schraubenförmig gewickelt werden, wie im Fachgebiet bekannt ist. [Fig. 2](#) ist eine Seitenansicht des verdrehten Kabels **10** von [Fig. 1](#), in der zu sehen ist, dass die Drähte **12** in der ersten Lage **13a** schraubenförmig verdreht sind. Die verdrehten spröden Drähte **12** sind vorzugsweise in einer schraubenförmigen Anordnung, obwohl dies nicht erforderlich ist.

[0031] [Fig. 3](#) ist eine Seitenansicht des verdrehten Kabels von [Fig. 2](#) mit einem Aufrechterhaltungsmittel, das ein Band **18** umfasst, welches teilweise auf das verdrehte Kabel aufgebracht ist. Band **18** kann eine Trägerlage **20** mit oder ohne optionale Klebstofflage **22** umfassen. Band **18** kann so gewickelt werden, dass jede aufeinander folgende Wicklung auf die vorherige Wicklung ohne Lücke und ohne Überlappung stößt, wie in [Fig. 3](#) illustriert. Alternativ können aufeinander folgende Wicklungen so mit Abstand angeordnet werden, dass eine Lücke zwischen den Wicklungen gelassen wird oder dass sie sich gegenseitig überlappen. In einer bevorzugten Ausführungsform wird Band **18** so gewickelt, dass jede Wicklung die vorherige Wicklung um 1/3 bis 1/2 der Bandbreite überlappt. Wenn Band **18** eine Trägerlage **20** ohne Klebstoff ist, umfassen geeignete Materialien für die Trägerlage **20** Metallfolien, insbesondere Aluminium; Polyester und glasfaserverstärkte Trägerlagen;

vorausgesetzt, dass Band **18** stark genug ist, die elastische Biegeverformung aufrechtzuerhalten, und in der Lage ist, seine Wicklungsform von allein aufrechtzuerhalten, oder wenn es ausreichend eingeschränkt ist, falls notwendig. Eine besonders bevorzugte Trägerlage **20** ist Aluminium. Solch ein Träger besitzt vorzugsweise eine Dicke zwischen 0,002 und 0,005 Zoll (0,05 und 0,13 mm) und eine Breite, die auf der Basis des Durchmessers des verdrehten Kabels **10** ausgewählt wird. Es wird zum Beispiel für ein verdrehtes Kabel **10**, das zwei Lagen hat, wie zum Beispiel in [Fig. 7](#) illustriert, und das einen Durchmesser von etwa 0,5 Zoll (1,3 cm) hat, ein Aluminiumband, das eine Breite von 1,0 Zoll (2,5 cm) hat, bevorzugt. [Fig. 5](#) ist eine Endansicht des verdrehten Kabels von [Fig. 3](#), bei dem Band **18** eine Trägerlage **20** ohne Klebstoff umfasst.

**[0032]** Alternativ kann Band **18** ein Klebeband sein, das eine Trägerlage **20** und Klebstoff **22** umfasst. Bei dieser Ausführungsform umfassen geeignete Materialien für den Träger **20** alle diejenigen, die gerade beschrieben wurden, wobei ein bevorzugter Träger eine Aluminiumträgerlage ist, die eine Dicke von 0,002 und 0,005 Zoll (0,05 bis 0,13 mm) und eine Breite von 1,0 Zoll (2,54 cm) hat. Geeignete druckempfindliche Klebstoffe umfassen Klebstoffe auf (Meth)Acrylatbasis, Poly(Alpha-Olefin)-Klebstoffe, Klebstoffe auf Blockcopolymerbasis, Klebstoffe auf der Basis von Naturgummi, Klebstoffe auf Silikonbasis und heißschmelzende druckempfindliche Klebstoffe. Einige bevorzugte handelsübliche Bänder umfassen die folgenden Metallfolienbänder, die von der Firma 3M erhältlich sind: Band 438, 0,005 Zoll (0,13 mm) dicker Aluminiumträger mit Acrylklebstoff und einer Gesamtbanddicke von 0,0072 Zoll (0,18 mm); Band 431, ein 0,0019 Zoll (0,05 mm) dicker Aluminiumträger mit Acrylklebstoff und einer Gesamtbanddicke von 0,0031 Zoll (0,08 mm); und Band 433, ein 0,002 Zoll (0,05 mm) dicker Aluminiumträger mit Silikonklebstoff und einer Gesamtbanddicke von 0,0036 Zoll (0,09 mm). Ein geeignetes Band mit Polyesterträger umfasst das Polyesterband 8402, das von der Firma 3M erhältlich ist, mit einem 0,001 Zoll (0,03 mm) dicken Polyesterträger, einem Klebstoff auf Silikonbasis und einer Gesamtbanddicke von 0,0018 Zoll (0,03 mm).

**[0033]** Wenn Band **18** als das Beibehaltungsmittel verwendet wird, entweder mit oder ohne Klebstoff, kann das Band auf das verdrehte Kabel mit einer herkömmlichen Bandwickelvorrichtung, wie sie im Fachgebiet bekannt ist, aufgebracht werden. Geeignete Bandwickelmaschinen umfassen diejenigen, die von Watson Machine, International, Patterson, New Jersey, erhältlich sind, wie zum Beispiel das Modell Nummer CT-300 Konzentrischer Bandwickelkopf. Die Bandwickelstation befindet sich am Ausgang der Kabelverdrehvorrichtung und wird auf die schraubenförmig verdrehten Drähte **12** angewendet, bevor Kabel **10** auf einen Kabelspulkörper gewickelt wird. Band **18** wird so ausgewählt, dass es die verdrehte Anordnung der elastisch verformten Drähte **12** aufrechterhält.

