



(12)

## Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2017/168842**  
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2  
IntPatÜG)  
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2016 006 665.1**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2016/085960**  
(86) PCT-Anmeldetag: **02.12.2016**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **05.10.2017**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **20.12.2018**

(51) Int Cl.: **H01B 11/12 (2006.01)**  
**H01B 7/02 (2006.01)**  
**H01B 7/18 (2006.01)**  
**H01B 11/06 (2006.01)**  
**H01B 11/02 (2006.01)**  
**H01B 13/02 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:  
**2016-071314**      **31.03.2016**      **JP**

(74) Vertreter:  
**Horn Kleimann Waitzhofer Patentanwälte PartG mbB, 80339 München, DE**

(71) Anmelder:  
**AutoNetworks Technologies, Ltd., Yokkaichi-shi, Mie, JP; Sumitomo Electric Industries, Ltd., Osaka, JP; Sumitomo Wiring Systems, Ltd., Yokkaichi-shi, Mie, JP**

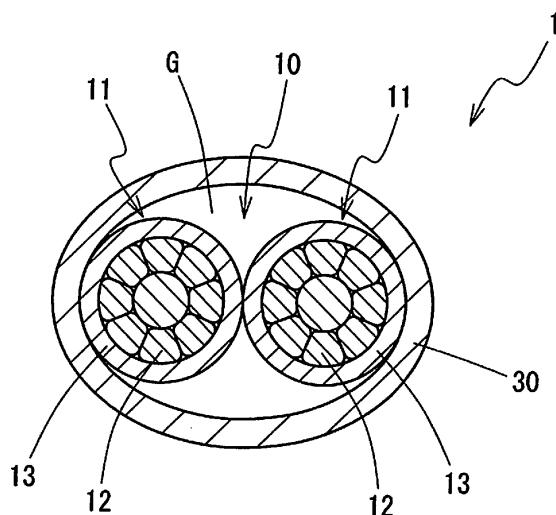
(72) Erfinder:  
**Uegaki, Ryoma, Yokkaichi-shi, Mie, JP; Taguchi, Kinji, Yokkaichi-shi, Mie, JP**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Kommunikationskabel**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Kommunikationskabel offenbart, das einen verkleinerten Durchmesser bei gleichzeitiger Sicherstellung einer erforderlichen Größe der charakteristischen Impedanz aufweist. Das Kommunikationskabel (1) enthält ein verdrilltes Paar (10), welches ein Paar von miteinander verdrillten isolierten Leitungen (11, 11) aufweist, und einen Mantel (30), welcher das verdrillte Paar (10) umkleidet. Jede der isolierten Leitungen (11, 11) enthält einen Leiter (12) mit einer Zugfestigkeit von 400 MPa oder größer und eine den Leiter (12) umkleidende Isolierumhüllung (13). Zwischen dem Mantel (30) und dem verdrillten Paar (10) bildenden isolierten Leitungen (11, 11) ist ein Zwischenraum G ausgebildet. Das Kommunikationskabel (1) hat eine charakteristische Impedanz von  $100\pm10 \Omega$ .



**Beschreibung****TECHNISCHES GEBIET**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Kommunikationskabel und insbesondere ein Kommunikationskabel, welches für eine Hochgeschwindigkeitskommunikation, wie beispielsweise in einem Fahrzeug, verwendet werden kann.

**TECHNISCHER HINTERGRUND**

**[0002]** Eine Nachfrage nach einer Hochgeschwindigkeitskommunikation nimmt, beispielsweise im Fahrzeughbereich, zu. Übertragungseigenschaften eines für eine Hochgeschwindigkeitskommunikation verwendeten Kabels, wie beispielsweise eine charakteristische Impedanz davon, müssen genau kontrolliert werden. Zum Beispiel muss eine charakteristische Impedanz eines für eine Ethernet-Kommunikation verwendeten Kabels kontrolliert werden, so dass sie  $100\pm10 \Omega$  beträgt.

**[0003]** Eine charakteristische Impedanz eines Kommunikationskabels hängt von speziellen Eigenschaften davon ab, wie beispielsweise von einem Durchmesser eines Leiters und von Typ und Dicke einer Isolierumhüllung. Zum Beispiel zeigt Patentdokument 1 ein abgeschirmtes Kommunikationskabel, das ein verdrilltes Paar enthält, welches ein Paar von miteinander verdrillten isolierten Kabelseelen aufweist, wobei jede isolierte Kabelseele einen Leiter und einen den Leiter umkleidenden Isolator aufweist. Das Kabel enthält ferner einen Metallfolien-Schirm, welcher das verdrillte Paar umkleidet, eine Erdungsleitung, welche elektrisch mit dem Schirm verbunden ist, und einen Mantel, welcher das verdrillte Paar, die Erdungsleitung und den Schirm zusammen umkleidet. Das Kabel hat eine charakteristische Impedanz von  $100\pm10 \Omega$ . Die in Patentdokument 1 verwendeten isolierten Kabelseelen haben einen Leiterdurchmesser von 0,55 mm, und der den Leiter umkleidenden Isolator hat eine Dicke von 0,35 bis 0,45 mm.

**ZITATLISTE****Patentdokument**

**[0004]** Patentdokument 1: JP 2005-32583 A

**ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG****Technisches Problem**

**[0005]** Es gibt einen großen Bedarf, einen Durchmesser eines Kommunikationskabels zu reduzieren, das beispielsweise in einem Fahrzeug angebracht ist. Um diesen Bedarf zu decken, muss die Größe des Kabels bei zufriedenstellenden geforderten Übertragungseigenschaften, einschließlich einer charakteristischer Impedanz, verringert werden. Eine Möglichkeit, den Durchmesser eines verdrillten Paares enthaltenden Kommunikationskabels zu verringern, ist, Isolierumhüllungen von isolierten Leitungen, die das verdrillte Paar bilden, dünner auszugestalten. Wenn allerdings die Dicke des Isolators bei dem in Patentdokument 1 gezeigten Kommunikationskabel kleiner als 0,35 mm gewählt wird, fällt gemäß einer Untersuchung der Erfinder der vorliegenden Erfindung die charakteristische Impedanz auf unterhalb von  $90 \Omega$  ab. Die ist außerhalb des Bereiches von  $100\pm10 \Omega$ , der für eine Ethernet-Kommunikation erforderlich ist.

**[0006]** Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Kommunikationskabel mit einem verkleinerten Durchmesser zu schaffen, bei dem eine erforderliche Größe der charakteristischen Impedanz sichergestellt ist.

**Lösung des Problems**

**[0007]** Zur Lösung der Aufgabe und gemäß dem Ziel der vorliegenden Erfindung enthält ein Kommunikationskabel gemäß der vorliegenden Erfindung ein verdrilltes Paar, welches ein Paar von miteinander verdrillten isolierten Leitungen aufweist. Jede isolierte Leitung enthält einen Leiter, welcher eine Zugfestigkeit von 400 MPa oder größer aufweist, und eine Isolierumhüllung, welche den Leiter umkleidet. Das Kommunikationskabel enthält einen Mantel, welcher aus einem Isoliermaterial hergestellt ist und das verdrillte Paar umkleidet, und einen Zwischenraum zwischen dem Mantel und den das verdrillte Paar bildenden isolierten Leitungen.

**[0008]** Bevorzugt weist jede der isolierten Leitungen eine Leiter-Querschnittsfläche kleiner als  $0,22 \text{ mm}^2$  auf. Bevorzugt weist die Isolierumhüllung von jeder der isolierten Leitungen eine Dicke von  $0,30 \text{ mm}$  oder kleiner auf. Bevorzugt weist jede der isolierten Leitungen einen Außendurchmesser von  $1,05 \text{ mm}$  oder kleiner auf. Bevorzugt weist der Leiter von jeder der isolierten Leitungen eine Bruchdehnung von 7% oder größer auf.

**[0009]** Bevorzugt nimmt der Zwischenraum 8% oder mehr einer Fläche eines von einer Außenfläche des Mantels umgebenen Bereiches in einem Querschnitt des Kommunikationskabels durch eine Achse des Kabels ein. Bevorzugt nimmt der Zwischenraum 30% oder weniger einer Fläche eines von einer Außenfläche des Mantels umgebenen Bereiches in einem Querschnitt des Kommunikationskabels durch eine Achse des Kabels ein. Bevorzugt hat das verdrillte Paar eine Schlaglänge in der Größe des 45-fachen eines Außendurchmessers von jeder der isolierten Leitungen oder kleiner. Bevorzugt hat der Mantel eine Haftfestigkeit an den isolierten Leitungen von 4 N oder größer.

#### Vorteilhafte Effekte der Erfindung

**[0010]** Bei dem vorstehend beschriebenen Kommunikationskabel kann, da der Leiter von jeder der das verdrillte Paar bildenden isolierten Leitungen die hohe Zugfestigkeit von  $400 \text{ MPa}$  oder größer aufweist, der Durchmesser des Leiters verringert werden, während eine ausreichende Stärke, die für eine elektrische Leitung erforderlich ist, sichergestellt wird. Daher ist der Abstand zwischen den zwei das verdrillte Paar bildenden Leiter verringert, wodurch die charakteristische Impedanz des Kommunikationskabels erhöht werden kann. Daher kann die charakteristische Impedanz des Kommunikationskabels selbst dann in dem Bereich von  $100 \pm 10 \Omega$  sichergestellt werden, ohne dass sie auf einen Wert unterhalb des Bereiches abfällt, wenn die Isolierumhüllung von jeder der isolierten Leitungen dünn ausgestaltet wird, um den Durchmesser des Kommunikationskabels zu verkleinern.

**[0011]** Außerdem enthält das Kommunikationskabel den Zwischenraum zwischen dem Mantel, welcher das verdrillte Paar umkleidet, und den isolierten Leitungen, welche das verdrillte Paar bilden, und um das verdrillte Paar herum befindet sich eine Luftsicht, wodurch die charakteristische Impedanz des Kommunikationskabels größer sein kann als in dem Fall, bei dem der Mantel den Zwischenraum ausfüllt. Daher kann eine genügend große charakteristische Impedanz für das Kommunikationskabel einfach sichergestellt werden, selbst wenn die Dicke der Isolierumhüllung von jeder der isolierten Leitungen verringert wird. Eine Verringerung der Dicke der Isolierumhüllung führt zu einer Verkleinerung des gesamten Außendurchmessers des Kommunikationskabels.

**[0012]** Wenn jede der isolierten Leitungen die Leiter-Querschnittsfläche aufweist, die kleiner als  $0,22 \text{ mm}^2$  ist, wird die charakteristische Impedanz des Kommunikationskabels aufgrund des Effektes der Verkleinerung des Abstands zwischen den zwei das verdrillte Paar bildenden isolierten Leitungen vergrößert, wodurch eine Verkleinerung des Durchmessers des Kommunikationskabels durch Verringerung der Dicke der Isolierumhüllung, während die erforderliche charakteristische Impedanz sichergestellt wird, vereinfacht ist. Des Weiteren hat der kleine Durchmesser von jedem Leiter selbst den Effekt, den Durchmesser des Kommunikationskabels zu verkleinern.

**[0013]** Wenn die Isolierumhüllung von jeder der isolierten Leitungen die Dicke von  $0,30 \text{ mm}$  oder kleiner aufweist, ist der Durchmesser von jeder der isolierten Leitungen ausreichend klein, wodurch der Durchmesser des gesamten Kommunikationskabels effektiv verkleinert werden kann.

**[0014]** Auch wenn jede der isolierten Leitungen den Außendurchmesser von  $1,05 \text{ mm}$  oder kleiner aufweist, kann der Durchmesser des gesamten Kommunikationskabels effektiv verkleinert werden kann.

**[0015]** Wenn der Leiter von jeder der isolierten Leitungen die Bruchdehnung von 7% oder größer aufweist, hat der Leiter eine hohe Schlagfestigkeit, wodurch der Leiter dem Schlag gut widerstehen kann, der auf den Leiter wirkt, wenn das Kommunikationskabel in einen Kabelstrang verarbeitet wird oder wenn der Kabelstrang angebracht wird.

**[0016]** Wenn im Querschnitt des Kommunikationskabels durch die Achse des Kabels der Zwischenraum 8% oder mehr der Fläche des von der Außenfläche des Mantels umgebenen Bereiches einnimmt, wird der Durchmesser des Kommunikationskabels durch eine Zunahme seiner charakteristischen Impedanz effektiver verkleinert.

**[0017]** Wenn im Querschnitt des Kommunikationskabels durch die Achse des Kabels der Zwischenraum 30% oder weniger der Fläche des von der Außenfläche des Mantels umgebenen Bereiches einnimmt, ist der Zwi-

schenraum nicht zu groß, um die Position des verdrillten Paars in dem Raum innerhalb des Mantels stabil festzuhalten. Daher wird Schwankungen oder zeitlichen Änderungen der Übertragungseigenschaften des Kommunikationskabels, einschließlich der charakteristischen Impedanz, gut entgegengewirkt.

**[0018]** Wenn das verdrillte Paar die Schlaglänge in der Größe des 45-fachen des Außendurchmessers von jeder der isolierten Leitungen oder kleiner aufweist, ist die Verdrillstruktur des verdrillten Paars schwer zu lösen, wodurch Schwankungen oder zeitlichen Änderungen der Übertragungseigenschaften des Kommunikationskabels, einschließlich der charakteristischen Impedanz, welche durch ein Lösen der Verdrillstruktur verursacht werden können, gut entgegengewirkt wird.

