



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 223 770.5**  
(22) Anmeldetag: **30.11.2016**  
(43) Offenlegungstag: **30.05.2018**

(51) Int Cl.: **H01B 7/30** (2006.01)  
**H01B 9/02** (2006.01)  
**H01B 13/22** (2006.01)  
**B60L 11/00** (2006.01)

(71) Anmelder:  
**Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft,  
80809 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Krammer, Josef, Dr., 83607 Holzkirchen, DE;  
Pömmel, Josef, 84032 Furth, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

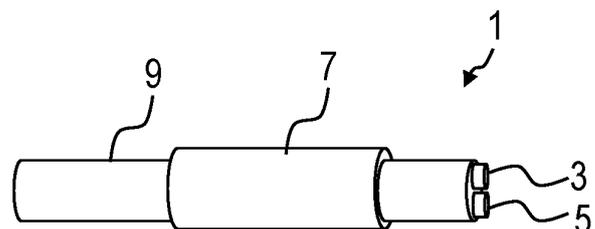
<b>DE</b>	<b>198 80 226</b>	<b>T5</b>
<b>US</b>	<b>3 594 492</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>4 551 576</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>3 215 768</b>	<b>A</b>
<b>EP</b>	<b>0 823 766</b>	<b>A1</b>

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Kabel, Verfahren zur Herstellung des Kabels und Energieversorgungssystem**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Kabel angegeben. Das Kabel (1) umfasst wenigstens zwei Leiter (3, 5), eine magnetische Schirmung (7) sowie eine elektrische Schirmung (8). Hierbei sind die wenigstens zwei Leiter (3, 5) mit ihren Haupterstreckungsachsen parallel, benachbart zueinander angeordnet und voneinander elektrisch isoliert ausgebildet. Die magnetische Schirmung (7) umgibt die wenigstens zwei Leiter (3, 5) wenigstens teilweise entlang eines Umfangs des Kabels (1). Darüber hinaus umgibt die elektrische Schirmung (8) die wenigstens zwei Leiter (3, 5) und die magnetische Schirmung (7). Es werden ferner ein korrespondierendes Verfahren zur Herstellung des Kabels sowie ein Energieversorgungssystem für ein Fahrzeug angegeben, welches das Kabel (1) umfasst.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Kabel, ein Verfahren zur Herstellung des Kabels sowie ein Energieversorgungssystem für ein Fahrzeug.

**[0002]** Elektrische Kabel können in einigen Anwendungsfällen eingesetzt werden, hohe Stromstärken mit hohen Frequenzen zu führen. Eine elektromagnetische Schirmung der Kabel kann hierbei zu Verlusten, thermischer Überlastung oder Starrheit der Kabel führen.

**[0003]** Die Aufgabe, die der Erfindung zugrunde liegt, ist es, ein Kabel, ein korrespondierendes Verfahren zur Herstellung sowie ein Energieversorgungssystem zu schaffen, das bzw. die beitragen, Verluste beim Einsatz des Kabels in vorgenannten Anwendungsfällen gering zu halten und eine Flexibilität des Kabels zu gewährleisten.

**[0004]** Die Aufgabe wird gelöst durch die unabhängigen Patentansprüche. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

**[0005]** Gemäß einem ersten Aspekt betrifft die Erfindung ein Kabel, umfassend wenigstens zwei Leiter, eine magnetische Schirmung sowie eine elektrische Schirmung. Die wenigstens zwei Leiter sind mit ihren Hauptstreckungsachsen parallel, benachbart zueinander angeordnet und voneinander elektrisch isoliert ausgebildet. Die magnetische Schirmung umgibt die wenigstens zwei Leiter wenigstens teilweise entlang eines Umfangs des Kabels. Darüber hinaus umgibt die elektrische Schirmung die wenigstens zwei Leiter und die magnetische Schirmung.

**[0006]** In vorteilhafter Weise trägt dies bei, eine Induktion von Strömen in der elektrischen Schirmung des Kabels zu vermeiden. Insbesondere wird auch bei einem Einsatz des Kabels bei hoher Stromstärke und hoher Frequenz ermöglicht, eine Schirmung des magnetischen Feldes und des elektrischen Feldes zu gewährleisten und Verluste gering zu halten.

**[0007]** Unter der magnetischen Schirmung ist in diesem Zusammenhang ein Mantel des Kabels mit einer hohen magnetischen Leitfähigkeit zu verstehen. Die magnetische Schirmung weist insbesondere eine niedrige elektrische Leitfähigkeit auf. Bei der magnetischen Schirmung kann es sich beispielsweise um eine Polymerfolie handeln, in die Ferritpulver eingebracht ist.

**[0008]** Unter der elektrischen Schirmung ist ferner ein Mantel des Kabels mit einer hohen elektrischen Leitfähigkeit zu verstehen. Die elektrische Schirmung weist insbesondere eine niedrige magnetische Leitfähigkeit auf. Bei der elektrischen Schirmung kann es sich beispielsweise um ein Schirmgeflecht handeln.

**[0009]** Zur elektrischen Isolierung der wenigstens zwei Leiter voneinander sind diese insbesondere jeweils von einer Isolation umgeben.