**[0034]** In einer alternativen Ausführungsform kann Bindemittel **24** auf das verdrehte Kabel **10** aufgebracht werden, um die Drähte **12** in ihrer verdrehten Anordnung zu halten. Geeignete Bindemittel umfassen druckempfindliche Klebstoffzusammensetzungen, die umfassen: ein oder mehrere Poly(Alpha-Olefin)-Homopolymere, Copolymere, Terpolymere und Tetrapolymere, die aus Monomeren abgeleitet sind, welche 6 bis 20 Kohlenstoffatome und fotoaktive Vernetzungsmittel enthalten, wie im US-Patent Nr. 5,112,882 (Babu et al.) beschrieben. Die Strahlungshärtung dieser Materialien liefert Klebstofffilme, die ein vorteilhaftes Gleichgewicht von Haft- und Abschereigenschaften des Klebstoffs besitzen. Alternativ kann das Bindemittel **24** thermohärtbare Materialien umfassen, einschließlich der Epoxide, ohne darauf beschränkt zu sein. Für einige Bindemittel ist es vorteilhaft, das Bindemittel **24** auf das verdrehte Kabel **10** zu extrudieren oder dieses auf andere Weise zu beschichten, während die Drähte die Verseilmaschine gerade verlassen, wie oben diskutiert. Alternativ kann das Bindemittel **24** in Form eines Klebstoffs angewendet werden, der als Abziehband geliefert wird. In diesem Fall wird das Bindemittel **24** auf ein Abzieh- oder Trennblatt aufgebracht. Das Trennblatt wird um die Drähte **12** des verdrehten Kabels **10** gewickelt. Der Träger wird dann entfernt, wodurch die Klebstofflage als Bindemittel **24** zurückbleibt.

**[0035]** [Fig. 7](#) illustriert eine weitere Ausführungsform des verdrehten Kabels **10**. In dieser Ausführungsform umfasst das verdrehte Kabel einen Mitteldraht **12a** und eine erste Lage **13a** von Drähten, die schraubenförmig um den Mitteldraht **12a** gewickelt sind. Diese Ausführungsform umfasst ferner eine zweite Lage **13b** von Drähten **12**, die schraubenförmig um die erste Lage **13a** gewickelt sind. Diese Anordnung kann auch auf herkömmlichen Kabelverseilmaschinen, wie im Fachgebiet bekannt, realisiert werden. Es kann jede geeignete Zahl von Drähten **12** in jede Lage aufgenommen werden. Ferner könne mehr als zwei Lagen in das verdrehte Kabel **10** aufgenommen werden, falls gewünscht. In mehrlagigen Kabeln **10** kann jede Lage entweder nach rechts oder links, unabhängig von der Richtung anderer Lagen, verdreht werden. In einer bevorzugten Zwei-Lagen-Ausführungsform sind die Lagen in entgegengesetzten Richtungen verdreht. Jedes der Band- oder Bindemittel-Aufrechterhaltungsmittel, die oben beschrieben werden, kann bei der Ausführungsform von [Fig. 7](#) verwendet werden. Ferner kann ein Klebstoff um jede Lage herum oder zwischen allen geeigneten Lagen aufgetragen werden, falls gewünscht.



**[0036]** In einer bevorzugten Ausführungsform trägt das Aufrechterhaltungsmittel nicht wesentlich zum Gesamtdurchmesser des verdrehten Kabels **10** bei. Der Außendurchmesser des verdrehten Kabels einschließlich des Aufrechterhaltungsmittels beträgt vorzugsweise nicht mehr als 110 % des Außendurchmessers der mehreren verdrehten Drähte **12** ohne das Aufrechterhaltungsmittel, vorzugsweise nicht mehr als 105 % und am besten nicht mehr als 102 %.

**[0037]** Es ist zu erkennen, dass die spröden Drähte **12** einen beträchtlichen Umfang an elastischer Biegeverformung besitzen, wenn sie auf herkömmlichen Verseilanlagen verdreht werden. Diese beträchtliche elastische Biegeverformung würde bewirken, dass die Drähte in ihre unverdrehte oder ungebogene Form zurückkehren, wenn es kein Aufrechterhaltungsmittel zur Aufrechterhaltung der schraubenförmigen Anordnung der Drähte gäbe. Daher wird das Aufrechterhaltungsmittel so ausgewählt, dass es die beträchtliche elastische Biegeverformung der spröden Drähte **12** aufrechterhält.

**[0038]** Weil die Drähte **12** spröde sind, nehmen sie während des Verseilens keine plastische Verformung an, was mit duktilen Drähten möglich wäre. Zum Beispiel könnte in Anordnungen nach dem Stand der Technik, die duktile Drähte umfassen, der herkömmliche Verseilprozess so ausgeführt werden, dass die Drähte **12** in ihrer schraubenförmigen Anordnung dauerhaft plastisch verformt werden. Die vorliegende Erfindung ermöglicht die Verwendung spröder Drähte **12**, die im Vergleich zu nichtspröden Drähten überragende gewünschte Eigenschaften liefern. Das Aufrechterhaltungsmittel ermöglicht die geeignete Verarbeitung des verdrehten Kabels **10** als Endprodukt oder die geeignete Verarbeitung vor der Aufnahme in ein nachfolgendes Endprodukt.

**[0039]** Eine bevorzugte Ausführungsform für die spröden Drähte **12** umfasst mehrere durchgehende Fasern **14** in einer Matrix **16**. In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die Matrix eine Metallmatrix. Die Metallmatrix umfasst vorzugsweise Aluminium. Eine bevorzugte Faser umfasst polykristallines  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Diese bevorzugten Ausführungsformen für die spröden Drähte **12** haben vorzugsweise eine Bruchdehnung von mindestens 0,4 %, stärker bevorzugt von mindestens 0,7 %.