**[0019]** Wenn der Mantel die Haftfestigkeit an den isolierten Leitungen von 4 N oder größer aufweist, treten Veränderungen der Position des verdrillten Paars innerhalb des Mantels oder ein Lösen der Verdrillstruktur davon kaum auf. Daher wird Schwankungen oder zeitlichen Änderungen der Übertragungseigenschaften des Kommunikationskabels, einschließlich der charakteristischen Impedanz, die durch die Veränderung oder das Lösen verursacht werden können, gut entgegengewirkt.

#### Figurenliste

**Fig. 1** ist eine Querschnittsansicht, welche ein Kommunikationskabel mit einem Mantel, der die Form einer losen Hülle hat, gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

**Fig. 2** ist eine Querschnittsansicht, welche ein Kommunikationskabel mit einem Mantel zeigt, der die Form einer gefüllten Hülle hat.

**Fig. 3A** und **Fig. 3B** sind beispielhafte Zeichnungen, welche zwei Typen von Verdrillstrukturen zeigen: **Fig. 3A** zeigt eine erste Verdrillstruktur (ohne Verwindung), wohingegen **Fig. 3B** eine zweite Verdrillstruktur (mit Verwindung) zeigt. In jeder Figur dient eine gestrichelte Linie als eine Führung, um Abschnitte entlang der Achse einer isolierten Leitung zu zeigen, welche sich jeweils bezüglich der Achse der isolierten Leitung an einer identischen Position befinden.

**Fig. 4** zeigt eine Beziehung zwischen der Dicke der Isolierumhüllungen der isolierten Leitungen und der charakteristischen Impedanz für die Fälle, in denen der Mantel die Form einer losen oder einer gefüllten Hülle hat. Außerdem ist in der Figur ein Simulationsergebnis für den Fall ohne Mantel gezeigt.

#### BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORMEN

**[0020]** Nachstehend folgt eine detaillierte Beschreibung eines Kommunikationskabels gemäß der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

#### Konfiguration des Kommunikationskabels

**[0021]** **Fig. 1** zeigt eine Querschnittsansicht des Kommunikationskabels **1** gemäß der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**[0022]** Das Kommunikationskabel **1** umfasst ein verdrilltes Paar **10**, welches ein Paar von isolierten Leitungen **11, 11** aufweist, welche miteinander verdrillt sind. Jede der isolierten Leitungen **11** umfasst einen Leiter **12** und eine Isolierumhüllung **13**, welche den Leiter **12** an der Außenfläche des Leiters **12** umkleidet. Das Kommunikationskabel **1** umfasst außerdem einen Mantel **30**, der aus einem Isoliermaterial hergestellt ist und das gesamte verdrillte Paar **10** an dem äußeren Umfang des verdrillten Paars **10** umkleidet.

**[0023]** Das Kommunikationskabel **1** hat eine charakteristische Impedanz von  $100 \pm 10 \Omega$ . Eine charakteristische Impedanz von  $100 \pm 10 \Omega$  ist für ein Kabel, das für eine Ethernet-Kommunikation verwendet wird, erforderlich. Das Kommunikationskabel **1** mit der charakteristischen Impedanz kann für eine Hochgeschwindigkeitskommunikation, wie beispielsweise in einem Fahrzeug, geeignet verwendet werden.

#### Konfiguration der isolierten Leitungen

**[0024]** Die Leiter **12** der das verdrillte Paar **10** bildenden isolierten Leitungen **11** sind Metalldrähte, welche eine Zugfestigkeit von 400 MPa oder größer haben. Spezielle Beispiele für die Metalldrähte, welche nachstehend veranschaulicht werden, umfassen Kupferlegierungsdrähte, die Fe und Ti aufweisen, und Kupferlegierungsdrähte, die Fe, P und Sn aufweisen. Die Zugfestigkeit der Leiter **12** ist bevorzugt 440 MPa oder größer, und noch bevorzugter 480 MPa oder größer.

**[0025]** Da die Leiter **12** die Zugfestigkeit von 400 MPa oder größer, 440 MPa oder größer, oder 480 MPa oder größer haben, können die Leiter eine für elektrische Leitungen erforderliche Zugfestigkeit aufrechterhalten, selbst wenn der Durchmesser der Leiter **12** verringert wird. Wenn der Durchmesser der Leiter **12** verringert wird, wird der Abstand zwischen den zwei Leiter **12, 12**, die das verdrillte Paar **10** bilden, (d.h. die Länge der Linie, welche die Mitten der Leiter **12, 12** miteinander verbindet) verringert, wodurch die charakteristische Impedanz des Kommunikationskabels **1** vergrößert wird. Zum Beispiel kann der Durchmesser der Leiter **12** derart klein sein, dass eine Leiter-Querschnittsfläche kleiner als  $0,22 \text{ mm}^2$  vorliegt, und noch bevorzugter eine Leiter-Querschnittsfläche von  $0,15 \text{ mm}^2$  oder kleiner, oder von  $0,13 \text{ mm}^2$  oder kleiner. Der Außendurchmesser der Leiter **12** kann  $0,55 \text{ mm}$  oder kleiner sein, bevorzugter  $0,50 \text{ mm}$  oder kleiner, und noch bevorzugter  $0,45 \text{ mm}$  oder kleiner. Wenn der Durchmesser der Leiter **12** allerdings zu klein ist, können die Leiter **12** kaum mehr eine ausreichende Stärke haben, und die charakteristische Impedanz des Kommunikationskabels **1** kann zu groß sein. Daher ist die Leiter-Querschnittsfläche der Leiter **12** bevorzugt  $0,08 \text{ mm}^2$  oder größer.

**[0026]** Wenn die Leiter **12** eine kleine Leiter-Querschnittsfläche haben, die kleiner als  $0,22 \text{ mm}^2$  ist, kann eine charakteristische Impedanz von  $100\pm10 \Omega$  für das Kommunikationskabel **1** sichergestellt werden, selbst wenn die Dicke der die Leiter **12** umkleidenden Isolierumhüllungen **13** verringert ist, zum Beispiel auf  $0,30 \text{ mm}$  oder kleiner. Herkömmliche elektrische Kupferleitungen können kaum mit einer Leiter-Querschnittsfläche kleiner als  $0,22 \text{ mm}^2$  verwendet werden, weil die Leitungen geringere Zugfestigkeiten haben.

**[0027]** Die Leiter **12** weisen bevorzugt eine Bruchdehnung von 7% oder größer auf. Allgemein hat ein Leiter, der eine hohe Zugfestigkeit hat, eine geringe Belastbarkeit, und zeigt daher eine geringe Schlagfestigkeit, wenn eine Kraft schnell auf den Leiter einwirkt. Wenn allerdings die vorstehend beschriebenen Leiter **12** mit der hohen Zugfestigkeit von 400 MPa oder größer eine Bruchdehnung von 7% oder größer aufweisen, können die Leiter **12** Schlägen gegenüber, die auf die Leiter **12** einwirken, wenn das Kommunikationskabel **1** zu einem Kabelstrang verarbeitet wird oder wenn der Kabelstrang angebracht wird, einen sehr guten Widerstand leisten. Die Bruchdehnung der Leiter **12** ist noch bevorzugter 10% oder größer.

**[0028]** Jeder der Leiter **12** kann aus einem einzelnen Draht bestehen; allerdings ist es im Hinblick auf eine hohe Biegsamkeit bevorzugt, dass die Leiter **12** aus Litzen bestehen, von denen jede eine Mehrzahl von miteinander verselten Einzeldrähten aufweist. In diesem Fall können die Leiter **12** verpresste Litzen sein, welche nach einem Verpressen der Einzeldrähte durch Verpressen von Litzen ausgebildet werden. Der jeweilige Außendurchmesser der Leiter **12** kann durch das Verpressen verringert werden. Ferner können, wenn die Leiter **12** Litzen sind, die Leiter **12** aus einem einzelnen Typ von Einzeldrähten oder aus zwei oder mehreren Typen von Einzeldrähten bestehen, solange jeder der Leiter **12** als Ganzes die Zugfestigkeit von 400 MPa oder größer aufweist. Beispiele für die Leiter **12**, die aus zwei oder mehreren Typen von Einzeldrähten bestehen, umfassen Leiter, die nachstehend beschriebene Kupferlegierungsdrähte enthalten, welche Fe und Ti enthalten, oder solche, die Fe, P und Sn enthalten, und ferner umfassen sie Einzeldrähte, die aus einem anderen Metallmaterial als eine Kupferlegierung hergestellt sind, wie beispielsweise aus SUS.

**[0029]** Die Isolierumhüllungen **13** der isolierten Leitungen **11** können aus jeder Art von Polymermaterial hergestellt sein. Bevorzugt haben die Isolierumhüllungen **13** eine relative Dielektrizitätskonstante von 4,0 oder kleiner, um die erforderliche hohe charakteristische Impedanz sicherzustellen. Beispiele des Polymermaterial, das die relative Dielektrizitätskonstante hat, umfassen Polyolefin, wie beispielsweise Polyethylen und Polypropylen, Polyvinylchlorid, Polystyren, Polytetrafluoroethylen und Polyphenylensulfid. Ferner können die Isolierumhüllungen **13** Zusätze enthalten, wie beispielsweise ein Flammenschutzmittel zusätzlich zu dem Polymermaterial.

**[0030]** Die charakteristische Impedanz des Kommunikationskabels **1** wird durch Verkleinern des jeweiligen Durchmessers der Leiter **12**, wodurch die beiden Leiter **12, 12** näher beieinander angeordnet werden, erhöht. Demnach kann die Dicke der Isolierumhüllungen **13**, die nötig ist, um die erforderliche charakteristische Impedanz sicherzustellen, verringert werden. Zum Beispiel ist die Dicke der Isolierumhüllungen **13** bevorzugt  $0,30 \text{ mm}$  oder kleiner, bevorzugter  $0,25 \text{ mm}$  oder kleiner, und noch bevorzugter  $0,20 \text{ mm}$  oder kleiner. Wenn die Isolierumhüllungen **13** allerdings zu dünn sind, kann es schwer sein, die erforderliche hohe charakteristische Impedanz sicherzustellen. Daher ist die Dicke der Isolierumhüllungen **13** bevorzugt größer als  $0,15 \text{ mm}$ .

**[0031]** Durch Verringern des jeweiligen Durchmessers der Leiter **12** und der jeweiligen Dicke der Isolierumhüllungen **13**, wird jeweils der gesamte Durchmesser der isolierten Leitungen **11** verringert. Zum Beispiel kann der Außendurchmesser der isolierten Leitungen **11** jeweils  $1,05 \text{ mm}$  oder kleiner sein, bevorzugter  $0,95 \text{ mm}$  oder kleiner, und noch bevorzugter  $0,85 \text{ mm}$  oder kleiner. Ein Verringern des Durchmessers der isolierten Leitungen **11** dient dazu, den Durchmesser des Kommunikationskabels **1** als Ganzes zu verringern.

**[0032]** Bei den isolierten Leitungen **11** ist es bevorzugt, dass die Einheitlichkeit der Dicke der Isolierumhüllungen **13** (d.h. die Isolierdicke) um die Leiter **12** herum größer ist. Mit anderen Worten ist es bevorzugt, dass eine Abweichung der Dicke der Isolierumhüllungen **13** kleiner ist. In diesem Fall ist die Exzentrizität der Leiter **12** kleiner, und daher ist die Symmetrie der Positionen der Leiter **12** innerhalb des verdrillten Paars **10** größer. Folglich hat das Kommunikationskabel **1** bessere Übertragungseigenschaften, und insbesondere bessere Modenkonvertierungseigenschaften. Zum Beispiel ist es bevorzugt, dass das Exzentrizitätsverhältnis der isolierten Leitungen **11** 65% oder größer ist, und bevorzugter 75% oder größer. Hier wird das Exzentrizitätsverhältnis berechnet als:

$$(\text{kleinste Isolierdicke}) / (\text{größte Isolierdicke}) \times 100\%.$$

#### Verdrillstruktur des verdrillten Paars

**[0033]** Das verdrillte Paar **10** kann durch miteinander Verdrillen der zwei isolierten Leitungen **11** ausgebildet werden. Die Schlaglänge kann geeignet eingestellt werden, beispielsweise abhängig von dem Außendurchmesser der isolierten Leitungen **11**; allerdings ist die Schlaglänge bevorzugt das 60-fache des jeweiligen Außendurchmessers der isolierten Leitungen **11** oder kleiner, bevorzugter das 45-fache oder kleiner, und noch bevorzugter das 30-fache oder kleiner, um einem Lösen der Verdrillstruktur effektiv entgegenzuwirken. Ein Lösen der Verdrillstruktur kann zu Schwankungen oder zeitlichen Änderungen der Übertragungseigenschaften des Kommunikationskabels **1**, einschließlich der charakteristischen Impedanz, führen. Insbesondere kann es schwieriger sein, ein Lösen der Verdrillstruktur des Mantels **30** zu vermeiden, das durch eine auf das verdrillte Paar **10** wirkende Kraft verursacht wird, wenn der Mantel **30** die Form einer nachstehend beschriebenen losen Hülle hat als in dem Fall, in dem der Mantel **30** die Form einer gefüllten Hülle hat, da ein Zwischenraum G zwischen dem lose-Hülle-Mantel **30** und dem verdrillten Paar **10** besteht. Einem Lösen der Verdrillstruktur kann jedoch durch Anwenden der vorstehend beschriebenen bevorzugten Schlaglänge effektiv entgegengewirkt werden, selbst wenn der Mantel **30** die Form der losen Hülle hat. Durch das dem Lösen der Verdrillstruktur Entgegenwirken kann der Abstand (d.h. der Leitungsabstand) zwischen den zwei isolierten Leitungen **11**, die das verdrillte Paar **10** bilden, klein gehalten werden, zum Beispiel an jedem Abschnitt innerhalb des Schlags im Wesentlichen bei 0 mm, wodurch stabile Übertragungseigenschaften erreicht werden können. Wenn andererseits die Schlaglänge des verdrillten Paars **10** zu klein ist, kann eine Herstellungseffizienz des verdrillten Paars **10** niedrig sein und Herstellungskosten des verdrillten Paars **10** können hoch sein. Daher ist die Schlaglänge bevorzugt das 8-fache des jeweiligen Außendurchmessers der isolierten Leitungen **11** oder größer, bevorzugter das 12-fache oder größer, und noch bevorzugter das 15-fache oder größer.