**[0010]** Durch die magnetische Schirmung kann eine Dicke der elektrischen Schirmung und/oder ein Abstand der elektrischen Schirmung zu den wenigstens zwei Leitern gering gehalten werden. In vorteilhafter Weise wird so zu einem kleinen Durchmesser des Kabels sowie einer mechanischen Flexibilität dessen beigetragen. Insbesondere ist dadurch ein einfacher, robuster Leitungsaufbau möglich. Auf eine Kontaktierung der magnetischen Schirmung kann darüber hinaus verzichtet werden, so dass in diesem Zusammenhang einfache Stecksysteme eingesetzt werden können.

**[0011]** In einer vorteilhaften Ausgestaltung gemäß dem ersten Aspekt weisen die wenigstens zwei Leiter einen Durchmesser  $d > 1$  mm auf. Insbesondere handelt es sich bei dem Leiter nicht um einen Signalleiter.

**[0012]** In vorteilhafter Weise ermöglicht dies die Führung von hohen Stromstärken durch das Kabel. Das Kabel ist insbesondere ausgelegt, Stromstärken im Bereich von 10 A bis 200 A, insbesondere 50 A zu führen. Der Durchmesser des Kabels kann in diesem Zusammenhang insbesondere  $1.0 \text{ mm} \leq d \leq 25 \text{ mm}$  betragen.

**[0013]** In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung gemäß dem ersten Aspekt weist die magnetische Schirmung eine relative magnetische Permeabilität  $\mu_r > 2$  auf.

**[0014]** In vorteilhafter Weise ermöglicht dies eine Schirmung des magnetischen Feldes. Eine Dicke der elektrischen Schirmung und/oder ein Abstand der elektrischen Schirmung von den wenigstens zwei Leitern kann

damit gering gehalten werden. Insbesondere kann die relative magnetische Permeabilität der magnetischen Schirmung  $\mu_r > 5$  betragen, bevorzugt  $\mu_r > 10$ .

**[0015]** In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung gemäß dem ersten Aspekt weisen die wenigstens zwei Leiter eine Isolation mit einer Dicke  $b_{\text{Iso}}$  auf. Darüber hinaus weist die magnetische Schirmung eine Dicke  $b_{\text{Schirm}}$  und eine relative magnetische Permeabilität  $\mu_r$  auf. Für die Dicke  $b_{\text{Iso}}$  der Isolation, der Dicke  $b_{\text{Schirm}}$  der magnetischen Schirmung und der relativen magnetischen Permeabilität  $\mu_r$  der magnetischen Schirmung gilt:

$$\mu_r \cdot b_{\text{Schirm}} / b_{\text{Iso}} > 17.$$

**[0016]** In vorteilhafter Weise ermöglicht dies eine gezielte Auslegung des Kabels auf einen entsprechenden Anwendungsfall. Mit Vorteil lässt sich das Kabel so hinsichtlich der zuführenden Stromstärke, Frequenz und Spannung sowie einer Geometrie der wenigstens zwei Leiter optimieren. Eine Reduktion des Magnetfelds durch die magnetische Schirmung unter der oben genannten Gleichung beträgt mindestens einen Faktor 5.

**[0017]** Bevorzugt beträgt der Faktor der Reduktion 10 oder mehr. Für die Dicke  $b_{\text{Iso}}$  der Isolation, der Dicke  $b_{\text{Schirm}}$  der magnetischen Schirmung und der relativen magnetischen Permeabilität  $\mu_r$  der magnetischen Schirmung gilt dann:

$$\mu_r \cdot b_{\text{Schirm}} / b_{\text{Iso}} > 37.$$

**[0018]** Bei  $\mu_r = 10$  beträgt ein Verhältnis der Dicke  $b_{\text{Schirm}}$  der magnetischen Schirmung zu der Dicke  $b_{\text{Iso}}$  der Isolation 3,7.

**[0019]** In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung gemäß dem ersten Aspekt variiert eine Dicke  $b_{\text{Schirm}}$  der magnetischen Schirmung entlang eines Umfangs des Kabels und/oder eine relative magnetische Permeabilität  $\mu_r$  der magnetischen Schirmung variiert entlang eines Umfangs des Kabels.

**[0020]** In vorteilhafter Weise ermöglicht dies, eine effektive Länge des magnetischen Feldflusses durch eine jeweilige Isolation der wenigstens zwei Leiter wird zu erhöhen. Somit wird beigetragen, einen jeweiligen magnetischen Widerstand zu vergrößern und der magnetische Feldfluss zu reduzieren. Eine mittlere Dicke  $b_{\text{Schirm}}$  der magnetischen Schirmung kann in diesem Fall mit Vorteil gering gehalten werden.

**[0021]** In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung gemäß dem ersten Aspekt weist die magnetische Schirmung eine Ausnehmung auf, welche in einem Bereich zwischen den Haupterstreckungsachsen der wenigstens zwei Leiter angeordnet ist. Die Ausnehmung verjüngt sich hin zu einem Äußeren des Kabels.

**[0022]** In vorteilhafter Weise ermöglicht dies, eine effektive Länge des magnetischen Feldflusses durch eine jeweilige Isolation der wenigstens zwei Leiter wird zu erhöhen. Somit wird beigetragen, einen jeweiligen magnetischen Widerstand zu vergrößern und den magnetischen Feldfluss zu reduzieren. Die Dicke  $b_{\text{Schirm}}$  der magnetischen Schirmung kann in diesem Fall mit Vorteil gering gehalten werden.