**[0040]** Andere spröde Drähte, die in der vorliegenden Erfindung verwendet werden können, umfassen Siliziumkarbid-Aluminium-Verbunddrähte, Kohlenstoff-Aluminium-Verbunddrähte, Kohlenstoff-Epoxid-Verbunddrähte und Glas-Epoxid-Verbunddrähte.

**[0041]** Die vorliegende Erfindung wird vorzugsweise ausgeführt, um sehr lange verdrehte Kabel herzustellen. Es ist auch vorzuziehen, wenn die spröden Drähte **12** innerhalb des verdrehten Kabels **10** selbst über die ganze Länge des verdrehten Kabels durchgehen. In einer bevorzugten Ausführungsform sind die spröden Drähte **12** durchgehend und mindestens 150 m lang. Es wird stärker bevorzugt, dass die spröden Drähte **12** durchgehend und im verdrehten Kabel **10** mindestens 250 m lang sind, besser mindestens 500 m lang sind, noch besser mindestens 750 m lang sind und am besten mindestens 1000 m lang sind.

**[0042]** Obwohl jeder geeignet bemessene spröde Draht verwendet werden kann, wird es für viele Ausführungsformen und Anwendungen bevorzugt, wenn die spröden Drähte **12** einen Durchmesser von 1 mm bis 4 mm haben, jedoch können auch größere oder kleinere Drähte **12** verwendet werden.

**[0043]** In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das verdrehte Kabel **10** mehrere verdrehte spröde Drähte **12**, die schraubenförmig verdreht sind und einen Lagenfaktor von 10 bis 150 haben. Der "Lagenfaktor" eines verdrehten Kabels wird bestimmt, indem die Länge des verdrehten Kabels, in dem ein einzelner Draht **12** eine schraubenförmige Umdrehung vollführt, durch den Nennaußendurchmesser der Lage geteilt wird, die diese Litze umfasst. Es gibt vorzugsweise mindestens drei solche schraubenförmig verdrehten Drähte **12**. Es wird stärker bevorzugt, dass das verdrehte Kabel einen Mitteldraht **12a** umfasst und die verdrehten spröden Drähte um den Mitteldraht gewickelt sind. Wie in den [Fig. 1–Fig. 6](#) zu sehen ist, kann es eine einzelne Lage **13a** von Drähten **12** geben, die schraubenförmig um den Mitteldraht **12a** gewickelt ist. Wie in [Fig. 7](#) zu sehen ist, kann es alternativ eine erste Lage **13a** und eine zweite Lage **13b** geben, die jeweils schraubenförmig um den Mitteldraht **12a** gewickelt sind. In einer bevorzugten Ausführungsform besitzt jeder der Drähte **12** dieselbe Struktur und Form, dies ist jedoch nicht erforderlich. Ferner kann das verdrehte Kabel **10** mehr als zwei verdrehte Drahtlagen umfassen.

**[0044]** Wie oben beschrieben, werden die spröden Drähte **12** während des Verseilprozesses elastisch verformt. Es ist auch möglich, in das verdrehte Kabel **10** einen oder mehrere plastisch oder dauerhaft verformte Drähte einer anderen Zusammensetzung als die der spröden Drähte **12** aufzunehmen, wie zum Beispiel einen duktilen Metaldraht.

**[0045]** Beim Auswählen des Aufrechterhaltungsmittels zur Verwendung im verdrehten Kabel **10** sollte eine ausreichende Festigkeit zur Aufrechterhaltung der verdrehten Anordnung erreicht werden, wie oben beschrieben. Ferner kann die beabsichtigte Verwendung für das verdrehte Kabel **10** darauf hinweisen, dass bestimmte Aufrechterhaltungsmittel für die Anwendung besser geeignet sind. Wenn zum Beispiel das verdrehte Kabel **10** als Kern in einem Starkstromkabel verwendet wird, sollte entweder das Bindemittel **24** oder das Band **18** so ausgewählt werden, dass sich keine Beeinträchtigung für das Übertragungskabel bei den Temperaturen und anderen Bedingungen ergibt, die bei dieser Anwendung auftreten. Wenn ein Klebeband **18** verwendet wird, sollten Klebstoff **22** und Träger **20** so ausgewählt werden, dass sie sich für die beabsichtigte Anwendung eignen.

**[0046]** Obwohl die vorliegende Erfindung mit jedem geeigneten spröden Draht **12** ausgeführt werden kann, ist eine bevorzugte Ausführungsform von Draht **12** ein faserverstärkter Aluminium-Matrix-Verbunddraht. Die faserverstärkten Aluminium-Matrix-Verbunddrähte **12** umfassen vorzugsweise durchgehende Fasern **14** aus polykristallinem  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ , das in eine Matrix **16**, entweder aus reinem elementarem Aluminium oder aus einer Legierung von reinem Aluminium und bis zu ca. 2 Gewichtsprozent Kupfer, bezogen auf das Gesamtgewicht der Matrix, eingeschlossen ist. Die bevorzugten Fasern **14** umfassen gleichgerichtete Körner von weniger als etwa 100 nm Größe und einen Faserdurchmesser im Bereich von etwa 1–50 Mikrometern. Ein Faserdurchmesser im Bereich von etwa 5–25 Mikrometern wird bevorzugt, wobei ein Bereich von 5–15 Mikrometern besonders bevorzugt wird. Bevorzugte Verbundmaterialien gemäß der vorliegenden Erfindung haben eine Faserdichte im Bereich von ca. 3,90 bis 3,95 g/cm<sup>3</sup>. Unter den bevorzugten Fasern sind diejenigen, die aus dem US-Patent Nr. 4,954,462 (Wood et al., übertragen an die Minnesota Mining and Manufacturing Company, St. Paul, MN) bekannt sind. Bevorzugte Fasern sind kommerziell unter der Handelsbezeichnung "NEXTEL 610" alpha alumina based fibers von der Firma 3M, S. Paul, MN, erhältlich. Die umgebende Matrix **16** wird so ausgewählt, dass sie chemisch nicht wesentlich mit dem Fasermaterial **14** reagiert (d.h. chemisch relativ inert in Bezug auf das Fasermaterial ist, wodurch die Notwendigkeit beseitigt wird, eine Schutzbeschichtung auf die Faseraußen-seite aufzubringen).