**[0034]** Beispiele der Verdrillstruktur der zwei isolierten Leitungen **11** in dem verdrillten Paar **10** umfassen die zwei folgenden Strukturen: bei einer ersten in **Fig. 3A** gezeigten Verdrillstruktur ist jede der isolierten Leitungen **11** nicht um ihre Verwindeachse verwunden, und Abschnitte von jeder der isolierten Leitungen **11** ändern ihre relativen Oben-unten- oder Links-rechts-Orientierungen bezüglich ihrer eigenen Achse entlang der Verwindeachse nicht. Mit anderen Worten sind Abschnitte, die sich bezüglich der Achse von jeder der isolierten Leitungen **11** an einer identischen Position befinden, in der Verdrillstruktur durchgängig einer Richtung zugewandt, wie beispielsweise einer Hoch-Richtung. Die gestrichelte Linie in der Figur zeigt Abschnitte entlang der Achse von einer der isolierten Leitungen **11**, die sich bezüglich der Achse der isolierten Leitung **11** an einer identischen Position befinden. Da die isolierte Leitung **11** nicht verwunden ist, ist die gestrichelte Linie auf der Vorderseite der Figur in der Mitte der Leitung **11** durchgängig über die gesamte Verdrillstruktur zu sehen. Es wird angemerkt, dass die **Fig. 3A** und **Fig. 3B** das verdrillte Paar **10** in einem Zustand zeigen, in welchem die Verdrillung zum einfacheren Erkennen der Verdrillstruktur gelöst ist.

**[0035]** Bei einer zweiten, in **Fig. 3B** gezeigten, Verdrillstruktur ist jede der isolierten Leitungen **11** um ihre Verwindeachse verwunden, und Abschnitte von jeder der isolierten Leitungen **11** ändern bezüglich ihrer eigenen Achse ihre relative Oben-unter- und Links-rechts-Orientierung entlang der Verwindeachse. Mit anderen Worten sind Abschnitte, die sich bezüglich der Achse von jeder der isolierten Leitungen **11** an einer identischen Position befinden, durchgängig über die gesamte Verdrillstruktur verschiedenen Richtungen zugewandt, wie beispielsweise nach oben, nach unten, nach links und nach rechts. Die gestrichelte Linie in der Figur zeigt Abschnitte entlang der Achse von einer der isolierten Leitungen **11**, die sich bezüglich der Achse der isolierten Leitung **11** an einer identischen Position befinden. Da die isolierte Leitung **11** verwunden ist, ist die gestrichelte Linie auf der Vorderseite der Figur lediglich in einem Teil von jedem Schlag der Verdrillstruktur zu sehen. Die gestrichelte Linie ändert ihre Position bezüglich der Vorne- und Hinten-Richtung bei jedem Schlag der Verdrillstruktur kontinuierlich.

**[0036]** Die erste Verdrillstruktur ist bevorzugter als die zweite. Das hat darin seinen Grund, dass bei der ersten Verdrillstruktur eine Änderung des Leitungsabstands zwischen den zwei isolierten Leitungen **11** in jedem Schlag kleiner ist. Insbesondere können bei dem Kommunikationskabel **1** gemäß der vorliegenden Ausführungsform Änderungen bezüglich des Leitungsabstands aufgrund des Einflusses der Verwindung der isolierten Leitungen **11** leicht auftreten, da die isolierten Leitungen **11** einen verkleinerten Durchmesser haben; allerdings kann dem Einfluss der Verwindung bei der ersten Verdrillstruktur besser entgegengewirkt werden. Änderungen des Leitungsabstands können die Übertragungseigenschaften des Kommunikationskabels **1** destabilisieren.

**[0037]** Bevorzugt ist der Unterschied zwischen den Längen der zwei isolierten Leitungen **11**, die das verdrillte Paar **10** bilden, (d.h. der Leitungslängenunterschied) kleiner. In diesem Fall kann die Symmetrie der zwei isolierten Leitungen **11** in dem verdrillten Paar **10** höher sein, und daher können die Übertragungseigenschaften des verdrillten Paars **10** und insbesondere seine Modenkonvertierungseigenschaften, verbessert werden. Zum Beispiel wird dem Einfluss des Leitungslängenunterschieds gut entgegengewirkt, wenn der Leitungslängenunterschied über 1 m des verdrillten Paars **10** 5 mm oder kleiner, und bevorzugter 3 mm oder kleiner, ist.

#### Zusammenfassung der Konfiguration des Mantels

**[0038]** Der Mantel **30** dient einem Schutz des verdrillten Paars **10** und einer Aufrechterhaltung der Verdrillstruktur des verdrillten Paars **10**. In der in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsform hat der Mantel **30** die Form einer losen Hülle. Die lose Hülle hat die Form eines hohlen Schlauchs, und sie nimmt das verdrillte Paar **10** in dem Raum innerhalb des hohlen Schlauchs auf. Der Mantel **30** ist mit den isolierten Leitungen **11**, die das verdrillte Paar **10** bilden, in einigen Abschnitten entlang der Umfangsrichtung der Innenfläche des Mantels **30** in Kontakt, während in den anderen Abschnitten zwischen dem Mantel **30** und den isolierten Leitungen **11** ein Zwischenraum **G** besteht. In dem Zwischenraum **G** befindet sich eine Luftsicht. Details der Konfiguration des Mantels **30** werden nachstehend beschrieben.

**[0039]** Zur Beurteilung des Zustands des Kommunikationskabels **1** in seinem Querschnitt im Hinblick zum Beispiel darauf, ob ein Zwischenraum **G** zwischen dem Mantel **30** und den isolierten Leitungen **11** besteht oder wie groß der Zwischenraum **G** ist, wie nachstehend beschrieben, ist es bevorzugt, dass das gesamte Kommunikationskabel **1** in einem Harz, wie beispielsweise einem Acrylharz, eingebettet wird und in dem Harz in einem Zustand fixiert wird, in dem der Raum innerhalb des Mantels **30** mit dem Harz gefüllt ist. Dann wird das Kabel **1** geschnitten. Bei dieser Vorgehensweise beeinträchtigt der Schneidevorgang zum Erhalten des Querschnitts die Genauigkeit der Beurteilung durch Verformen des Mantels **30** oder des verdrillten Paars **10** kaum. Bei dem erhaltenen Querschnitt entspricht eine mit dem Harz gefüllte Fläche einer Fläche, die ursprünglich von einem Zwischenraum **G** eingenommen wurde.

**[0040]** Bei dem Kommunikationskabel **1** gemäß der vorliegenden Ausführungsform umgibt der Mantel **30** das verdrillte Paar **10**, im Gegensatz zu dem in Patentdokument **1** gezeigten Fall, direkt, ohne dass der Mantel **30** in seinem Inneren einen aus einem leitenden Material hergestellten Schirm aufweist, der das verdrillte Paar **10** umgibt. Der Schirm würde dazu dienen, das verdrillte Paar **10** von äußeren Störsignalen abzuschirmen und ein Aussenden von Störgeräuschen von dem verdrillten Paar **10** nach außen zu unterbinden; allerdings hat das Kommunikationskabel **1** gemäß der vorliegenden Ausführungsform den Schirm nicht, weil das Kabel **1** erwartungsgemäß unter Bedingungen verwendet wird, bei denen der Einfluss von Störsignalen unerheblich ist. Das Kommunikationskabel **1** gemäß der vorliegenden Ausführungsform sollte zwischen dem Mantel **30** und dem verdrillten Paar **10** bevorzugt weder den Schirm noch ein anderes Element aufweisen, stattdessen sollte der Mantel **30** das verdrillte Paar **10** über den Zwischenraum **G** direkt umgeben, wodurch die Verringerung des Durchmessers und der Kosten des Kabels **1** durch Vereinfachung seiner Konfiguration effektiv erreicht werden können.

#### Eigenschaften des gesamten Kommunikationskabels

**[0041]** Da die Leiter **12** der isolierten Leitungen **11**, die das verdrillte Paar **10** des Kommunikationskabels **1** bilden, eine Zugfestigkeit von 400 MPa oder größer aufweisen, kann bei dem Kommunikationskabel **1**, wie vorstehend beschrieben, eine ausreichende Stärke für die Verwendung in einem Fahrzeug gut sichergestellt werden, selbst wenn der Durchmesser der Leiter **12** verringert wird. Wenn die Leiter **12** einen verkleinerten Durchmesser haben, ist der Abstand zwischen den zwei Leiter **12**, **12** in dem verdrillten Paar **10** verkleinert. Wenn der Abstand zwischen den zwei Leiter **12**, **12** verkleinert ist, ist die charakteristische Impedanz des Kommunikationskabels **1** erhöht. Wenn die isolierten Leitungen **11**, die das verdrillte Paar **10** bilden, dünnere Isolierumhüllungen **13** haben, hat das Kommunikationskabel **1** eine niedrigere charakteristische Impedanz; allerdings kann bei der vorliegenden Ausführungsform durch den verkleinerten Abstand zwischen den Leiter **12**,

**12**, verwirklicht durch ihre verkleinerten Durchmesser, bei dem Kommunikationskabel **1** die charakteristische Impedanz von  $100\pm10 \Omega$  sichergestellt werden, selbst bei einer kleinen Dicke der Isolierumhüllungen **13**, von beispielsweise 0,30 mm oder kleiner.

**[0042]** Eine dünnerne Ausgestaltung der Isolierumhüllungen **13** der isolierten Leitungen **11** führt zu einer Verringerung des Durchmessers (d.h. des End-Durchmesser) des Kommunikationskabels **1** als Ganzes. Zum Beispiel kann der Durchmesser des Kommunikationskabels **1** auf 2,9 mm oder kleiner, und noch bevorzugter auf 2,5 mm oder kleiner, verringert werden. Das Kommunikationskabel **1** mit dem verkleinerten Durchmesser und der gleichzeitig sichergestellten erforderlichen charakteristischen Impedanz ist für eine Verwendung zur Hochgeschwindigkeitskommunikation in einem begrenzten Raum, wie beispielsweise in einem Fahrzeug, geeignet.

**[0043]** Das Verkleinern des Durchmessers der Leiter **12** und der Dicke der Isolierumhüllungen **13** bei den isolierten Leitungen **11** bewirkt eine Gewichtsreduzierung des Kommunikationskabels **1** sowie eine Reduzierung des Durchmessers des Kabels **1**. Wenn das Kabel **1** für eine Kommunikation in einem Fahrzeug verwendet wird, führt die Gewichtsreduzierung des Kommunikationskabels **1** zur Gewichtsreduzierung des gesamten Fahrzeugs und dadurch zur Verbesserung einer Kraftstoffeffizienz des Fahrzeugs.

**[0044]** Ferner hat das Kommunikationskabel **1** eine hohe Bruchfestigkeit, da die in den isolierten Leitungen **11** enthaltenen Leiter **12** jeweils die Zugfestigkeit von 400 MPa oder größer aufweisen. Die Bruchfestigkeit kann auf zum Beispiel 100 N oder größer, und noch bevorzugter auf 140 N oder größer, erhöht werden. Durch die hohe Bruchfestigkeit kann das Kommunikationskabel **1** an einem seiner Anschlussenden eine hohe Haltestärke bezüglich einer Komponente, wie beispielsweise einem Anschlussstück, aufweisen. Mit anderen Worten bricht das Kommunikationskabel **1** nur schwerlich an einer seiner Anschlusspositionen, an der eine Komponente, wie beispielsweise ein Anschlussstück, verbunden ist.

**[0045]** Besonders bevorzugt sollte ein Kommunikationskabel Übertragungseigenschaften, wie beispielsweise Übertragungsverlust (IL), Reflektionsverlust (RL), Übertragungs-Modenkonvertierung (LCTL) und Reflektions-Modenkonvertierung (LCL), aufweisen, welche ein erforderliches Niveau erfüllen, sowie eine ausreichend hohe charakteristische Impedanz, wie beispielsweise  $100\pm10 \Omega$ . Insbesondere kann das Kommunikationskabel **1** gemäß der vorliegenden Ausführungsform die Kriterien  $IL \leq 0,68 \text{ dB/m}$  (66 MHz),  $RL \geq 20,0 \text{ dB}$  (20 MHz),  $LCTL \geq 46,0 \text{ dB}$  (50 MHz) und  $LCL \geq 46,0 \text{ dB}$  (50 MHz) erfüllen, selbst wenn die Dicke der Isolierumhüllungen **13** der isolierten Leitungen **11** kleiner ist als 0,25 mm, und ferner 0,15 mm oder kleiner ist, da der Mantel **30** die Form der losen Hülle aufweist.

#### Detaillierte Konfiguration des Mantels

**[0046]** Bei der vorliegenden Ausführungsform hat, wie vorstehend beschrieben, das Kommunikationskabel **1** einen Mantel **30**, der die Form einer losen Hülle aufweist, und es besteht ein Zwischenraum **G** zwischen dem Mantel **30** und den isolierten Leitungen **11**, die das verdrillte Paar **10** bilden. Wie in **Fig. 2** gezeigt, ist außerdem ein Kommunikationskabel **1'** vorgesehen, das einen Mantel **30'** in Form einer gefüllten Hülle hat. In diesem Fall ist der Mantel **30'** in Kontakt mit den isolierten Leitungen **11**, die das verdrillte Paar bilden **10**, oder er füllt den sich nah zu den isolierten Leitungen **11** erstreckenden Raum aus. Das Kabel **1'** hat im Wesentlichen keinen Zwischenraum zwischen dem Mantel **30'** und den isolierten Leitungen **11**, abgesehen von einem Zwischenraum, der unvermeidlich bei dem Herstellungsprozess gebildet wird.