**[0023]** In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung gemäß dem ersten Aspekt ist die elektrische Schirmung in einen Mantel des Kabels eingebettet, welcher die wenigstens zwei Leiter und die magnetische Schirmung umhüllt. Bei dem Mantel kann es sich insbesondere um einen Schutzmantel des Kabels handeln.

**[0024]** In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung gemäß dem ersten Aspekt umgibt die magnetische Schirmung die wenigstens zwei Leiter entlang des Umfangs des Kabels vollständig.

**[0025]** In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung gemäß dem ersten Aspekt ist die magnetische Schirmung elektrisch isolierend ausgebildet.

**[0026]** In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung gemäß dem ersten Aspekt weist die magnetische Schirmung ein Polymer auf oder besteht aus diesem, wobei in das Polymer Ferritpulver eingebracht ist.

**[0027]** In vorteilhafter Weise wird so zu einem kleinen Durchmesser des Kabels sowie einer mechanischen Flexibilität dessen beigetragen und zugleich ermöglicht, eine Schirmung des magnetischen Feldes zu gewährleisten. Das Polymer kann insbesondere als Folie ausgebildet sein.

**[0028]** Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines Kabels gemäß dem ersten Aspekt. Das Verfahren umfasst die Schritte:

- a) Bereitstellen wenigstens zweier Leiter, die mit ihren Haupterstreckungsachsen parallel, benachbart zueinander angeordnet und voneinander elektrisch isoliert ausgebildet sind;
- b) Bereitstellen einer zylindrisch geformten, magnetischen Schirmung sowie einer elektrischen Schirmung. Die magnetische Schirmung weist dabei eine Durchgangsöffnung entlang ihrer Haupterstreckungsachse auf;
- c) Überschieben der magnetischen Schirmung, indem die wenigstens zwei Leiter relativ bezüglich der magnetischen Schirmung parallel der Haupterstreckungsachsen durch die Durchgangsöffnung bewegt werden. Die relative Bewegung erfolgt hierbei derart, dass die wenigstens zwei Leiter sich in der Durchgangsöffnung erstrecken und die magnetische Schirmung die wenigstens zwei Leiter vollständig entlang eines Umfangs des Kabels umgibt; und
- d) Aufbringen der elektrischen Schirmung, so dass die elektrische Schirmung die wenigstens zwei Leiter und die magnetische Schirmung umgibt.

**[0029]** Die elektrische Schirmung ist beispielsweise ebenfalls zylindrisch ausgebildet und weist eine Durchgangsöffnung auf. Der Schritt d) erfolgt dann analog zu dem Schritt c).

**[0030]** Beispielsweise wird der Schritt c) vor dem Schritt d) durchgeführt. Alternativ kann die elektrische Schirmung beispielsweise bereits vor dem Schritt c) auf die magnetische Schirmung aufgebracht werden.

**[0031]** Gemäß einem dritten Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines Kabels gemäß dem ersten Aspekt. Das Verfahren umfasst die Schritte:

- a) Bereitstellen wenigstens zweier Leiter, die mit ihren Haupterstreckungsachsen parallel, benachbart zueinander angeordnet und voneinander elektrisch isoliert ausgebildet sind;
- b) Bereitstellen einer zylindrisch geformten, magnetischen Schirmung sowie einer elektrischen Schirmung. Hierbei weist die magnetische Schirmung eine Durchgangsöffnung entlang ihrer Haupterstreckungsachse sowie einen Spalt in ihrer Mantelfläche entlang der Haupterstreckungsachse auf. Der Spalt erstreckt sich von der Mantelfläche hin zu der Durchgangsöffnung;
- c) Aufdrücken der magnetischen Schirmung, indem die wenigstens zwei Leiter relativ bezüglich der magnetischen Schirmung durch den Spalt senkrecht zu den Haupterstreckungsachsen bewegt werden. Die relative Bewegung erfolgt hierbei derart, dass die wenigstens zwei Leiter sich in der Durchgangsöffnung erstrecken und die magnetische Schirmung die wenigstens zwei Leiter zumindest teilweise entlang eines Umfangs des Kabels umgibt; und
- d) Aufbringen der elektrischen Schirmung, so dass die elektrische Schirmung die wenigstens zwei Leiter und die magnetische Schirmung umgibt.

**[0032]** Die elektrische Schirmung ist beispielsweise ebenfalls zylindrisch ausgebildet und weist eine Durchgangsöffnung sowie einen Spalt in ihrer Mantelfläche entlang der Haupterstreckungsachse auf. Der Schritt d) erfolgt dann analog zu dem Schritt c').

**[0033]** Beispielsweise wird der Schritt c') vor dem Schritt d) durchgeführt. Alternativ kann die elektrische Schirmung beispielsweise bereits vor dem Schritt c') auf die magnetische Schirmung aufgebracht werden.

**[0034]** Gemäß einem vierten Aspekt betrifft die Erfindung ein Energieversorgungssystem für ein Fahrzeug. Das Energieversorgungssystem umfasst ein Kabel gemäß dem ersten Aspekt sowie eine Wechselstromquelle und einen Verbraucher.

**[0035]** Die Wechselstromquelle ist mittels der wenigstens zwei Leiter des Kabels derart mit dem Verbraucher gekoppelt, dass sich eine Bilanz eines Stromflusses durch das Kabel im Wesentlichen ausgleicht.