**[0047]** Wie hierin verwendet, bedeutet der Begriff "polykristallin" ein Material, das überwiegend mehrere kristalline Körner aufweist, bei dem die Korngröße kleiner als der Durchmesser der Faser ist, in der die Körner vorliegen. Der Begriff "durchgehend" soll eine Faser **14** bedeuten, die eine Länge hat, welche im Vergleich zum Faserdurchmesser sehr groß ist. Praktisch gesehen, haben solche Fasern eine Länge in der Größenordnung von etwa 15 cm bis zu mindestens mehreren Metern und können sogar Längen in der Größenordnung von Kilometern oder mehr haben.

**[0048]** Bei den bevorzugten Ausführungsformen von Draht **12** ist gezeigt worden, dass die Verwendung einer Matrix **16**, die entweder im Wesentlichen reines elementares Aluminium oder eine Legierung aus elementarem Aluminium mit bis zu ca. 2 Gewichts-% Kupfer umfasst, erfolgreiche Drähte erzeugt. Wie hierin verwendet, sind die Begriffe "im Wesentlichen reines elementares Aluminium", "reines Aluminium" und "elementares Aluminium" austauschbar und sollen Aluminium bezeichnen, das weniger als ca. 0,05 Gewichts-% Verunreinigungen enthält.

**[0049]** Das Eindringen von Matrix **16** in das Faserseil **14** kann durch die Verwendung einer Ultraschallenergiequelle als Hilfe beim Eindringen der Matrix erreicht werden. Zum Beispiel beschreibt das US-Patent Nr. 4,779,563 (Ishikawa et al., an die Agency of Industrial Science and Technology, Tokyo, Japan, übertragen) die Verwendung einer Vorrichtung für Ultraschallvibrationen zur Verwendung bei der Erzeugung von Vorformdrähten, Bögen oder Bändern aus siliziumkarbidfaserverstärkten Metallverbundstoffen. Die Ultraschallwellenenergie wird den Fasern über einen Vibrator zugeführt, der einen Wandler und ein Ultraschall-"Horn" hat, das in das geschmolzene Matrixmaterial in der Nähe der Fasern eingetaucht ist. Das Horn wird vorzugsweise aus einem Material hergestellt, das nur eine geringe Löslichkeit, falls überhaupt, in der geschmolzenen Matrix besitzt, um so das Eindringen von Verunreinigungen in die Matrix zu verhüten. Im vorliegenden Fall wurde festgestellt, dass Hörner aus handelsüblich reinem Niob oder Legierungen aus 95 % Niob und 5 % Molybdän zufriedenstellende Ergebnisse liefern. Der Wandler, der dabei verwendet wird, umfasst Titan.

**[0050]** In einer bevorzugten Ausführungsform umfassen die Drähte **12** etwa 30–70 Volumen-% polykristalline  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Fasern **14**, bezogen auf das Gesamtvolumen des Verbunddrahtes **12**, in einer Matrix **16** aus im wesentlichen elementarem Aluminium. Es wird bevorzugt, dass die Matrix **16** weniger als ca. 0,03 Gewichts-% Eisen und vorzugsweise weniger als ca. 0,01 Gewichts-% Eisen, bezogen auf das Gesamtgewicht der Matrix, umfasst. Es wird ein Fasergehalt von etwa 40–60 polykristalliner  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Fasern bevorzugt. Es wurde festgestellt, dass solche Drähte **12**, die mit einer Matrix **16**, welche eine Streckgrenze von weniger als ca. 20 MPa aufweist, und aus Fasern **14** gebildet werden, die eine Längszugfestigkeit von mindestens ca. 2,8 GPa haben,



ausgezeichnete Festigkeitseigenschaften besitzen.

**[0051]** Die Matrix **16** kann auch aus einer Legierung von elementarem Aluminium mit bis zu ca. 2 Gewichts-% Kupfer, bezogen auf das Gesamtgewicht der Matrix, gebildet werden. Wie in der Ausführungsform, bei der eine Matrix aus im Wesentlichen reinem elementarem Aluminium verwendet wird, umfassen Verbunddrähte **12**, die eine Aluminium-Kupfer-Legierung besitzen, vorzugsweise etwa 30–70 Volumen-% polykristalliner  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Fasern **14** und stärker bevorzugt 40–60 Volumen-% polykristalliner  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Fasern **14**, bezogen auf das Gesamtgewicht des Verbundmaterials. Es wird außerdem bevorzugt, dass die Matrix **16** weniger als ca. 0,03 Gewichts-% Eisen und vorzugsweise weniger als ca. 0,01 Gewichts-% Eisen, bezogen auf das Gesamtgewicht der Matrix, umfasst. Die Aluminium-Kupfer-Matrix hat vorzugsweise eine Streckgrenze von weniger als ca. 90 MPa und die polykristallinen  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Fasern haben, wie oben, eine Längszugfestigkeit von mindestens ca. 2,8 GPa.