**[0047]** Im Hinblick auf die Verkleinerung des Durchmessers des Kommunikationskabels **1** bei gleichzeitigem Sicherstellen eines erforderlichen hohen Wertes der charakteristischen Impedanz, weist der Mantel **30** noch bevorzugter die Form der losen Hülle anstatt die Form der gefüllten Hülle auf. Dies hat darin seinen Grund, dass die charakteristische Impedanz des Kommunikationskabels **1** größer ist, wenn das verdrillte Paar **10** von einem Material mit einer kleineren Dielektrizitätskonstante (siehe nachstehende Gleichung (1)) umgeben wird. Die lose-Hülle-Konfiguration, bei welcher eine Luftsicht das verdrillte Paar **10** umgibt, erzeugt eine größere charakteristische Impedanz als die gefüllte-Hülle-Konfiguration, bei welcher sich ein dielektrisches Material unmittelbar außerhalb des verdrillten Paars **10** befindet. Daher kann die lose-Hülle-Konfiguration die charakteristische Impedanz von  $100\pm10 \Omega$  bei dünneren Isolierumhüllungen **13** der isolierten Leitungen **11** besser sicherstellen als die gefüllte-Hülle-Konfiguration. Die dünneren Isolierumhüllungen **13** tragen zu einer Reduzierung des Durchmessers der isolierten Leitungen **11** sowie des gesamten Kommunikationskabels **1** bei.

**[0048]** Insbesondere wenn die Leiter **12** der isolierten Leitungen **11** eine Zugfestigkeit von 400 MPa oder größer aufweisen und der Mantel **30** die Form der losen Hülle hat, kann eine charakteristische Impedanz von  $100\pm10 \Omega$  für das Kommunikationskabel **1** selbst dann sichergestellt werden, wenn die Dicke der Isolierumhüllung

lungen **13** der isolierten Leitungen **11** kleiner als 0,25 mm ist, oder ferner 0,20 mm oder kleiner ist. In diesem Fall kann der Außendurchmesser des gesamten Kommunikationskabels 12,5 mm oder kleiner sein.

**[0049]** Ferner hat das Kommunikationskabel **1** mit dem lose-Hülle-Mantel **30** ein leichteres Gewicht pro Einheitslänge als mit dem gefüllte-Hülle-Mantel, da die lose-Hülle-Konfiguration eine kleinere Materialmenge erfordert. Eine Gewichtsreduzierung des Mantels **30** durch Anwenden der lose-Hülle-Konfiguration zusammen mit der vorstehend beschriebenen Verkleinerung des Durchmessers der Leiter **12** und der Dicke der Isolierumhüllungen **13** trägt zur Gewichtsreduzierung des Kommunikationskabels **1** als Ganzes und zur Verbesserung der Kraftstoffeffizienz eines Fahrzeugs bei, in welchem das Kabel **1** angebracht ist.

**[0050]** Obwohl das Kommunikationskabel **1** mit dem lose-Hülle-Mantel **30** aufgrund der Form eines hohlen Zylinders des Mantels **30** empfindlich sein kann für den Einfluss von unbeabsichtigter Krümmung oder Biegung, wird der Einfluss durch die Verwendung der Leiter **12** mit der Zugfestigkeit von 400 MPa oder größer abgeschwächt.

**[0051]** Wenn zwischen dem Mantel **30** und den isolierten Leitungen **11** ein größerer Zwischenraum **G** besteht, hat das Kommunikationskabel **1** eine kleinere effektive Dielektrizitätskonstante (siehe nachstehende Gleichung (1)) und somit eine größere charakteristische Impedanz. Wenn in einem Querschnitt des Kommunikationskabels **1**, der im Wesentlichen senkrecht zu der Achse des Kabels **1** verläuft, das Verhältnis der von dem Zwischenraum **G** eingenommenen Fläche (nachstehend „Außenfläche-Verhältnis“ genannt) 8% oder mehr der Gesamtfläche des Bereiches beträgt, der von der Außenfläche des Mantels **30** umgeben wird, oder, anders ausgedrückt, der Querschnittsfläche des Kabels **1** einschließlich der Dicke des Mantels **30**, kann die charakteristische Impedanz von  $100 \pm 10 \Omega$  gut sichergestellt werden. Dies hat darin seinen Grund, dass um das verdrillte Paar **10** herum eine Schicht von einer ausreichenden Luftmenge vorhanden ist. Das Außenfläche-Verhältnis des Zwischenraums **G** beträgt noch bevorzugter 15 % oder mehr. Wenn andererseits das Verhältnis der Fläche, die der Zwischenraum **G** einnimmt, zu groß ist, kann eine Positionsverschiebung des verdrillten Paars **10** innerhalb des Mantels **30** und ein Lösen der Verdrillstruktur des verdrillten Paars **10** leicht auftreten. Diese Phänomene können zu Schwankungen oder zeitlichen Änderungen der Übertragungseigenschaften des Kommunikationskabels **1**, einschließlich der charakteristischen Impedanz, führen. Um den Schwankungen oder zeitlichen Änderungen entgegenzuwirken, ist das Außenfläche-Verhältnis des Zwischenraums **G** bevorzugt 30% oder kleiner, und noch bevorzugter 23% oder kleiner.

**[0052]** Um das Verhältnis des Zwischenraums **G** zu definieren, kann anstatt des vorstehend beschriebenen Außenfläche-Verhältnisses ein Index verwendet werden, der in dem Querschnitt des Kommunikationskabels **1**, der im Wesentlichen senkrecht zu der Achse des Kabels **1** verläuft, das Verhältnis der Fläche ausdrückt, die der Zwischenraum **G** (nachstehend „Innenfläche-Verhältnis“ genannt) relativ zu der Gesamtfläche des Bereiches einnimmt, der von der Innenfläche des Mantels **30** umgeben wird, oder, mit anderen Worten, relativ zu der Querschnittsfläche des Kabels **1** ausschließlich der Dicke des Mantels **30**. Aus dem gleichen Grund wie vorstehend für das Außenfläche-Verhältnis beschrieben, beträgt das Innenfläche-Verhältnis des Zwischenraums **G** bevorzugt 26% oder mehr, und noch bevorzugter 39% oder mehr, während es bevorzugt 56% oder weniger, und noch bevorzugter 50% oder weniger, beträgt. Das Außenfläche-Verhältnis ist bevorzugt als das Innenfläche-Verhältnis als ein Index zu verwenden, um die Größe des Zwischenraums **G** zum Sicherstellen der ausreichenden charakteristischen Impedanz zu definieren, weil die Dicke des Mantels **30** einen Einfluss auf die effektive Dielektrizitätskonstante und die charakteristische Impedanz des Kommunikationskabels **1** hat. Dennoch kann auch das Innenfläche-Verhältnis insbesondere dann ein guter Index sein, wenn der Mantel **30** so dick ist, dass die Dicke des Mantels **30** nur geringen Einfluss auf die charakteristische Impedanz des Kommunikationskabels **1** hat.

**[0053]** Das Verhältnis des Zwischenraums **G** im Querschnitt des Kommunikationskabels **1** kann abhängig von der Position innerhalb eines Schlags des verdrillten Paars **10** unterschiedlich sein. In solch einem Fall ist es bevorzugt, dass das Außenfläche-Verhältnis oder das Innenfläche-Verhältnis des Zwischenraums **G** im Durchschnitt über die Länge, die einem Schlag des verdrillten Paars **10** entspricht, innerhalb des vorstehend beschriebenen bevorzugten Bereiches liegt, und es ist besonders bevorzugt, dass das Verhältnis überall über die Länge, die dem einen Schlag entspricht, in dem Bereich liegt. Alternativ hierzu kann das Verhältnis des Zwischenraums **G** basierend auf dem Volumen des Zwischenraums **G** über die dem einem Schlag des verdrillten Paars **10** entsprechende Länge beurteilt werden. Insbesondere ist das Verhältnis des von dem Zwischenraum **G** eingenommenen Volumens (nachstehend Außenvolumen-Verhältnis genannt) relativ zu dem Volumen des Bereiches, der von der Außenfläche des Mantels **30** über die dem einem Schlag des verdrillten Paars **10** entsprechende Länge umgeben ist, bevorzugt 7% oder mehr, und noch bevorzugter 14% oder mehr. Andererseits ist das äußeres-Volumen-Verhältnis bevorzugt 29% oder weniger, und noch bevorzugter 22% oder weniger.

Alternativ ist außerdem das Verhältnis des von dem Zwischenraum **G** eingenommenen Volumens (nachstehend Innenvolumen-Verhältnis genannt) relativ zu dem Volumen des Bereiches, der von der Innenfläche des Mantels **30** über die dem einen Schlag des verdrillten Paars **10** entsprechende Länge umgeben ist, bevorzugt 25% oder mehr, und noch bevorzugter 38% oder mehr. Andrerseits ist das Innenvolumen-Verhältnis bevorzugt 55% oder weniger, und noch bevorzugter 49% oder weniger.

**[0054]** Wenn sich zwischen dem Mantel **30** und den isolierten Leitungen **11** ein größerer Zwischenraum **G** befindet, ist außerdem die durch nachstehende Gleichung (1) ausgedrückte effektive Dielektrizitätskonstante kleiner, wie vorstehend beschrieben. Die effektive Dielektrizitätskonstante hängt von der Größe des Zwischenraums **G** ab sowie von anderen Parametern, wie beispielsweise der Art des Materials des Mantels **30** und der Dicke des Mantels **30**. Wenn die Größe des Zwischenraums **G** und die anderen Parameter so eingestellt werden, dass eine effektive Dielektrizitätskonstante von 7,0 oder kleiner, und noch bevorzugter von 6,0 oder kleiner, erreicht wird, kann die charakteristische Impedanz des Kommunikationskabels **1** effektiv auf bis zu  $100 \pm 10 \Omega$  erhöht werden. Andrerseits ist im Hinblick auf eine Herstellbarkeit und Zuverlässigkeit des Kommunikationskabels **1** und auf ein Gewährleisten einer Mindestdicke für die Isolierumhüllungen **13** die effektive Dielektrizitätskonstante bevorzugt 1,5 oder größer, und noch bevorzugter 2,0 oder größer. Die Größe des Zwischenraums **G** kann durch bestimmte Bedingungen für das Ausbilden des Mantels **30** durch Strangpressen (wie beispielsweise die Formen von Düse und Ablage sowie die Extrudertemperatur) kontrolliert werden.

Gleichung 1:

$$Z_0 = \frac{\eta_0}{\pi \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \cosh^{-1} \left( \frac{D}{d} \right) \quad (1)$$

In Gleichung 1 ist  $\epsilon_{\text{eff}}$  eine effektive Dielektrizitätskonstante, ist  $d$  ein Durchmesser der Leiter, ist  $D$  ein Außen-durchmesser des Kabels und ist  $\eta_0$  eine Konstante.

**[0055]** Wie in Fig. 1 gezeigt, sind einige Abschnitte der Innenfläche des Mantels **30** in Kontakt mit den isolierten Leitungen **11**. Wenn der Mantel **30** in den Abschnitten sehr fest an den isolierten Leitungen **11** haftet, kann der Mantel **30** Phänomene, wie beispielsweise einer Positionsverschiebung des verdrillten Paars **10** innerhalb des Mantels **30** und einem Lösen der Verdrillstruktur des verdrillten Paars **10**, durch Halten des verdrillten Paars **10** entgegenwirken. Die Haftfestigkeit des Mantels **30** an den isolierten Leitungen **11** ist bevorzugt 4 N oder größer, bevorzugter 7 N oder größer, und noch bevorzugter 8 N oder größer. Folglich kann solchen Phänomene wirksam entgegengewirkt werden. Außerdem kann der Leitungsabstand zwischen den zwei isolierten Leitungen **11** bei einem kleinen Wert, wie beispielsweise im Wesentlichen 0 mm, aufrechterhalten werden, und daher kann Schwankungen oder zeitlichen Änderungen von Übertragungseigenschaften, einschließlich der charakteristischen Impedanz, wirksam entgegengewirkt werden. Andrerseits ist die Haftfestigkeit bevorzugt 70 N oder niedriger, weil die Verarbeitbarkeit des Kommunikationskabels **1** erschwert sein kann, wenn die Haftfestigkeit des Mantels **30** zu hoch ist. Die Haftung des Mantels **30** an den isolierten Leitungen **11** kann abhängig von der Extrudertemperatur eines Harzmaterial, das um das verdrillte Paar **10** herum extrudiert wird, angepasst werden, um den Mantel **30** auszubilden. Die Haftfestigkeit kann zum Beispiel durch einen Test beurteilt werden, bei welchem ein 30-mm langer Abschnitt des Mantels **30** von einem Anschlussende des Kommunikationskabels **1** entfernt wird, das eine Länge von 150 mm hat, und dann wird an dem verdrillten Paar **10** gezogen. Die Zugstärke, bei der sich das verdrillte Paar **10** löst, kann als die Haftfestigkeit angesehen werden.