**[0036]** Die Wechselstromquelle kann insbesondere extern zu dem Fahrzeug angeordnet sein. Bei der Wechselstromquelle kann es sich beispielsweise um einen Wechselrichter handeln. Die Wechselstromquelle kann darüber hinaus auch in dem Fahrzeug angeordnet sein. Bei der Wechselstromquelle kann es sich dann beispielsweise um einen Wechselrichter oder eine Spule zur induktiven Energieübertragung handeln.

**[0037]** Der Verbraucher kann insbesondere extern zu dem Fahrzeug angeordnet sein. Bei dem Verbraucher kann es sich beispielsweise um eine Spule zur induktiven Energieübertragung handeln. Der Verbraucher kann darüber hinaus auch in dem Fahrzeug angeordnet sein. Bei dem Verbraucher kann es sich dann beispielsweise um einen Gleichrichter oder einen elektrischen Antrieb des Fahrzeugs handeln.

**[0038]** In einer vorteilhaften Ausgestaltung gemäß dem vierten Aspekt weist ein durch die Wechselstromquelle an das Kabel bereitgestellter Stromfluss eine Frequenz im Bereich zwischen 1 kHz und 200 kHz auf.

**[0039]** Ausführungsbeispiele der Erfindung sind im Folgenden anhand der schematischen Zeichnungen näher erläutert.

**[0040]** Es zeigen:

- Fig. 1** und **Fig. 2** elektrische Energieversorgungssysteme für ein Fahrzeug,
- Fig. 3** und **Fig. 4** stromdurchflossene Leiter,
- Fig. 5** und **Fig. 6** elektrisch geschirmte Doppelleiter,
- Fig. 7** ein erstes Ausführungsbeispiel eines Kabels in Querschnittsdarstellung,
- Fig. 8** ein Energieübertragungssystem gemäß **Fig. 1** mit dem Kabel gemäß **Fig. 7**.
- Fig. 9** bis **Fig. 11** das Kabel gemäß **Fig. 7** in Detailansicht,
- Fig. 12** ein zweites Ausführungsbeispiel eines Kabels in Querschnittsdarstellung,
- Fig. 13** ein elektrisch ungeschirmtes Kabel,
- Fig. 14** ein drittes Ausführungsbeispiel eines Kabels in Querschnittsdarstellung,
- Fig. 15** und **Fig. 16** Verfahren zur Herstellung des Kabels gemäß **Fig. 7**, **Fig. 12** oder **Fig. 14**, und
- Fig. 17** und **Fig. 18** ein viertes Ausführungsbeispiel eines Kabels in Querschnittsdarstellung.

**[0041]** Elemente gleicher Konstruktion oder Funktion sind figurenübergreifend mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

**[0042]** Elektrische Kabel können in einigen Anwendungsfällen eingesetzt werden, hohe Stromstärken mit hohen Frequenzen zu führen. Typischerweise kommen Kabel zum induktiven Laden eines Fahrzeugs oder bei elektrischen Antriebssystemen als Verbindungsleitungen zum Einsatz.

**[0043]** **Fig. 1** zeigt ein erstes elektrisches Energieversorgungssystem für ein Fahrzeug. Das erste elektrische Energieversorgungssystem umfasst einen Wechselrichter **110** als Wechselstromquelle, ein Kabel **101** (HF-Leitung) und eine am Boden angeordnete Primärspule **100** als elektrischen Verbraucher. Darüber hinaus zeigt **Fig. 1** ein zweites elektrisches Energieversorgungssystem für das Fahrzeug, das eine in einen Unterboden des Fahrzeugs integrierte Sekundärspule **200** als Wechselstromquelle, ein Kabel **201** (HF-Leitung) und einen Gleichrichter **210** als Verbraucher umfasst. Die Primärspule **100** ist hierbei mit der Sekundärspule **200** zur drahtlosen Energieübertragung koppelbar und bildet ein induktives Ladesystem. Der Gleichrichter **210** ist mittels einer weiteren Leitung **203** an einen elektrischen Energiespeicher **220** gekoppelt.

**[0044]** **Fig. 2** zeigt ein drittes elektrisches Energieversorgungssystem für ein Fahrzeug, das wiederum einen Wechselrichter **230** als Wechselstromquelle, ein Kabel **207** (dreiphasen-(HF)-Leitung) und einen Elektromotor **240**, insbesondere einen Antriebsmotor des Fahrzeugs, als elektrischen Verbraucher umfasst. Hierbei ist der Wechselrichter **230** beispielhaft mit dem elektrischen Energiespeicher **220** gemäß **Fig. 1** mittels einer weiteren Leitung **205** gekoppelt.

**[0045]** Beispielsweise können beim Einsatz der Kabel **101**, **201** und **207** Stromstärken um etwa 50 A bei Frequenzen im Bereich von ca. 85 kHz (bzw. 1 kHz bei dem Kabel **207**) auftreten. In vielen Fällen können gleichzeitig hohe Spannungen bis zu einigen tausend Volt auftreten. Beispielsweise ist dies im Falle des induktiven Ladens auf resonante Schaltungen und entsprechende Resonanzüberhöhungen zurückzuführen.