**[0052]** Die Drähte **12** werden vorzugsweise aus im Wesentlichen durchgehenden polykristallinen  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Fasern **14** gebildet, die in der Matrix **16** aus im Wesentlichen reinem elementarem Aluminium oder in der Matrix, die aus der Legierung aus elementarem Aluminium und bis zu ca. 2 Gewichts-% Kupfer, die oben beschrieben wird, enthalten sind. Solche Drähte werden im Allgemeinen durch einen Prozess hergestellt, bei dem eine Spule aus im Wesentlichen durchgehenden polykristallinen  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Fasern **14**, die in einem Faserseil angeordnet sind, durch ein Bad aus geschmolzenem Matrixmaterial **16** gezogen wird. Der resultierende Abschnitt kann dann erstarren, wodurch die Fasern, die in der Matrix eingeschlossen sind, bereitgestellt werden. Es wird bevorzugt, dass ein Ultraschallhorn, wie oben beschrieben, in das Bad mit geschmolzener Matrix eintaucht und dazu verwendet wird, das Eindringen der Matrix in die Faserseile zu unterstützen.

**[0053]** Geeignete Drähte werden zum Beispiel in der Internationalen Patentanmeldungspublication Nr. WO 97/000976 und in der US-Patentanmeldung Serien-Nr. 09/616,589, Anwaltsregistriernummer 55675USA1A, mit dem Titel Verfahren zur Herstellung von Metallmatrixverbundstoffen, abgelegt am selben Datum wie dies hier; US-Patentanmeldung Serien-Nr. 09/616,594, Anwaltsregistriernummer 55673USA4A, mit dem Titel Metallmatrixverbunddrähte, -kabel und Verfahren, abgelegt am selben Datum wie dies hier; US-Patentanmeldung Serien-Nr. 09/616,593 Anwaltsregistriernummer 55787USA3A, mit dem Titel Metallmatrixverbunddrähte, -kabel und Verfahren, abgelegt am selben Datum wie dies hier; und US-Patentanmeldung Serien-Nr. 60/218,347, Anwaltsregistriernummer 55795USA89, mit dem Titel Metallmatrixverbundstoffe und Verfahren, abgelegt am selben Datum wie dies hier, beschrieben.

**[0054]** Verdrillte Kabel **10** der vorliegenden Erfindung sind in zahlreichen Anwendungen nützlich. Man glaubt, dass solche verdrillten Kabel **10** besonders bei der Verwendung in Freileitungstarkstromkabeln **30** auf Grund ihrer Kombination von niedrigem Gewicht, hoher Festigkeit, guter elektrischer Leitfähigkeit, geringem thermischem Ausdehnungskoeffizienten, hohen Einsatztemperaturen und Korrosionsbeständigkeit besonders erwünscht sind.

**[0055]** Der Gewichtsanteil der Drähte **12** innerhalb des Übertragungskabels **30** hängt vom Aufbau der Übertragungsleitung ab. Im Übertragungskabel **30** können die Aluminium- oder Aluminiumlegierungs-Leitungsdrähte **36** aus einem der verschiedenen Materialien sein, die im Fachgebiet für Freileitungstarkstromleitungen bekannt sind, einschließlich 1350 A1 (ASTM B609-91), 1350-H19 A1 (ASTM B230-89) oder 6201 T-81 A1 (ASTM B399-92), ohne darauf beschränkt zu sein.

**[0056]** Eine Endansicht einer bevorzugten Ausführungsform eines solchen Starkstromkabels wird in [Fig. 8](#) illustriert. Solch ein Starkstromkabel umfasst einen Kern **32**, der einer der verdrillten Kabel sein kann, die hierin beschrieben werden. Das Starkstromkabel **30** umfasst auch mindestens eine Schicht **34** von Leitern um das verdrillte Kabel **10**. Wie illustriert, umfasst das Starkstromkabel zwei Leiterlagen **34a** und **34b**. Falls gewünscht, können mehr Leiterlagen verwendet werden. Jede Leiterlage **34** umfasst vorzugsweise mehrere Leitungsdrähte **36**, wie im Fachgebiet bekannt. Geeignete Materialien für die Leitungsdrähte umfassen Aluminium und Aluminiumlegierungen. Die Leitungsdrähte können um den verdrillten Kern **32** mittels geeigneter Kabelverseilungen verseilt werden, wie im Fachgebiet bekannt. Eine Beschreibung geeigneter Starkstromkabel und Prozesse, in denen das verdrillte Kabel der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann, finden Sie zum Beispiel in der Normvorschrift für konzentrische verdrillte Aluminiumleiter, beschichtet, stahlverstärkt (ACSR) ASTM B 232-92 oder in den US-Patenten Nr. 5,171,942 und 5,554,826. Eine bevorzugte Ausführungsform des Starkstromkabels ist ein Freileitungstarkstromkabel. Bei diesen Anwendungen sollten die Werkstoffe für das Aufrechterhaltungsmittel für die Anwendung bei Temperaturen von mindestens 100 °C oder 240 °C oder 300 °C, je nach der Anwendung, ausgewählt werden. Zum Beispiel sollte das Aufrechterhaltungsmittel nicht die Aluminiumleiterlage korrodieren oder unerwünschte Gase abgeben oder anderweitig das Übertragungskabel

bei den erwarteten Temperaturen während des Gebrauchs beeinträchtigen.

**[0057]** In anderen Anwendungen, bei denen das verdrehte Kabel als Endprodukt selbst verwendet werden soll, oder bei denen es als Zwischenprodukt oder -komponente in einem anderen nachfolgenden Produkt verwendet werden soll, wird bevorzugt, dass das verdrehte Kabel frei von elektrischen Stromleitungslagen um die mehreren spröden Drähte **12** ist.