**[0056]** Wenn die Fläche, an welcher die Innenfläche des Mantels **30** mit den isolierten Leitungen **11** in Kontakt ist, größer ist, wird außerdem den Phänomene, wie beispielsweise einer Positionsverschiebung des verdrillten Paars **10** innerhalb des Mantels **30** und einem Lösen der Verdrillstruktur des verdrillten Paars **10**, besser entgegengewirkt. Den Phänomene wird wirksam entgegengewirkt, wenn im Querschnitt des Kommunikationskabels **1**, der im Wesentlichen senkrecht zu der Achse des Kabels **1** verläuft, das Verhältnis der Länge von Abschnitten, in denen der Mantel **30** mit den isolierten Leitungen **11** in Kontakt ist, (nachstehend Kontaktverhältnis genannt) relativ zu der Gesamtlänge eines Innenumfangs des Mantels **30** bevorzugt 0,5% oder mehr, und noch bevorzugter 2,5% oder mehr, beträgt. Andrerseits kann der Zwischenraum **G** zuverlässig ausgebildet werden, wenn das Kontaktverhältnis 80% oder weniger, und noch bevorzugter 50% oder weniger, beträgt. Bevorzugt sollte das Kontaktverhältnis im Durchschnitt über die dem einen Schlag des verdrillten Paars **10** entsprechende Länge in dem vorstehend beschriebenen bevorzugten Bereich liegen, und es ist noch bevorzugter, dass das Kontaktverhältnis überall über die dem einen Schlag entsprechende Länge in dem Bereich liegt.

**[0057]** Die Dicke des Mantels **30** kann geeignet eingestellt werden. Zum Beispiel kann die Dicke 0,20 mm oder größer, und noch bevorzugter 0,30 mm oder größer, sein, um den Einfluss von Störsignalen von außerhalb

des Kommunikationskabels **1** zu reduzieren, wie beispielsweise von anderen Kabeln, die zusammen mit dem Kommunikationskabel **1** einen Kabelstrang bilden, und um mechanische Eigenschaften des Mantels **30**, wie beispielsweise Verschleißfestigkeit und Schlagfestigkeit, sicherzustellen. Andrerseits kann die Dicke des Mantels **30** 1,0 mm oder kleiner, und noch bevorzugter 0,7 mm oder kleiner, sein, um eine kleine effektive Dielektrizitätskonstante zu erreichen und den Durchmesser des Kommunikationskabels **1** als Ganzes zu verkleinern.

**[0058]** Obwohl der lose-Hülle-Mantel **30** zur Reduzierung des Durchmessers des Kommunikationskabels **1**, wie vorstehend beschrieben, bevorzugter ist, kann der in **Fig. 2** gezeigte gefüllte-Hülle-Mantel **30'** zum Beispiel dann verwendet werden, wenn eine Reduzierung des Durchmessers des Kabels **1** nicht unbedingt erforderlich ist. Der gefüllte-Hülle-Mantel **30'** fixiert das verdrillte Paar **10** stabiler und wirkt den Phänomenen, wie beispielsweise einer Positionsverschiebung des verdrillten Paars **10** relativ zu dem Mantel **30'** und einem Lösen der Verdrillstruktur des verdrillten Paars **10**, besser entgegen. Folglich wird durch diese Phänomene erzeugten Schwankungen oder zeitlichen Änderungen von Übertragungseigenschaften des Kommunikationskabels **1**, einschließlich der charakteristischen Impedanz, besser entgegengewirkt. Durch bestimmte Bedingungen für eine Ausbildung des Mantels **30/30'** mittels Strangpressen (wie beispielsweise die Formen einer Düse und Ablage sowie die Extrudiertemperatur) kann kontrolliert werden, ob der lose-Hülle-Mantel **30** oder der gefüllte-Hülle-Mantel **30'** ausgebildet wird. Es ist für das Kommunikationskabel **1** nicht zwingend, dass es einen Mantel **30** hat, der Mantel **30** kann auch weggelassen werden, wenn ein Weglassen des Mantels **30** keine Probleme hinsichtlich eines Schutzes des verdrillten Paars **10** und einer Aufrechterhaltung seiner Verdrillstruktur verursacht.

**[0059]** Der Mantel **30** kann, ähnlich zu den Isolierumhüllungen **13** der isolierten Leitungen **11**, aus jeder Art von Polymermaterial hergestellt sein. Das heißt, dass Beispiele des Polymermaterials Polyolefin, wie beispielsweise Polyethylen und Polypropylen, Polyvinylchlorid, Polystyren, Polytetrafluoroethylen und Polyphenylensulfid umfassen. Unter diesen ist Polyolefin, welches ein unpolares Polymermaterial ist, im Hinblick auf eine Erhöhung der charakteristischen Impedanz des Kommunikationskabels **1** besonders bevorzugt. Wenn erforderlich kann der Mantel **30** Zusätze enthalten, wie beispielsweise ein Flammeschutzmittel zusätzlich zu dem Polymermaterial. Obwohl der Mantel **30** aus einer Mehrzahl von Schichten oder einer einzelnen Schicht bestehen kann, besteht er im Hinblick auf eine Verkleinerung des Durchmessers und einer Verringerung von Kosten des Kommunikationskabels **1** durch Vereinfachung der Konfiguration bevorzugter aus einer einzelnen Schicht.

#### Material der Leiter

**[0060]** Nachstehend folgt eine Beschreibung spezifischer Beispiele der Kupferlegierungsdrähte, welche als die Leiter **12** der isolierten Leitungen **11** in dem Kommunikationskabel **1** gemäß der vorstehend beschriebenen Ausführungsform verwendet werden.

**[0061]** Kupferlegierungsdrähte gemäß einem ersten Beispiel haben die folgende Zusammensetzung:

- Fe: 0,05 Gew.-% oder mehr und 2,0 Gew.-% oder weniger;
- Ti: 0,02 Gew.-% oder mehr und 1,0 Gew.-% oder weniger;
- Mg: 0 Gew.-% oder mehr und 0,6 Gew.-% oder weniger (einschließlich eines Falles, bei dem kein Mg in der Legierung enthalten ist); und
- einem Rest, bei dem es sich um Cu und unvermeidbare Verunreinigungen handelt.

**[0062]** Die Kupferlegierungsdrähte mit der vorstehend beschriebenen Zusammensetzung weisen eine sehr hohe Zugfestigkeit auf. Insbesondere wenn die Kupferlegierungsdrähte 0,8 Gew.-% Fe oder mehr oder 0,2 Gew.-% Ti oder mehr enthalten, wird eine besondere hohe Zugfestigkeit erreicht. Zudem kann die Zugfestigkeit der Drähte verbessert werden, wenn der Durchmesser der Drähte durch Erhöhen eines Ziehverhältnisses reduziert wird oder die Drähte nach dem Ziehen einer Hitzebehandlung ausgesetzt werden. Damit lassen sich die Leiter **11** mit der Zugfestigkeit von 400 MPa oder größer erhalten.

**[0063]** Kupferlegierungsdrähte gemäß einem zweiten Beispiel haben die folgende Zusammensetzung:

- Fe: 0,1 Gew.-% oder mehr und 0,8 Gew.-% oder weniger;
- P: 0,03 Gew.-% oder mehr und 0,3 Gew.-% oder weniger;
- Sn: 0,1 Gew.-% oder mehr und 0,4 Gew.-% oder weniger; und
- einem Rest, bei dem es sich um Cu und unvermeidbare Verunreinigungen handelt.

**[0064]** Die Kupferlegierungsdrähte mit der vorstehend beschriebenen Zusammensetzung weisen eine sehr hohe Zugfestigkeit aus. Insbesondere, wenn die Kupferlegierungsdrähte 0,4 Gew.-% Fe oder mehr oder 0,1 Gew.-% P oder mehr enthalten, kann eine besonders hohe Zugfestigkeit erreicht werden. Zudem kann die Zugfestigkeit der Drähte verbessert werden, wenn der Durchmesser der Drähte durch Erhöhen eines Ziehverhältnisses reduziert wird oder die Drähte nach dem Ziehen einer Hitzebehandlung ausgesetzt werden. Daher lassen sich die Leiter **11** mit der Zugfestigkeit von 400 MPa oder größer erhalten.

#### BEISPIEL

**[0065]** Nachstehend folgt eine Beschreibung der vorliegenden Erfindung mit Bezug zu Beispielen; allerdings ist die vorliegende Erfindung nicht auf die Beispiele eingeschränkt.

#### Untersuchung bezüglich der Zugfestigkeit des Leiters

**[0066]** Als erstes wurde die Möglichkeit einer Verkleinerung des Durchmessers eines Kommunikationskabels durch Auswahl der Zugfestigkeit der Leiter untersucht.

#### Herstellung der Proben

#### Herstellung des Leiters

**[0067]** Für jede der Proben A1 bis A5 wurde ein Leiter, der dafür vorgesehen ist, in den isolierten Leitungen enthalten zu sein, hergestellt. Insbesondere wurden ein Elektrolytkupfer mit einer Reinheit von 99,99% oder höher und Vorlegierungen, die Fe und Ti enthalten, in einen Schmelztiegel aus hochreinem Kohlenstoff eingefüllt und vakuumgeschmolzen, um eine gemischte Metallschmelze zu schaffen, die 1,0 Gew.-% Fe und 0,4 Gew.-% Ti enthält. Die gemischte Metallschmelze wurde kontinuierlich in ein Gussstück von  $\varnothing$  12,5 mm gegossen. Das Gussstück wurde extrudiert und auf einen Durchmesser von  $\varnothing$  8 mm gewalzt und anschließend zu einem Einzeldraht von  $\varnothing$  0,165 mm gezogen. Sieben solcherart erzeugte Einzeldrähte wurden mit einer Verseillänge von 14 mm verseilt, und die so erhaltene Litze wurde verpresst. Dann wurden die verpressten Drähte einer Wärmebehandlung unterzogen, bei der die Temperatur des Drahtes für acht Stunden auf 500°C gehalten wurde. Somit wurde ein Leiter mit einem Leiter-Querschnitt von 0,13 mm<sup>2</sup> und einem Außendurchmesser von 0,45 mm hergestellt.

**[0068]** Eine Zugfestigkeit und Bruchdehnung des hergestellten Kupferlegierungs-Leiters wurden in Übereinstimmung mit JIS Z 2241 beurteilt. Für die Beurteilung wurde der Abstand zwischen Beurteilungspunkten auf 250 mm eingestellt, und die Zuggeschwindigkeit wurde auf 50 mm/min eingestellt. Gemäß dem Ergebnis der Beurteilung hat der Kupferlegierungs-Leiter eine Zugfestigkeit von 490 MPa und eine Bruchdehnung von 8%.

**[0069]** Für die Proben A6 bis A8 wurden als Leiter jeweils eine herkömmliche aus reinem Kupfer hergestellte Litze verwendet. Die Zugfestigkeit, die Bruchdehnung, der Leiter-Querschnitt und der Außendurchmesser der Leiter wurden auf die gleiche Weise wie vorstehend beschrieben gemessen und sind in Tabelle 1 gezeigt. Der Leiter-Querschnitt und der Außendurchmesser, welche für die Leiter verwendet wurden, sind diejenigen, die im Wesentlichen als untere Grenzwerte für eine elektrische Leitung aus reinem Kupfer, definiert durch die begrenzte Stärke der Leiter, angenommen werden können.

#### Herstellung der isolierten Leitungen

**[0070]** Es wurden isolierte Leitungen hergestellt, indem die aus einem Polyethylenharz hergestellten Isolierumhüllungen um die, wie vorstehend beschrieben hergestellten, Kupferlegierungs-Leiter und die Leiter aus reinem Kupfer herum mittels Extrudieren ausgebildet werden. Die jeweilige Dicke der Isolierumhüllungen der Proben sind in Tabelle 1 gezeigt. Das Exzentrizitätsverhältnis der isolierten Leitungen beträgt 80%.

#### Herstellung des Kommunikationskabels

**[0071]** Zwei wie vorstehend beschrieben hergestellte isolierte Leitungen wurden mit einer Schlaglänge von 25 mm miteinander verdrillt, um verdrillte Paar zu erzeugen. Die verdrillten Paare weisen die erste Verdrillstruktur (ohne Verwindung) auf. Dann wurden um die hergestellten verdrillten Paare herum Mantel durch Extrudieren eines Polyethylenharzes ausgebildet. Die Mäntel weisen die Form von losen Hüllen mit einer Dicke von 0,4 mm auf. Die Zwischenräume zwischen den Mänteln und den isolierten Leitungen haben ein Außenfläche-

Verhältnis von 23%. Die Haftfestigkeit der Mäntel an den isolierten Leitungen beträgt 15 N. Somit wurden die Kommunikationskabel für die Proben A1 bis A8 hergestellt.

### Beurteilung

#### End - Außendurchmesser

**[0072]** Zur Beurteilung, ob die Durchmesser der Kabel erfolgreich verkleinert wurden, wurden die Außendurchmesser der hergestellten Kommunikationskabel gemessen.

#### Charakteristische Impedanz

**[0073]** Es wurde jeweils die charakteristische Impedanz der hergestellten Kommunikationskabel gemessen. Die Messung wurde mit dem Offen/kurzgeschlossen-Verfahren unter Verwendung eines LCR-Messgeräts durchgeführt.

#### Ergebnisse

**[0074]** In Tabelle 1 sind die Konfigurationen und die Beurteilungsergebnisse der Kommunikationskabel der Proben A1 bis A8 gezeigt.