**[0046]** Aufgrund der vorgenannt hohen Frequenzen und Stromstärken können um Leiter der Kabel relativ hohe Magnetfelder entstehen. **Fig. 3** zeigt einen mit Strom **I** in Richtung der Zeichenebene stromdurchflossenen ersten Leiter **3** und dabei hervorgerufene Magnetfeldlinien **21**. **Fig. 4** zeigt den stromdurchflossenen ersten

Leiter **3** mit dabei hervorgerufenen Magnetfeldlinien **23** sowie einen parallel dazu angeordneten zweiten Leiter **5**, welcher entgegengesetzt stromdurchflossen ist, mit dadurch hervorgerufenen Magnetfeldlinien **25**.

**[0047]** Bei einer Stromstärke von 50 A und einem Durchmesser des Leiters **3**, **5** samt Isolation von 12 mm (beispielhaft 6mm Draht, 6 mm Isolation) ergibt sich an einer Oberfläche der jeweiligen Isolation eine Flussdichte von ca. 1,66mT.

**[0048]** Zur elektromagnetischen Schirmung können beispielsweise Schirmgeflechte eingesetzt werden, die aus elektrisch leitfähigem Material bestehen. Beispielfhaft kann es sich hierbei um ein Drahtgeflecht aus Aluminium handeln, insbesondere im Falle eines Einsatzes des Kabels in Fahrzeugen. Im Folgenden wird das elektrisch leitfähige Schirmgeflecht auch als elektrische Schirmung bezeichnet. Dieses hat eine magnetische Leitfähigkeit in etwa des freien Raumes, der Luft oder von Isolationsmaterialien ( $\mu_r \sim 1$ ).

**[0049]** **Fig. 5** zeigt eine Leitung mit den beiden Leitern **3**, **5** gemäß **Fig. 4** und einer solchen elektrischen Schirmung **8**. Gestrichelt sind überdies die Magnetfeldlinien **23**, **25** in ihrer Ausbreitungsform ohne die elektrische Schirmung **8** gemäß **Fig. 4** dargestellt. Die Magnetfeldlinien **23**, **25**, die die elektrische Schirmung **8** durchkreuzen führen zu einer Spannungs- und Strominduktion in der elektrischen Schirmung **8**. Je mehr Feldlinien **23**, **25** die elektrische Schirmung **8** kreuzen, desto höher ist eine Induktionsspannung und damit der in der elektrischen Schirmung **8** induzierte Strom. **Fig. 5** zeigt schematisch einen senkrecht aus der Zeichenebene verlaufenden, induzierten Strom **31** in der elektrischen Schirmung **8** sowie einen entgegengesetzt in die Zeichenebene verlaufenden, induzierten Strom **33** in der elektrischen Schirmung **8**.

**[0050]** Die Spannungs- und Strominduktion führt dazu, dass ein entgegengesetztes Magnetfeld erzeugt wird, welches Magnetfeldlinien außerhalb des elektrischen Schirms **8** auslöscht. **Fig. 6** zeigt in diesem Zusammenhang die beiden Leiter **3**, **5** mit der elektrischen Schirmung **8** gemäß **Fig. 5** mit resultierenden Magnetfeldlinien **27**, **29**. Der jeweils zugehörige Strom **31**, **33** in der elektrischen Schirmung **8** kompensiert die Feldlinien **23**, **25**, welche aufgrund geringer magnetischer Leitfähigkeit des elektrischen Schirms **8** diesen durchkreuzen. Eine Stromstärke des Stroms **31**, **33** in der elektrischen Schirmung **8** kann einen hohen prozentualen Anteil des Stroms in den Leitern **3**, **5**, beispielsweise von ca. 10% betragen. Dies kann zu hohen Verlusten in der elektrischen Schirmung **8** und zu einer thermischen Überlastung eines solchen Kabels führen.

**[0051]** Die elektrische Schirmung **8** schirmt die magnetischen Wechselfelder **23**, **25** hierbei nur indirekt ab, indem die Ströme **31**, **33** in der elektrischen Schirmung **8** induziert werden. Gleichfelder werden durch die elektrische Schirmung **8** hingegen nicht abgeschirmt. Wechselfelder mit niedriger Wechselfrequenz werden - wenn eine Eindringtiefe des entsprechenden Feldes in die elektrische Schirmung **8** höher als eine Dicke der elektrischen Schirmung **8** ist - nur teilweise geschirmt.

**[0052]** Um diese Probleme zu bewältigen kann beispielhaft ein großer Abstand zwischen der elektrischen Schirmung **8** und den beiden Leitern **3**, **5** und/oder eine besonders hohe Dicke der elektrischen Schirmung gewählt werden. Dies führt jedoch zu hohen Durchmessern und einem hohen Gewicht der Leitung und beeinträchtigt eine Biegebarkeit bzw. Verlegbarkeit der Leitung.

**[0053]** Im Folgenden wird daher ein Kabel vorgeschlagen welches beiträgt, Verluste gering zu halten und eine mechanische Flexibilität gewährleistet.

**[0054]** **Fig. 7** zeigt in einem ersten Ausführungsbeispiel einen Querschnitt durch ein Kabel **1**, welches beispielhaft als Wechselstromleitung (HF-Leitung) eingesetzt werden kann. Das Kabel **1** weist einen ersten Leiter **3**, beispielsweise ein Hinleiter, mit einer Isolation **4**, einen zweiten Leiter **5**, beispielsweise ein Rückleiter, mit einer Isolation **6** sowie einen gemeinsamen Außenmantel mit Schirmfunktion auf. Der Außenmantel umfasst insbesondere eine magnetische Schirmung **7**, die sich durch eine magnetische Leitfähigkeit und eine mechanische Flexibilität auszeichnet. Der Außenmantel kann ferner eine elektrische Schirmung **8** aufweisen (vgl. **Fig. 14**). Zwischen der Isolation **4**, **6** der Einzelleiter **3**, **5** und dem Außenmantel kann beispielsweise eine Füllmasse **9** eingebracht sein, welche als Zugentlastung dient. Aus Übersichtsgründen ist in den folgenden Figuren lediglich die magnetische Schirmung **7** des Außenmantels dargestellt.