**[0058]** Der Einsatz der vorliegenden Erfindung wird weiter mit Bezug auf die folgenden detaillierten Beispiele beschrieben. Diese Beispiele werden dargelegt, um die verschiedenen speziellen und bevorzugten Ausführungsformen und Verfahren weiter zu illustrieren.

#### Beispiel 1

**[0059]** Ein verdrehtes Kabel **10**, umwickelt mit Aluminiumfolienband **18**, wurde folgendermaßen hergestellt. Das Kabel wurde auf kommerziell erhältlichen Verzeilanlagen, wie im Fachgebiet bekannt, verdreht. Bestimmte Parameter des verdrehten Kabels **10** werden in Tabelle 1 dargestellt. Die Verbunddrähte **12** umfassten zwei- und dreißig Fasern **14** auf der Basis von  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , die kommerziell unter der Bezeichnung "Nextel 610" von der Firma 3M, St. Paul, MN, in einer Matrix **16** aus hochreinem Aluminium erhältlich sind. Die Drähte **12** wurden einer Reihe von Drähten entnommen, die nach Messung die folgenden mittleren Kennwerte aufweisen: Grenzbelastung von 1484 pfund, Bruchdehnung von 0,0062, Faservolumenanteil von 50 % und ein Drahtdurchmesser von 0,101 Zoll (2,57 mm). Die Drähte **12** in Kabel **10** waren durchgehend und nicht gerissen. Kabel **10** hatte einen Draht **12** in der Mitte, sechs Drähte **12** in der ersten Lage mit linker Schlagrichtung und zwölf Drähte **12** in der zweiten Lage mit rechter Schlagrichtung (allgemein wie in [Fig. 7](#) illustriert).

**[0060]** Kabel **10** wurde mit Klebeband umwickelt, wobei eine handelsübliche Wickelanlage, Modell 300 Concentric Taping Head von Watson Machine International, verwendet wurde. Band **18** war Aluminiumfolienband, das einen druckempfindlichen Acrylklebstoff **22** hatte und unter der Handelsbezeichnung "Aluminum Foil Tape 438" von der Firma 3M erhältlich ist. Der Bandträger **20** war 0,005 Zoll (0,13 mm) dick. Die Gesamtdicke von Band **18** betrug 0,0072 Zoll (0,18 mm). Das Band **18** war 1 Zoll (2,54 cm) breit. Die Bandumwicklung erfolgte überlappt, wobei die Breite der Überlappung etwa 1/3 der Bandbreite war.

#### Beispiel 2

**[0061]** Ein verdrehtes Kabel **10**, das ein Bindemittel **24** als Aufrechterhaltungsmittel hatte, wurde folgendermaßen hergestellt. Bestimmte Parameter von Kabel **10** werden in Tabelle 1 dargestellt. Beispiel 2 wurde allgemein in Übereinstimmung mit Beispiel 1 hergestellt, abgesehen von Bindemittel **24** statt Band **18** und anderen Unterschieden, wie in Tabelle 1 dargestellt. Das Klebstoffbindemittel **24** war ein klebrig gemachter Polyoxeten-Poly(Alpha-Olefin)-Klebstoff ähnlich dem, der im US-Patent Nr. 5,112,882 (Babu et al.) beschrieben wird. Eine 0,020 Zoll (0,51 mm) dicke Klebstofflage wurde auf ein Abziehpapier aufgetragen. Das Abziehpapier wurde in ca. 0,5 Zoll (1,27 cm) breite Streifen geschnitten und um die erste Lage von Drähten **12** vor dem Verdrehen der zweiten Lage von zwölf Drähten **12** um Bindemittel **24** und die erste Lage von Drähten **12** gewickelt. Die Menge des Klebstoffs wurde so abgeschätzt, dass sie ausreichte, um die Räume zwischen den Drähten **12** zu füllen.

#### Beispiel 3

**[0062]** Aluminiumleitungsdrähte **34** wurden um das durch Klebstoff gebundene Kabel **10** von Beispiel 2 verdreht, um ein Starkstromkabel **30** herzustellen. Die Leitungsdrähte **36** waren aus 1350 H19 Aluminium, das eine Leitfähigkeit von 61,2 % der Leitfähigkeit von isotropen leitfähigen Klebstoffen (ICAS) ASTM-Spezifikation B230-89) hat.

#### Beispiel 4

**[0063]** Ein verdrehtes Kabel **10**, das ein Aluminiumband **24** als Aufrechterhaltungsmittel hatte, wurde allgemein in Übereinstimmung mit Beispiel 1 hergestellt, außer wie folgt angegeben. Kabel **10** wurde mit Klebeband unter Verwendung einer Bandwickelanlage umwickelt. Band **18** war Aluminiumfolienband, das einen druckempfindlichen Acrylklebstoff **22** hatte und unter der Handelsbezeichnung "Aluminum Foil Tape 431" von der Firma 3M erhältlich ist. Der Bandträger **20** war 0,0019 Zoll (0,05 mm) dick. Die Gesamtdicke von Band **18** betrug 0,0031 Zoll (0,08 mm). Das Band **18** war 1 Zoll (2,54 cm) breit. Die Bandumwicklung erfolgte überlappt, wobei die Breite der Überlappung etwa 1/2 der Bandbreite war.

## Beispiel 5

**[0064]** Aluminiumleitungsdrähte **34** wurden um das bandumwickelte Kabel **10** von Beispiel 4 verdreht, um ein Starkstromkabel **30** herzustellen. Beispiel 5 wurde allgemein in Übereinstimmung mit Beispiel 3 hergestellt, außer in Bezug auf den Aufbau des verdrehten Kabelkerns.