Tabelle 1:

Pro- be- Nr.	Isolierte Leitung						End-Au- ßendurch- - mes- ser [mm]	Charak- teristi- sche Impe- danz [ $\Omega$ ]		
	Leiter					Au- ßen- durch- - mes- ser [mm]				
	Ma- terial	Zugfes- tigkeit [MPa]	Deh- nung [%]	Quer- schnitts- fläche [mm $^2$ ]	Außen- durch- - messer [mm]					
A1	Kupfer- legie- rung	490	8	0,13	0,45	0,30	1,05	2,9	110	
A2						0,25	0,95	2,7	102	
A3						0,20	0,85	2,5	96	
A4						0,18	0,81	2,4	91	
A5	Kupfer- legie- rung	490	8	0,13	0,45	0,15	0,75	2,3	86	
A6	Reines Kupfer	220	24	0,22	0,55	0,30	1,15	3,1	97	
A7						0,25	1,05	2,9	89	
A8						0,20	0,95	2,7	80	

**[0075]** Gemäß den in Tabelle 1 gezeigten Beurteilungsergebnissen weisen die Proben A1 bis A3, welche die Kupferlegierungs-Leiter enthalten und die Leiter-Querschnittsfläche von kleiner als 0,22 mm $^2$  aufweisen, jeweils zugeordnet eine höhere charakteristische Impedanz auf als die Proben A6 bis A8, welche die Leiter aus reinem Kupfer enthalten und die Leiter-Querschnittsfläche von 0,22 mm $^2$  aufweisen, obwohl die Isolierumhüllung der Proben A1 bis A3 jeweils zugeordnet die gleiche Dicke aufweist wie die der Proben A6 bis A8. Die Proben A1 bis A3 haben alle jeweils eine charakteristische Impedanz in dem Bereich von  $100 \pm 10 \Omega$ , welcher für eine Ethernet-Kommunikation erforderlich ist, während die Proben A7 und A8 jeweils eine besonders niedrige Impedanz außerhalb des Bereiches von  $100 \pm 10 \Omega$  aufweisen.

**[0076]** Die wie vorstehend beschrieben beobachtete Tendenz der charakteristischen Impedanz kann als ein Ergebnis der kleineren Durchmesser der Kupferlegierungs-Leiter und des kleineren Abstands zwischen ihnen im Vergleich zu denen der Leiter aus reinem Kupfer interpretiert werden. Folglich können die Kupferlegierungs-Leiter die kleine Dicke der Isolierumhüllungen von kleiner als 0,30 mm aufweisen, während jeweils die charakteristische Impedanz von  $100 \pm 10 \Omega$  sichergestellt werden kann; die Dicke kann auf minimal 0,18 mm verringert

werden. Ein Verringern der Dicke der Isolierumhüllungen und eine Verkleinerung des Durchmessers der Leiter selbst dient daher dazu, den End-Außendurchmesser des Kommunikationskabels zu verkleinern.

**[0077]** Zum Beispiel haben die Probe A3, welche die Kupferlegierungs-Leiter enthält, und die Probe A6, welche die Leiter aus reinem Kupfer enthält, fast die gleichen Werte der charakteristischen Impedanz. Wenn allerdings die End-Außendurchmesser der Proben verglichen werden, hat das Kommunikationskabel der Probe A3, welche die Kupferlegierungs-Leiter enthält, einen um 20% kleineren End-Durchmesser, da die Leiter kleinere Durchmesser haben.

**[0078]** Des Weiteren kann, wenn die um die Kupferlegierungs-Leiter herum ausgebildeten Isolierumhüllungen zu dünn sind, wie in dem Fall von Probe A5, die charakteristische Impedanz außerhalb des Bereiches von  $100 \pm 10 \Omega$  liegen. Daher kann eine charakteristische Impedanz von  $100 \pm 10 \Omega$  erreicht werden, wenn um Kupferlegierungs-Leiter mit einem verkleinerten Durchmesser Isolierumhüllungen mit einer geeigneten Dicke ausgebildet sind.

#### Untersuchung bezüglich eines Typs des Mantels

**[0079]** Als nächstes wurde die Möglichkeit einer Verkleinerung des Durchmessers des Kommunikationskabels in Abhängigkeit des Typs des Mantels untersucht.

#### Herstellung der Proben

**[0080]** Es wurden Kommunikationskabel auf die gleiche Weise hergestellt wie bei den Proben A1 bis A4 bei der vorstehend beschriebenen Untersuchung [1]. Das Exzentrizitätsverhältnis der isolierten Leitungen beträgt 80%. Die verdrillten Paare weisen die erste Verdrillstruktur (ohne Verwindung) auf. Hier wurden zwei Typen von Proben hergestellt, welche Mäntel haben mit der wie in **Fig. 1** gezeigten Form von losen Hüllen und mit der in **Fig. 2** gezeigten Form von gefüllten Hüllen. Für beide Typen der Proben wurden die Mäntel aus Polypropylen ausgebildet. Die Dicke der Mäntel wurde mit Hilfe der verwendeten Formen der Düse und der Ablage kontrolliert; die Dicke an der dünnsten Stelle ist bei dem lose-Hülle-Typ 0,4 mm und bei dem gefüllte-Hülle-Typ 0,5 mm. Die Zwischenräume zwischen den lose-Hülle-Mänteln und den isolierten Leitungen haben jeweils ein Außenfläche-Verhältnis von 23%. Die Haftfestigkeit der Mäntel an den isolierten Leitungen beträgt 15 N. Es wurden mehrere Proben, welche isolierte Leitungen mit unterschiedlichen Dicken der Isolierumhüllungen aufweisen, als Proben mit entweder lose-Hülle-Mänteln oder mit gefüllte-Hülle-Mänteln hergestellt.

#### Beurteilung

**[0081]** Es wurde jeweils die charakteristische Impedanz der wie vorstehend beschrieben hergestellten Proben auf die gleiche Weise wie bei der vorstehend beschriebenen Untersuchung [1] gemessen. Außerdem wurden Außendurchmesser (d.h. End-Außendurchmesser) und Massen pro Einheitslänge der Kommunikationskabel für mehrere der Proben gemessen.

**[0082]** Zusätzlich wurden Übertragungseigenschaften IL, RL, LCTL und LCL für mehrere der Proben mit Hilfe eines Netzwerkanalysators gemessen.

#### Ergebnisse

**[0083]** **Fig. 4** zeigt Graphen, welche die Beziehung zwischen der Dicke der Isolierumhüllungen der isolierten Leitungen (d.h. Isolierungsdicke) und der charakteristischen Impedanz angeben, einmal gemessen für die Kabel mit den lose-Hülle-Mänteln und einmal gemessen für die Kabel mit den gefüllte-Hülle-Mänteln. **Fig. 4** zeigt außerdem ein Simulationsergebnis für die Beziehung zwischen der Isolierungsdicke und der charakteristischen Impedanz für einen Fall ohne Mantel. Das Simulationsergebnis wurde basierend auf der vorstehenden Gleichung (1) erhalten, welche als eine theoretische Gleichung bekannt ist, die eine charakteristische Impedanz eines Kommunikationskabels mit einem verdrillten Paar darstellt (wobei  $\epsilon_{eff} = 2,6$ ). Es sind auch auf der Gleichung (1) basierende Näherungskurven für die Messergebnisse in den Fällen mit den zwei Typen von Mänteln gezeigt. Die gestrichelten Linien in **Fig. 4** kennzeichnen einen Bereich, in welchem die charakteristische Impedanz  $100 \pm 10 \Omega$  beträgt.

**[0084]** Gemäß den in **Fig. 4** gezeigten Ergebnissen, nimmt die jeweilige charakteristische Impedanz der Kommunikationskabel, welche die gleiche Isolierungsdicke haben, durch das Vorhandensein der Mäntel, das einer Zunahme der effektiven Dielektrizitätskonstante entspricht, ab; allerdings wird bei dem lose-Hülle-Mantel die

charakteristische Impedanz weniger stark verringert und ein höherer Wert der charakteristischen Impedanz erzeugt als bei dem gefüllte-Hülle-Mantel. Mit anderen Worten ist die Isolierungsdicke, die erforderlich ist, um eine bestimmte charakteristische Impedanz zu erreichen, in dem Fall des lose-Hülle-Mantels kleiner.

**[0085]** Gemäß **Fig. 4** wird die charakteristische Impedanz von  $100 \Omega$  beobachtet, wenn bei der losen Hülle die Isolierungsdicke 0,20 mm beträgt und wenn bei der gefüllten Hülle die Dicke 0,25 mm beträgt. Für diese Fälle sind die Isolierungsdimensionen, die Außendurchmesser und die Massen der Kommunikationskabel in nachstehender Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2:

	Probe B1	Probe B2
Typ der Hülle	Lose Hülle	Gefüllte Hülle
Isolierungsdimension	0,20 mm	0,25 mm
Außendurchmesser	2,5 mm	2,7 mm
Masse	7,3 g/m	10,0 g/m

**[0086]** Wie in Tabelle 2 gezeigt, hat der lose-Hülle-Mantel eine um 25% kleinere Isolierungsdimension, einen um 7,4% kleineren Außendurchmesser des Kommunikationskabels und eine um 27% kleinere Masse des Kommunikationskabels im Vergleich zu dem gefüllte-Hülle-Mantel. Somit ist bestätigt, dass ein Kommunikationskabel mit einem lose-Hülle-Mantel eine ausreichend hohe charakteristische Impedanz selbst dann hat, wenn in einem verdrillten Paar enthaltene isolierte Leitungen eine kleine Isolierungsdimension haben, wodurch der Außendurchmesser und die Masse des Kommunikationskabels als Ganzem verringert werden.

**[0087]** Ferner wurden die Übertragungseigenschaften des Kommunikationskabels mit dem lose-Hülle-Mantel und der Isolierungsdimension von 0,20 mm untersucht. Es wurde basierend auf den Beurteilungsergebnissen bestätigt, dass die Kriterien von  $IL \leq 0,68 \text{ dB/m}$  (66 MHz),  $RL \geq 20,0 \text{ dB}$  (20 MHz),  $LCTL \geq 46,0 \text{ dB}$  (50 MHz) und  $LCL \geq 46,0 \text{ dB}$  (50 MHz) alle erfüllt werden.

#### Untersuchung bezüglich der Größe des Zwischenraums

**[0088]** Als nächstes wurde die Beziehung zwischen der Größe des Zwischenraums zwischen dem Mantel und den isolierten Leitungen und der charakteristischen Impedanz untersucht.

#### Herstellung der Proben

**[0089]** Es wurden Kommunikationskabel als Proben C1 bis C6 auf die gleiche Weise hergestellt wie die Proben A1 bis A4 bei der vorstehend beschriebenen Untersuchung [1]. Hier haben die Mäntel die Form von losen Hüllen. Die Größe der Zwischenräume zwischen den Mänteln und den isolierten Leitungen wurde durch Auswahl der Formen der Düse und Ablage variiert. Bei den isolierten Leitungen beträgt die Leiter-Querschnittsfläche der isolierten Leitungen  $0,13 \text{ mm}^2$  und die Dicke der Isolierumhüllungen beträgt 0,20 mm. Die Dicke der Mäntel beträgt 0,40 mm. Das Exzentrizitätsverhältnis beträgt 80%. Die Haftfestigkeit der Mäntel an den isolierten Leitungen beträgt 15 N. Die verdrillten Paare weisen die erste Verdrillstruktur (ohne Verwindung) auf.

#### Beurteilung

**[0090]** Es wurden die jeweilige Größe der Zwischenräume bei den wie vorstehend beschrieben hergestellten Proben gemessen. Für die Messung wurden die Probe-Kabel in einem Akrylharz eingebettet und fixiert, und wurden dann geschnitten, um Querschnitte zu erhalten. Die Größe von jedem Zwischenraum im Querschnitt wurde als das Verhältnis relativ zu der gesamten Querschnittsfläche gemessen. Die erhaltenen Größen der Zwischenräume sind in Tabelle 3 in der Form von vorstehend definierten Außenfläche-Verhältnis und Innenfläche-Verhältnis gezeigt. Außerdem wurde die charakteristische Impedanz der Proben jeweils auf die gleiche Weise wie bei der vorstehend beschriebenen Untersuchung [1] gemessen. Die in Tabelle 3 gezeigten Angaben zur charakteristischen Impedanz haben jeweils bestimmte Wertebereiche, weil die Werte während der Messung schwanken.

## Ergebnisse

**[0091]** Die Beziehung zwischen der Größe des Zwischenraums und der charakteristischen Impedanz ist in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3:

Probe- Nr.	Verhältnis des Spalts		Charakteristi- sche Impedanz [ $\Omega$ ]
	Außenfläche- Verhältnis [%]	Innenfläche- Verhältnis [%]	
C1	4	15	86-87
C2	8	26	90-92
C3	15	39	95-97
C4	23	50	99-101
C5	30	56	103-106
C6	40	63	108-113

**[0092]** Wie in Tabelle 3 zu sehen, zeigen die Proben C2 bis C5, welche die Zwischenräume mit den Außenfläche-Verhältnissen von jeweils größer oder gleich 8% und kleiner oder gleich 30% aufweisen, jeweils stabil die charakteristische Impedanz von  $100 \pm 10 \Omega$ . Des Weiteren hat die Probe C1, welche den Zwischenraum mit dem Außenfläche-Verhältnis von kleiner als 8% aufweist, die charakteristische Impedanz, die unterhalb des Bereiches von  $100 \pm 10 \Omega$  liegt, da die effektive Dielektrizitätskonstante aufgrund der Kleinheit des Zwischenraums zu groß ist. Die Probe C6, welche den Zwischenraum mit dem Außenfläche-Verhältnis von größer 30% aufweist, hat die charakteristische Impedanz, die den Bereich von  $100 \pm 10 \Omega$  übersteigt. Dies wird so interpretiert, dass der Mittelwert der charakteristischen Impedanz der Probe C6 deshalb groß ist, weil der Zwischenraum zu groß ist, und dass die Schwankungen der charakteristischen Impedanz groß sind, weil der große Zwischenraum eine Veränderung der Position des verdrillten Paars innerhalb des Mantels oder ein Lösen seiner Verdrillstruktur einfach zulässt.