**[0055]** **Fig. 8** zeigt einen beispielhaften Einsatz des Kabels **1** gemäß **Fig. 7** als Kabel **101** in dem ersten Energieübertragungssystem gemäß **Fig. 1**. Die Primärspule **100** umfasst eine Spule **103** und ein Gehäuse **105**. Die Leiter **3**, **5** des Kabels **1** sind jeweils mit einem Stecker **107** an die Spule **103** sowie mit einem Stecker **109** an Elektronik zur Ansteuerung der Spule **103**, vorliegend beispielhaft dem Wechselrichter **110** gekoppelt. Die Leiter werden von der magnetischen Schirmung **7** umgeben. Im Betrieb des Energieübertragungssystems wird

die Spule **103** und das Kabel **101** mit Wechselstrom durchflossen. Bei der Anwendung für induktives Laden wird typisch eine Frequenz von 85kHz verwendet. Die Ströme können sehr hoch sein. Im Falle des induktiven Ladens kann mit 50A als typischer Wert gerechnet werden.

**[0056]** Hierbei gleichen sich zu jedem Zeitpunkt die Ströme in den beiden Leitern **3** und **5** aus. Eine Stromstärke des Stroms durch den Rückleiter **5** in Richtung des Wechselrichters **110** zurück ist also betragsmäßig gleich einer Stromstärke des Stroms durch den Hinleiter **3** in Richtung der Spule **103**.

**[0057]** Anhand der **Fig. 9** und **Fig. 10** ist wiederum der Querschnitt des Kabels **1** gemäß **Fig. 7** dargestellt. **Fig. 9** zeigt darüber hinaus magnetische Feldlinien **41** um den Hinleiter **3**, magnetische Feldlinien **43** um den Rückleiter **5** sowie magnetische Feldlinien **45** im Inneren des Kabels **1** zwischen den beiden Leitern **3**, **5** durch die Isolation **4**, **6**. In **Fig. 10** sind korrespondierend hierzu Maße des Kabels **1** dargestellt. Hierbei ist mit  $b_{\text{Schirm}}$  eine (mittlere) Dicke der magnetischen Schirmung **7** sowie mit  $b_{\text{Iso}}$  eine (mittlere) Dicke der jeweiligen Isolation **4**, **6** bezeichnet. Ferner bezeichnet  $c_{\text{Schirm}}$  eine (mittlere) Länge eines Feldflusses durch die magnetische Schirmung **7**, während  $c_{\text{Iso}}$  eine (mittlere) Länge eines Feldflusses durch die Isolation **4**, **6** bezeichnet. Schließlich ist eine Symmetrieachse  $x$  des Querschnitts zwischen den beiden Leitern **3**, **5** dargestellt. Für eine Hälfte des Kabels **1** (hier rechts der Symmetrieachse  $x$ ) zeigt **Fig. 11** ein Ersatzschaltbild. Die magnetische Spannung  $V_m$  ist hierbei proportional zu dem Strom  $I$  durch den jeweiligen Leiter **3**, **5**. Das Ersatzschaltbild zeigt den magnetischen Fluss  $\Phi$  und die magnetischen Widerstände der magnetischen Schirmung **7**,  $R_{m,\text{Schirm}}$  und der jeweiligen Isolation **4**, **6**,  $R_{m,\text{Iso}}$ .

**[0058]** Die magnetischen Spannungsabfälle an den magnetischen Widerständen  $R_{m,\text{Schirm}}$  und  $R_{m,\text{Iso}}$  verhalten sich proportional zu diesen. Für einen magnetischen Widerstand  $R_m$  gilt generell  $R_m = l / (\mu * A)$ , mit der Länge  $l$  eines magnetischen Leiters bzw. der Feldlinien und seiner Querschnittsfläche  $A$ . Da die Querschnittsfläche  $A$  des magnetischen Leiters, also des Querschnitts des Mantels (Dicke mal Länge) etwa proportional zu der Dicke  $b_{\text{Schirm}}$  der magnetischen Schirmung **7** ist kann näherungsweise angenommen werden, dass  $R_{m,\text{Iso}} \sim c_{\text{Iso}} / (\mu_0 * l * b_{\text{Iso}})$  und  $R_{m,\text{Schirm}} \sim c_{\text{Schirm}} / (\mu_0 * \mu_r * l * b_{\text{Schirm}})$  entsprechen, wobei  $l$  eine Länge des jeweiligen Leiters **3**, **5** bezeichnet.