Tabelle 1 – Verdrehtes Kabel 10

	Beispiel 1	Beispiel 2	Beispiel 4
Länge-Fuss (m)	2052 625	8 2,4	8 2,4
Gesamtdurchmesser Kabel 10 Zoll (cm)	0,532 1,35	0,423 1,07	0,415 1,05
Durchmesser der Drähte	0,103	0,79 2,0	0,79 2,0

12 Zoll (cm)	0,262		
Erste Lage von Drähten 12:			
Schlaglänge Zoll (cm)	18,525 47	13,3 33,8	13,3 33,8
Lagendurchmesser	0,304 (,772)	0,24 (0,61)	0,24 (0,61)
Lagenfaktor	60,9	55,9	55,9
Zweite Lage von Drähten 12:			
Schlaglänge Zoll (cm)	31,5 (80)	22,2 (56,4)	22,2 (56,4)
Lagendurchmesser Zoll (cm)	0,507 (1,29)	0,40 (1,0)	0,40 (1,0)
Lagenfaktor	62,1	55,9	55,9

Tabelle 2 – Starkstromkabel 30

	Beispiel 3	Beispiel 5
Durchmesser Leiterdraht 36 Zoll (cm)	0,1335 (0,334)	0,1335 (0,334)
Erste Lage 34		
Zahl der Drähte 36	12	12
Lagenfaktor	11	11
Zweite Lage 34		
Zahl der Drähte 36	18	18
Lagenfaktor	13	13
Dritte Lage 34		
Zahl der Drähte 36	24	24
Lagenfaktor	13,5	13,5
Gesamtkabeldurchmesser Zoll (cm)	1,21 (3,1)	1,23 (3,1)

**[0065]** Die vorliegende Erfindung ist nun mit Bezug auf mehrere Ausführungsformen derselben beschrieben worden. Die vorhergehende detaillierte Beschreibung und die Beispiele sind nur im Interesse des Verständnis-

ses angeführt worden. Es dürfen daraus keine unnötigen Beschränkungen abgeleitet werden. Für Fachleute auf diesem Gebiet ist erkennbar, dass viele Veränderungen an den Ausführungsformen, die beschrieben wurden, vorgenommen werden können, ohne den Geltungsbereich der Ansprüche zu verlassen. Daher darf der Geltungsbereich der vorliegenden Erfindung nicht auf die genauen Ansprüche und Strukturen beschränkt werden, die hierin beschrieben sind, sondern vielmehr durch die Strukturen, die vom Wortlaut der Ansprüche bestimmt sind.

### Patentansprüche

1. Verdrilltes Kabel, mit:  
mehreren spröden Drähten, wobei die spröden Drähte um eine gemeinsame Längsachse verdrillt sind und wobei die spröden Drähte eine beträchtliche elastische Biegeverformung besitzen; und  
Klebmitteln zur Aufrechterhaltung der elastischen Biegeverformung der Drähte.
2. Verdrilltes Kabel nach Anspruch 1, wobei das Klebemittel ein Klebeband aufweist, das um die mehreren spröden Drähte gewickelt ist.
3. Verdrilltes Kabel nach Anspruch 2, wobei das Klebeband einen Haftklebstoff aufweist.
4. Verdrilltes Kabel, mit:  
mehreren spröden Drähten, wobei die spröden Drähte um eine gemeinsame Längsachse verdrillt sind und wobei die spröden Drähte eine beträchtliche elastische Biegeverformung besitzen; und  
Aufrechterhaltungsmitteln zur Aufrechterhaltung der elastischen Biegeverformung der Drähte, wobei der Außendurchmesser des verdrillten Kabels, das das Aufrechterhaltungsmittel aufweist, nicht mehr als 110 des Außendurchmessers der mehreren verdrillten spröden Drähte ohne das Aufrechterhaltungsmittel ist.
5. Elektrisches Energieübertragungskabel, das einen Kern und eine Leiterschicht um den Kern aufweist, wobei der Kern das verdrillte Kabel nach einem der Ansprüche 1–4 aufweist.
6. Elektrisches Energieübertragungskabel nach Anspruch 5, wobei das elektrische Energieübertragungskabel ein oberirdisches elektrisches Energieübertragungskabel aufweist.
7. Verdrilltes Kabel, mit:  
mehreren spröden Drähten, wobei die spröden Drähte um eine gemeinsame Längsachse verdrillt sind und wobei die spröden Drähte eine beträchtliche elastische Biegeverformung besitzen; und  
Aufrechterhaltungsmitteln zur Aufrechterhaltung der elastischen Biegeverformung der Drähte, wobei das verdrillte Kabel frei von Schichten aus elektrischen Energieleitern um die mehreren spröden Drähte ist.
8. Verdrilltes Kabel nach einem der Ansprüche 4 oder 7, wobei das Aufrechterhaltungsmittel ein Band aufweist, das um die mehreren spröden Drähte gewickelt ist.
9. Verdrilltes Kabel nach Anspruch 8, wobei das Band ein Klebeband aufweist.
10. Verdrilltes Kabel nach einem der Ansprüche 1, 4 oder 7, wobei das Aufrechterhaltungsmittel ein Bindemittel aufweist.
11. Verdrilltes Kabel nach Anspruch 10, wobei das Bindemittel einen Haftklebstoff aufweist.
12. Verdrilltes Kabel nach einem der Ansprüche 1–11, wobei die spröden Drähte jeweils ein Verbundmaterial aus mehreren durchgehenden Fasern in einer Matrix aufweisen.
13. Verdrilltes Kabel nach Anspruch 12, wobei die Matrix eine Metallmatrix aufweist.
14. Verdrilltes Kabel nach Anspruch 13, wobei die Metallmatrix Aluminium aufweist und die durchgehenden Fasern polykristallines  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  aufweisen.
15. Verdrilltes Kabel nach einem der Ansprüche 1–14, wobei die spröden Drähte durchgehend und mindestens 150 m lang sind.