## Untersuchung bezüglich der Haftfestigkeit des Mantels

**[0093]** Als nächstes wurde die Beziehung zwischen der Haftfestigkeit des Mantels an den isolierten Leitungen und die zeitliche Änderung der charakteristischen Impedanz untersucht.

## Herstellung der Proben

**[0094]** Es wurden Kommunikationskabel als Proben D1 bis D4 auf die gleiche Weise hergestellt wie die Proben A1 bis A4 bei der vorstehend beschriebenen Untersuchung [1]. Die Mäntel haben die Form von losen Hüllen. Die Haftfestigkeit der Mäntel an den isolierten Leitungen wurde, wie in Tabelle 4 gezeigt, variiert. Hier wurde die Haftfestigkeit durch Einstellung der Extrudertemperatur des Harzmaterials variiert. Die Zwischenräume zwischen den Mänteln und den isolierten Leitungen haben ein Außenfläche-Verhältnis von 23%. Bei den isolierten Leitungen beträgt die Leiter-Querschnittsfläche  $0,13 \text{ mm}^2$  und die Dicke der Isolierumhüllungen beträgt  $0,20 \text{ mm}$ . Die Dicke der Mantel beträgt  $0,40 \text{ mm}$ . Das Exzentrizitätsverhältnis der isolierten Leitungen beträgt 80%. Die verdrillten Paare weisen die erste Verdrillstruktur (ohne Verwindung) auf. Die Schlaglänge beträgt das 8-fache des Außendurchmessers der isolierten Leitungen.

## Beurteilung

**[0095]** Die Haftfestigkeit der Mäntel wurde jeweils für die wie vorstehend beschrieben hergestellten Proben gemessen. Die Haftfestigkeit von jedem Mantel wurde durch einen Test beurteilt, bei welchem ein 30-mm langer Abschnitt des Mantels von einem Anschlussende des Probe-Kommunikationskabel entfernt wurde, das eine Länge von 150 mm hat, und dann wurde an dem verdrillten Paar gezogen. Die Zugstärke, bei der das verdrillte Paar herausfällt, wurde als die Haftfestigkeit aufgezeichnet. Außerdem wurden Änderungen der charakteristischen Impedanz der Proben unter einer Bedingung gemessen, die eine Langzeitbenutzung simuliert. Insbesondere wurde jedes der Probe-Kommunikationskabel 200 mal entlang eines Dorns gebogen, der einen Außendurchmesser von  $\varphi 25 \text{ mm}$  bei einem Winkel von  $90^\circ$  hat. Dann wurde die charakteristische Impedanz

in den gebogenen Abschnitten gemessen, und die Änderung bezüglich des Wertes vor dem Biegen wurde aufgezeichnet.

### Ergebnisse

**[0096]** Die Beziehung zwischen der Haftfestigkeit des Mantels und der charakteristischen Impedanz ist in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4:

Probe-Nr.	Haftfestigkeit des Mantels [N]	Änderung der charakteristischen Impedanz
D1	15	Keine Änderung
D2	7	Zunahme um $3 \Omega$
D3	4	Zunahme um $3 \Omega$
D4	2	Zunahme um $7 \Omega$

**[0097]** Gemäß den in Tabelle 4 aufgelisteten Ergebnissen, zeigen die Proben D1 bis D3, bei welchen die Mäntel jeweils die Haftfestigkeit von 4 N oder größer aufweisen, jeweils kleine Änderungen der charakteristischen Impedanz von  $3 \Omega$  oder weniger. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Proben gegenüber dem Einfluss der durch das Biegen mit Hilfe des Dorns simulierten Langzeitbenutzung nicht empfindlich sind. Des Weiteren zeigt die Probe D4, bei welcher der Mantel die Haftfestigkeit unterhalb von 4 N aufweist, eine große Änderung der charakteristischen Impedanz von  $7 \Omega$ .

### Untersuchung bezüglich der Dicke des Mantels

**[0098]** Als nächstes wurde die Beziehung zwischen der Dicke des Mantels und dem äußeren Einfluss auf die Übertragungseigenschaften untersucht.

### Herstellung der Proben

**[0099]** Es wurden Kommunikationskabel als Proben E1 bis E6 auf die gleiche Weise hergestellt wie die Proben A1 bis A4 bei der vorstehend beschriebenen Untersuchung [1]. Die Mäntel haben die Form von losen Hüllen. Bei den Proben E2 bis E6 wurden die Dicke der Mäntel, wie in Tabelle 5 gezeigt, variiert. Bei der Probe E1 wurde kein Mantel ausgebildet. Die Zwischenräume zwischen den Mänteln und den isolierten Leitungen haben jeweils ein Außenfläche-Verhältnis von 23%. Die Haftfestigkeit der Mäntel beträgt 15 N. Bei den isolierten Leitungen beträgt die Leiter-Querschnittsfläche  $0,13 \text{ mm}^2$  und die Dicke der Isolierumhüllungen beträgt 0,20 mm. Das Exzentrizitätsverhältnis der isolierten Leitungen beträgt 80%. Die verdrillten Paare weisen die erste Verdrillstruktur (ohne Verwindung) auf. Die Schlaglänge beträgt das 24-fache des Außendurchmessers der isolierten Leitungen.

### Beurteilung

**[0100]** Bei den wie vorstehend beschrieben hergestellten Probe-Kommunikationskabeln, wurden Änderungen der charakteristischen Impedanz aufgrund des Einflusses von anderen Kabel untersucht. Insbesondere wurde die charakteristische Impedanz von jedem der Probe-Kommunikationskabel in einem unabhängigen Zustand gemessen. Außerdem wurde die charakteristische Impedanz von jedem der Kommunikationskabel auch in einem Zustand gemessen, in dem es mit weiteren Kabeln zusammen gehalten ist. Hier bezeichnet der Zustand „mit weiteren Kabeln gehalten“ einen Zustand, in dem ein Probe-Kabel von sechs weiteren Kabeln (d.h. sechs PVC-Kabeln mit einem Außendurchmesser von jeweils 2,6 mm) umgeben ist, welche annähernd zentrale symmetrisch um das Probe-Kabel in Kontakt mit der Außenfläche des Probe-Kabels angeordnet sind, und das Probe-Kabel und die sechs weiteren Kabel sind zusammen mit Hilfe eines PVC-Bandes, das um sie herum gewickelt ist, fixiert. Dann wurde für jedes Kommunikationskabel eine Änderung der charakteristischen Impedanz in dem Zustand, in dem es mit den weiteren Kabeln zusammen gehalten ist, im Vergleich zu dem unabhängigen Zustand aufgezeichnet.

## Ergebnisse

**[0101]** Die Beziehung zwischen der Dicke des Mantels und der Änderung der charakteristischen Impedanz ist in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5:

Probe-Nr.	Dicke des Mantels [mm]	Änderung der charakteristischen Impedanz
E1	0 (Kein Mantel)	Abnahme um 10 Ω
E2	0,10	Abnahme um 8 Ω
E3	0,20	Abnahme um 4 Ω
E4	0,30	Abnahme um 3 Ω
E5	0,40	Abnahme um 3 Ω
E6	0,50	Abnahme um 2 Ω

**[0102]** Gemäß den in Tabelle 5 gezeigten Ergebnissen werden bei den Proben E3 bis E6, welche jeweils einen Mantel enthalten, der die Dicke von 0,20 mm oder größer aufweist, die Änderungen der charakteristischen Impedanz durch den Einfluss der weiteren Kabel auf 4 Ω oder weniger abgeschwächt. Des Weiteren sind für die Probe E1, welche keinen Mantel enthält, und für die Probe E2, welche einen Mantel mit einer Dicke kleiner als 0,20 mm enthält, die Änderungen der charakteristischen Impedanz jeweils 8 Ω oder größer. Bevorzugt sollte eine Änderung einer charakteristischen Impedanz eines Kommunikationskabels dieses Typs auf 5 Ω oder weniger abgeschwächt werden, wenn das Kommunikationskabel in der Nähe von weiteren Kabeln in einem Fahrzeug, zum Beispiel in der Form eines Kabelstrangs, verwendet wird.

## Untersuchung bezüglich des Exzentrizitätsverhältnisses der isolierten Leitungen

**[0103]** Als nächstes wurde die Beziehung zwischen den Exzentrizitätsverhältnissen der isolierten Leitungen und den Übertragungseigenschaften untersucht.

## Herstellung der Proben

**[0104]** Es wurden Kommunikationskabel als Proben F1 bis F6 auf die gleiche Weise hergestellt wie die Proben A1 bis A4 bei der vorstehend beschriebenen Untersuchung [1]. Hier wurde das Exzentrizitätsverhältnis der isolierten Leitungen durch Einstellen der Bedingungen für eine Ausbildung der Isolierumhüllungen, wie in Tabelle 6 gezeigt, variiert. Bei den isolierten Leitungen beträgt die Leiter-Querschnittsfläche 0,13 mm<sup>2</sup>, und die Dicke der Isolierumhüllungen beträgt (im Durchschnitt) 0,20 mm. Die Mäntel haben die Form von losen Hüllen. Die Dicke der Mäntel beträgt 0,40 mm. Die Zwischenräume zwischen den Mänteln und den isolierten Leitungen haben ein Außenfläche-Verhältnis von 23%. Die Haftfestigkeit der Mäntel beträgt 15 N. Die verdrillten Paare weisen die erste Verdrillstruktur (ohne Verwindung) auf. Die Schlaglänge beträgt das 24-fache des Außendurchmessers der isolierten Leitungen.

## Beurteilung

**[0105]** Übertragungs-Modenkonvertierungseigenschaften (LCTL) und Reflektions-Moden-Übertragungseigenschaften (LCL) der wie vorstehend beschrieben hergestellten Probe-Kommunikationskabel wurden auf die gleiche Weise wie bei der vorstehend beschriebenen Untersuchung [2] gemessen. Die Messung wurde in einem Frequenzbereich von 1 bis 50 MHz durchgeführt.

## Ergebnisse

**[0106]** Tabelle 6 zeigt die Exzentrizitäten und die Messergebnisse der Modenkonvertierungseigenschaften. Die in der Tabelle gezeigten Werte der Modenkonvertierungseigenschaften geben jeweils den minimalen Absolutwert in dem Bereich von 1 bis 50 MHz an.

Tabelle 6:

Probe-Nr.	Exzentrizitätsverhältnis [%]	Übertragungs - Modenkonvertierung [dB]	Reflektions-Modenkonvertierung [dB]
F1	60	47	45
F2	65	49	49
F3	70	52	54
F4	75	57	55
F5	80	59	57
F6	85	58	58

**[0107]** Gemäß Tabelle 6 erfüllen in den Fällen der Proben F2 bis F6, welche jeweils das Exzentrizitätsverhältnis von 65% oder größer aufweisen, sowohl die Übertragungs-Modenkonvertierung als auch die Reflektions-Modenkonvertierung die Kriterien von größer oder gleich 46 dB. Unterdessen erfüllt in dem Fall der Probe F1, welche das Exzentrizitätsverhältnis von 60% aufweist, entweder die Übertragungs-Modenkonvertierung oder die Reflektions-Modenkonvertierung die Kriterien nicht.

#### Untersuchung bezüglich der Schlaglänge des verdrillten Paars

**[0108]** Als nächstes wurde die Beziehung zwischen der Schlaglänge des verdrillten Paars und der zeitlichen Änderung der charakteristischen Impedanz untersucht.

#### Herstellung der Proben

**[0109]** Es wurden Kommunikationskabel als Proben G1 bis G4 auf die gleiche Weise hergestellt wie die Proben D1 bis D4 bei der vorstehend beschriebenen Untersuchung [4]. Hier wurde die Schlaglänge der verdrillten Paare, wie in Tabelle 7 gezeigt, variiert. Die Haftfestigkeit der Mäntel an den isolierten Leitungen beträgt 70 N.

#### Beurteilung

**[0110]** Es wurden Änderungen der charakteristischen Impedanz durch Biegen mit Hilfe eines Dorns für die wie vorstehend beschrieben hergestellten Proben auf die gleiche Weise wie bei Untersuchung [4] beurteilt.

#### Ergebnisse

**[0111]** Die Beziehung zwischen der Schlaglänge des verdrillten Paars und der Änderung der charakteristischen Impedanz ist in Tabelle 7 zusammengefasst. In Tabelle 7, sind die Schlaglängen als Werte basierend auf dem Außendurchmesser der isolierten Leitungen (von 0,85 mm) gezeigt: das heißt, die Werte geben an, ein Wievielfaches des Außendurchmessers der isolierten Leitungen die Schlaglänge beträgt.

Tabelle 7:

Probe-Nr.	Schlaglänge [WievIELfaches]	Änderung der charakteristischen Impedanz
G1	15	Keine Änderung
G2	30	Zunahme um $3\Omega$
G3	45	Zunahme um $4\Omega$
G4	50	Zunahme um $8\Omega$

**[0112]** Gemäß den in Tabelle 7 gezeigten Ergebnissen werden die Änderungen der charakteristischen Impedanz in den Fällen der Proben G1 bis G3, welche jeweils die Schlaglänge in der Größe des 45-fachen des Außendurchmessers der isolierten Leitungen oder kleiner aufweisen, auf  $4 \Omega$  oder kleiner abgeschwächt. Außerdem erreicht die Änderung der charakteristischen Impedanz der Probe G4, welche die Schlaglänge größer als das 45-fache des Außendurchmessers der isolierten Leitungen aufweist,  $8 \Omega$ .

## Untersuchung bezüglich der Verdrillstruktur des verdrillten Paars

[0113] Als nächstes wurde die Beziehung zwischen dem Typ der Verdrillstruktur des verdrillten Paars und Schwankungen der charakteristischen Impedanz untersucht.