**[0059]** Daraus folgt, dass sich die magnetische Feldstärke entlang der Länge  $c_{\text{Schirm}}$  entsprechend der Widerstandsverhältnisse  $R_{m,\text{Schirm}}$  zu  $R_{m,\text{Iso}}$  aufteilt, und zwar:

$$R_{m,\text{Iso}} / R_{m,\text{Schirm}} \sim \mu_r * b_{\text{Schirm}} * c_{\text{Iso}} / (c_{\text{Schirm}} * b_{\text{Iso}}) \gg 1$$

**[0060]** Der größte magnetische Widerstandsanteil ist folglich im Inneren des Kabels **1** zwischen beiden Einzelleitern **3**, **5**. Damit tritt die größte magnetische Feldstärke im Inneren des Kabels zwischen den beiden Einzelleitern **3**, **5** auf. Außerhalb der magnetischen Schirmung **7** ist die magnetische Feldstärke  $H$  deutlich reduziert. Die magnetische Schirmung **7** reduziert also die magnetische Feldstärke  $H$  außerhalb. Mit doppelter Dicke  $b_{\text{Schirm}}$  des magnetischen Schirms oder doppeltem  $\mu_r$  halbiert sich das äußere Feld (doppelte Dämpfung).

**[0061]** Mit der vereinfachenden Annahme eines kreisrunden Magnetfelds um einen Leiter mit dem Radius  $r$  entspricht eine magnetische Flussdichte  $B_{\text{normal}}$  an einer Außenseite eines Kabels ohne magnetischer Schirmung ( $\mu_r = 1$ ):

$$B_{\text{normal}} = \mu_0 * I / (2 * \pi * r)$$

**[0062]** Mit der weiteren vereinfachenden Annahme, dass eine Strecke durch eine Isolation des Leiters einem Viertel des Umfangs entspricht und eine Strecke durch die magnetische Schirmung dreiviertel des Umfangs entspricht gilt:

$$R_{m,\text{Iso}} \sim c_{\text{Iso}} / (\mu_0 * l * b_{\text{Iso}}) \\ \sim \pi * r / (2 * \mu_0 * l * b_{\text{Iso}}) \text{ und}$$

$$R_{m,Schirm} \sim c_{Schirm} / (\mu_0 * \mu_r * l * b_{Schirm})$$

$$\sim 3 * \pi * r / (2 * \mu_0 * \mu_r * l * b_{Schirm})$$

[0063] Der magnetische Fluss durch den Schirm ist damit

$$I / (R_{m,Iso} + R_{m,Schirm}) = I * 2 * \mu_0 * l * / (\pi * r * ((1/b_{Iso}) + (3/\mu_r * b_{Schirm})))$$

[0064] Damit ergibt sich als magnetische Flussdichte entlang der Feldlinien **45** (vgl. **Fig. 9**) in der magnetischen Schirmung **7** als magnetischer Fluss geteilt durch eine Fläche  $l * b_{Schirm}$ :

$$B_{Schirm} = I * 2 * \mu_0 * l * / (\pi * r * ((1/b_{Iso}) + (3/\mu_r * b_{Schirm}))) * l * b_{Schirm}$$

$$= I * 2 * \mu_0 / (\pi * r * ((1/b_{Iso}) + (3/\mu_r * b_{Schirm}))) * b_{Schirm}$$

$$= I * 2 * \mu_0 / (\pi * r * (b_{Schirm}/b_{Iso} + 3/\mu_r))$$

$$= 4 * (I * 2 * \mu_0 / (2 * \pi * r)) / (b_{Schirm}/b_{Iso} + 3/\mu_r)$$

$$= 4 * B_{normal} / (b_{Schirm}/b_{Iso} + 3/\mu_r)$$

[0065] Aufgrund der Kontinuitätsbeziehung der Feldstärke H an der Außenkante der magnetischen Schirmung **7** folgt, dass das B-Feld außerhalb um den Faktor  $\mu_r$  kleiner ist als im Inneren der magnetischen Schirmung **7**:

$$H_{Schirm} = 4 * H_{normal} / (\mu_r * b_{Schirm}/b_{Iso} + 3)$$

[0066] Folglich nimmt die Schirmwirkung mit der Dicke  $b_{Schirm}$  der magnetischen Schirmung **7** und der relativen Permeabilität  $\mu_r$  der magnetischen Schirmung **7** zu. Eine Reduktion des Magnetfeldes durch die magnetische Schirmung **7** sollte größer einem Faktor **5** sein. Beispielhaft wird ein angestrebter Faktor **10** angenommen. Aus voriger Gleichung ergeben sich daher für die Dicke  $b_{Schirm}$  der magnetischen Schirmung **7**, die relative Permeabilität  $\mu_r$  der magnetischen Schirmung **7** und die Dicke der jeweiligen Isolation **3**, **5**:

$$1 = 4 * 10 / (\mu_r * b_{Schirm}/b_{Iso} + 3)$$

$$= 40 / (\mu_r * b + 3)$$

$$\mu_r * b + 3 = 40, \text{ mit dem Dickenverhältnis } b = b_{Schirm}/b_{Iso}$$

$$\mu_r * b = 37$$

[0067] Als mögliche Lösung kommt daher  $\mu_r = 10$  und  $b = 3,7$  in Betracht; die magnetische Schirmung **7** weist also in etwa die 3-fache Dicke der Isolation **3**, **5** auf.