16. Verdrilltes Kabel nach einem der Ansprüche 1–15, wobei die spröden Drähte einen Durchmesser von 1 mm bis 4 mm haben.

17. Verdrilltes Kabel nach einem der Ansprüche 1–16, wobei die spröden Drähte schraubenlinienförmig verdrillt sind, so dass sie einen Schlaglängenfaktor von 10 bis 150 haben.

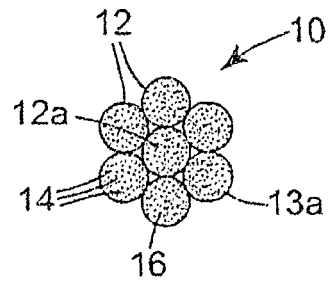
18. Verdrilltes Kabel nach einem der Ansprüche 1–17, wobei mindestens 3 verdrillte spröde Drähte vorgesehen sind.

19. Verdrilltes Kabel nach Anspruch 18, das ferner einen Mitteldraht aufweist, wobei die verdrillten spröden Drähte um den Mitteldraht verdrillt sind.

20. Verdrilltes Kabel nach Anspruch 19, wobei mindestens zwei Schichten der verdrillten spröden Drähte vorgesehen sind.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

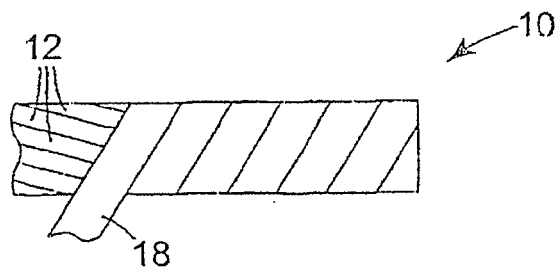
Anhängende Zeichnungen



*Fig. 1*

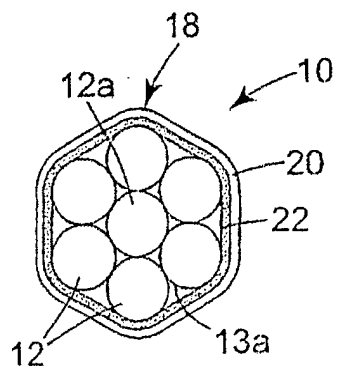


*Fig. 2*

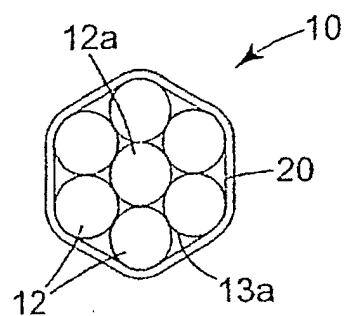


*Fig. 3*

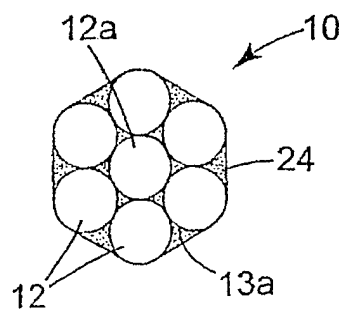




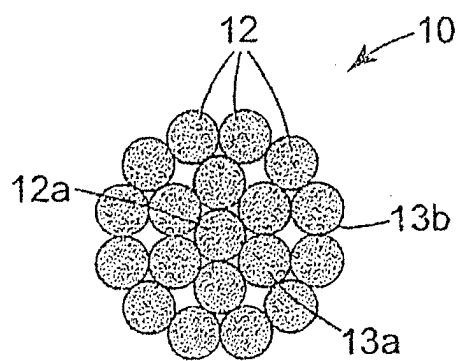
***Fig. 4***



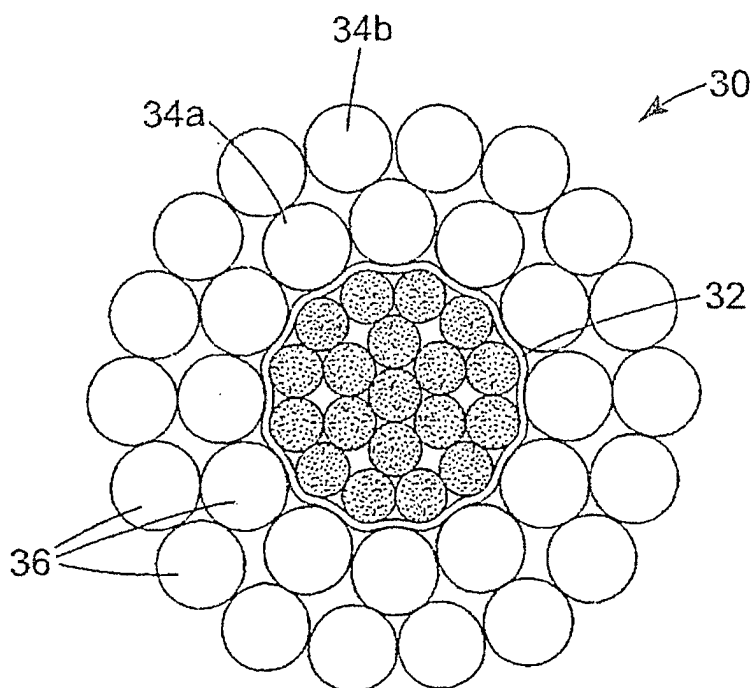
***Fig. 5***



***Fig. 6***



*Fig. 7*



*Fig. 8*