## Herstellung der Proben

[0114] Es wurden Kommunikationskabel als Proben H1 und H2 auf die gleiche Weise hergestellt wie die Proben D1 bis D4 bei der vorstehend beschriebenen Untersuchung [4]. Hier wurde die vorstehend beschriebene erste Verdrillstruktur (ohne Verwindung) für die Probe H1 angewendet, während die zweite Verdrillstruktur (mit Verwindung) für die Probe H2 angewendet wurde. Die jeweilige Schlaglänge der verdrillten Paare beträgt bei beiden Proben das 20-fache des Außendurchmessers der isolierten Leitungen. Die Haftfestigkeit der Mäntel an den isolierten Leitungen beträgt 30 N.

## Beurteilung

[0115] Es wurde jeweils die charakteristische Impedanz der wie vorstehend beschrieben hergestellten Proben gemessen. Die Messung wurde drei mal für jede Probe ausgeführt, und ein Schwankungsbereich der charakteristischen Impedanz bei den drei Messungen wurde aufgezeichnet.

## Ergebnisse

[0116] Tabelle 8 zeigt die Beziehung zwischen dem Typ der Verdrillstruktur und dem Schwankungsbereich der charakteristischen Impedanz.

Tabelle 8:

Probe-Nr.	Verdrillstruktur	Schwankungsbereich der charakteristischen Impedanz
H1	Erste (ohne Verwindung)	3Ω
H2	Zweite (mit Verwindung)	14Ω

[0117] Die in Tabelle 8 gezeigten Ergebnisse zeigen an, dass der Schwankungsbereich der charakteristischen Impedanz der Probe H1, bei welcher die isolierten Leitungen nicht verwunden sind, kleiner ist. Dies wird dahingehen interpretiert, dass ein Einfluss einer Schwankung des Leitungsabstands, welche durch die Verwindung erzeugt werden kann, vermieden wird.

[0118] Die vorstehende Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wurde für Zwecke der Veranschaulichung und Beschreibung präsentiert; sie ist allerdings nicht beabsichtigt, erschöpfend zu sein oder die vorliegende Erfindung auf genau die offenbare Form einzuschränken, und Modifikationen und Veränderungen sind möglich, solange sie nicht von den Grundprinzipien der vorliegenden Erfindung abweichen.

[0119] Ferner hat, wie vorstehend beschrieben, der Mantel, der das verdrillte Paar umkleidet, nicht notwendigerweise die Form einer losen Hülle, sondern kann auch die Form einer gefüllten Hülle aufweisen, abhängig davon, um wieviel der Durchmesser des Kommunikationskabels verkleinert werden muss. Der Mantel kann bei dem Kommunikationskabel weggelassen werden. Zusammengefasst kann das Kommunikationskabel ein verdrilltes Paar enthalten, welches ein Paar von miteinander verdrillten isolierten Leitungen aufweist, wobei jede der isolierten Leitungen einen Leiter mit einer Zugfestigkeit von 400 MPa oder größer und eine Isolierumhüllung, die den Leiter umkleidet, aufweist, wobei das Kommunikationskabel eine charakteristische Impedanz von  $100 \pm 10 \Omega$  aufweist. In diesem Fall können vorstehend beschriebene bevorzugte Konfigurationen auf Elemente des Kommunikationskabels angewendet werden, wie beispielsweise die Dicke der Isolierumhüllungen; die Zusammensetzung und Bruchdehnung der Leiter; der Außendurchmesser und die Exzentrizität der isolierten Leitungen; die Verdrillstruktur und die Schlaglänge des verdrillten Paars; die Dicke und Haftfestigkeit des Mantels; und der Außendurchmesser und die Bruchfestigkeit des Kommunikationskabels. Jede der vorstehend beschriebenen bevorzugten Konfigurationen, die auf die Elemente des Kommunikationskabels anwendbar sind, können geeignet kombiniert werden mit der Konfiguration eines Kommunikationskabels, das ein verdrilltes Paar enthält, welches ein Paar von miteinander verdrillten isolierten Leitungen aufweist, wobei jede der isolierten Leitungen einen Leiter mit einer Zugfestigkeit von 400 MPa oder größer und eine den Leit-

ter umkleidende Isolierumhüllung aufweist, wobei das Kommunikationskabel eine charakteristische Impedanz von  $100\pm10 \Omega$  aufweist. Das durch die Kombination erzeugte Kommunikationskabel hat einen verkleinerten Durchmesser, während gleichzeitig eine erforderliche Größe der charakteristischen Impedanz sichergestellt wird, und außerdem wird es Eigenschaften aufweisen, die ihm durch die entsprechenden auf das Kabel angewendeten Konfigurationen verliehen werden.

Bezugszeichenliste

**1** Kommunikationskabel

**10** Verdrilltes Paar

**11** Isolierte Leitung

**12** Leiter

**13** Isolierumhüllung

**30** Mantel

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

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

**Zitierte Patentliteratur**

- JP 2005032583 A [0004]

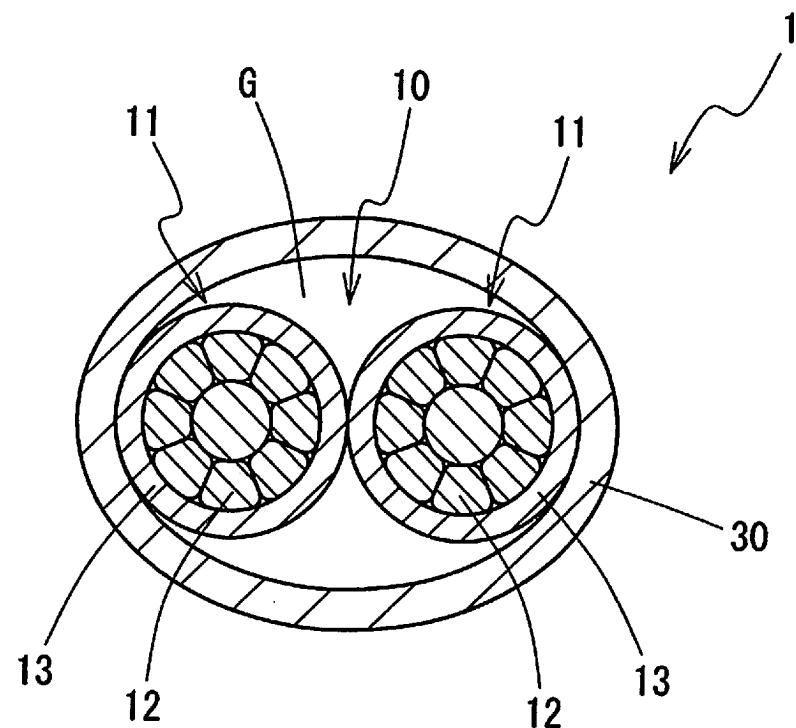
**Patentansprüche**

1. Kommunikationskabel, aufweisend:  
ein verdrilltes Paar, welches ein Paar von miteinander verdrillten isolierten Leitungen aufweist, wobei jede der isolierten Leitungen umfasst:  
einen Leiter, welcher eine Zugfestigkeit von 400 MPa oder größer hat; und  
eine Isolierumhüllung, welche den Leiter umkleidet;  
einen Mantel, welcher aus einem Isoliermaterial hergestellt ist und das verdrillte Paar umkleidet; und  
einen Zwischenraum zwischen dem Mantel und den das verdrillte Paar bildenden isolierten Leitungen,  
wobei das Kommunikationskabel eine charakteristische Impedanz von  $100\pm10 \Omega$  aufweist.
2. Kommunikationskabel gemäß Anspruch 1, wobei jede der isolierten Leitungen eine Leiter-Querschnittsfläche kleiner als  $0,22 \text{ mm}^2$  aufweist.
3. Kommunikationskabel gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei die Isolierumhüllung jeder der isolierten Leitungen eine Dicke von 0,30 mm oder kleiner aufweist.
4. Kommunikationskabel gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei jede der isolierten Leitungen einen Außendurchmesser von 1,05 mm oder kleiner aufweist.
5. Kommunikationskabel gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Leiter jeder der isolierten Leitungen eine Bruchdehnung von 7% oder größer aufweist.
6. Kommunikationskabel gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Zwischenraum 8% oder mehr einer Fläche eines von einer Außenfläche des Mantels umgebenen Bereiches in einem Querschnitt des Kommunikationskabels durch eine Achse des Kabels einnimmt.
7. Kommunikationskabel gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Zwischenraum 30% oder weniger einer Fläche eines von einer Außenfläche des Mantels umgebenen Bereiches in einem Querschnitt des Kommunikationskabels durch eine Achse des Kabels einnimmt.
8. Kommunikationskabel gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das verdrillte Paar eine Schlaglänge von dem 45-fachen eines Außendurchmessers von jeder der isolierten Leitungen oder kleiner aufweist.
9. Kommunikationskabel gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der Mantel eine Haftfestigkeit an den isolierten Leitungen von 4 N oder größer aufweist.

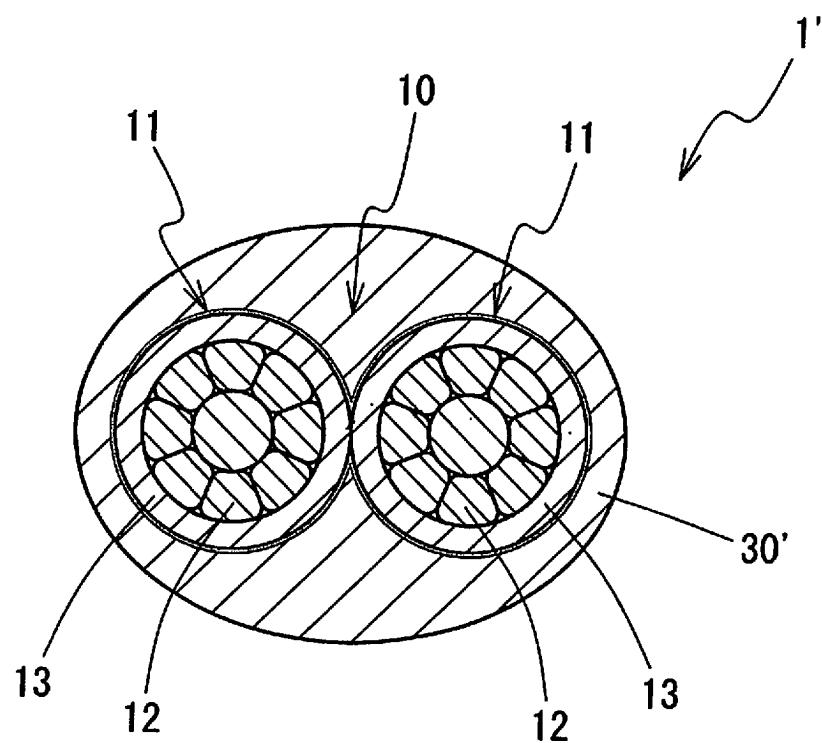
Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

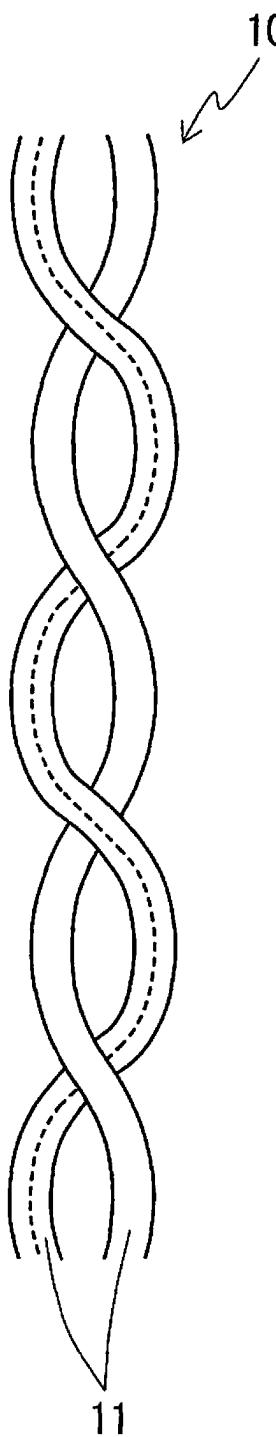
**FIG. 1**



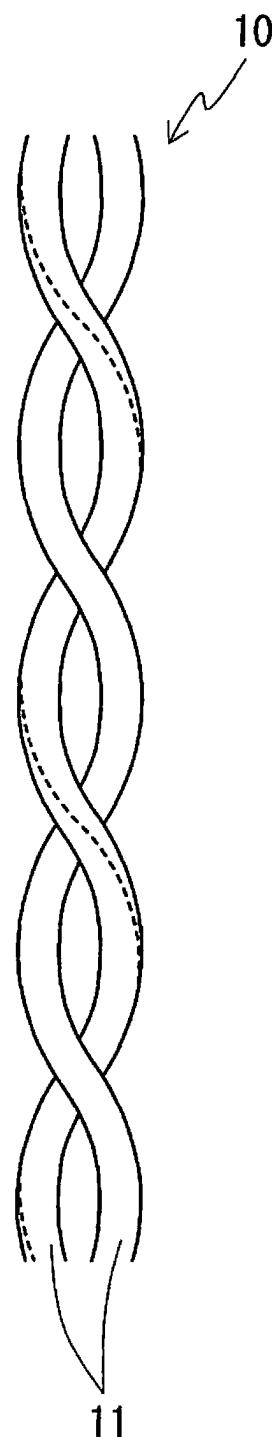
**FIG. 2**



**FIG. 3A**



**FIG. 3B**



Textfeld

**FIG. 4**