[0068] **Fig. 12** zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel des Kabels **1**. Das Kabel **1** unterscheidet sich von dem ersten Ausführungsbeispiel durch eine Formgebung der magnetischen Schirmung **7**. Wie anhand der Übersichtsfigur links in **Fig. 12** sowie der Vergrößerung rechts in **Fig. 12** dargestellt weist die magnetische Schirmung **7** jeweils einen Spalt entlang der Symmetrieachse x (vgl. **Fig. 10**) auf, der beispielsweise mit dem Füllmaterial **9** befüllt oder frei ist. Dies hat den Vorteil, dass die effektive Länge  $c_{Iso}$  vergrößert wird, so dass der magnetische Widerstand  $R_{m,Iso}$  zu- und der magnetische Fluss abnimmt. Insbesondere wird so im Vergleich zu dem ersten Ausführungsbeispiel ein geringerer magnetischer Fluss in der magnetischen Schirmung **7** erreicht, so dass diese im Mittel dünner dimensioniert werden kann. Darüber hinaus kann ein induktiver Leitungsbelag (elektrisches Modell der Leitung) reduziert werden. Die magnetischen Feldlinien treten kaum aus dem abgeschirmten Spalt aus, da sie im Inneren zur Gegenseite geschlossen werden.

[0069] Der Spalt kann sich hierbei hin zu einem Äußeren des Kabels **1** verjüngen. Mit Vorteil vergrößert dies die effektive Länge  $c_{ISO}$  weiter.

[0070] Alternativ oder zusätzlich kann die magnetische Schirmung **7** derart ausgebildet sein, dass die Dicke  $b_{Schirm}$  der magnetischen Schirmung **7** entlang ihres Umfangs variiert (nicht dargestellt).

[0071] Alternativ oder zusätzlich kann die magnetische Schirmung **7** ferner derart ausgebildet sein, dass die relative Permeabilität  $\mu_r$  der magnetischen Schirmung **7** entlang ihres Umfangs variiert (nicht dargestellt).

[0072] Auch durch diese Maßnahmen kann die effektive Länge  $c_{ISO}$  vergrößert werden und es stellen sich die vorgenannten Vorteile ein.

[0073] Anhand der **Fig. 13** ist ein Kabel gemäß der vorigen Ausführungsbeispiele mit magnetischer Schirmung **7**, jedoch ohne elektrischer Schirmung **8** dargestellt. Häufig treten wie in den anhand **Fig. 1** und **Fig. 2** geschilderten Anwendungsfällen zur Übertragung hoher Leistungen auch hohe Spannungen auf. Damit einhergehende elektrische Felder bzw. Feldlinien **51** treten zusätzlich zu den magnetischen Feldern auf (hier nicht näher dargestellt) und werden durch die magnetische Schirmung **7** nicht reduziert. Daher ist in vielen Fällen ein zusätzlicher Schirm notwendig.

[0074] **Fig. 14** zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel des Kabels **1** mit der elektrischen Schirmung **8**. Elektrische Feldlinien **53** bleiben innerhalb der elektrischen Schirmung **8**, da die Feldstärke mit der metallischen kurzgeschlossen wird. In anderen Worten gehen die elektrischen Feldlinien vom Potential der positiven Leitung zum Potential der negativen Leitung. Dabei breiten sie sich ohne die elektrische Schirmung, welche als elektrischer Leiter dienen würde, im Raum derart aus, dass eine Dichte der elektrischen Feldlinien bei kurzen Abständen höher als bei langen Feldlinien ist. Die elektrische Schirmung als elektrischer Leiter stellt für die elektrischen Feldlinien (E-Feld) einen Kurzschluss dar. Wie in **Fig. 14** gezeigt, enden und beginnen diese Feldlinien an der elektrischen Schirmung. Da die elektrische Schirmung für das E-Feld einen Kurzschluss darstellt, stellt sich in der elektrischen Schirmung ein gemeinsames Potential ein, das in der Mitte der Spannungen der positiven und der negativen Leitung liegt. Außerhalb der elektrischen Schirmung kann kein E-Feld auftreten, da keine Potentialdifferenz mehr vorhanden ist. Die elektrische Schirmung **8** kann beispielsweise in einen Schutzmantel **10** des Kabels **1** eingebettet sein.

[0075] Da bei den anhand **Fig. 1** und **Fig. 2** geschilderten Anwendungsfällen die auftretenden Frequenzen  $< 1\text{MHz}$  sind und die Abmessungen des Kabels **1** klein gegenüber der Wellenlänge sind (bei  $1\text{MHz}$  ist diese  $300\text{m}$ ), herrschen Nahfeldbedingungen. Folglich können elektrisches und magnetisches Feld unabhängig betrachtet werden.

[0076] Bei einer Anordnung der elektrischen Schirmung **8** um die magnetische Schirmung **7** sind außerhalb der magnetischen Schirmung **7** nur elektrische Felder vorhanden. Daher werden durch die elektrische Schirmung **8** nur elektrische Felder geschirmt. Dazu sind nur minimale Schirmströme notwendig, um die Kapazitäten zwischen den Leitern **3, 5** und der elektrischen Schirmung **8** umzuladen.

[0077] Anhand der **Fig. 15** und **Fig. 16** sind zwei Verfahren zur Herstellung des Kabels **1** dargestellt. Es wird jeweils ein nicht geschirmtes Kabel bereitgestellt. Beispielhaft werden hierzu die zwei voneinander isolierten Leiter **3, 5** bereitgestellt. Wie dargestellt können die Leiter **3, 5** bereits mit dem Füllmaterial **9** umhüllt sein. Bei dem Füllmaterial **9** kann es sich hier insbesondere um einen magnetisch neutralen Mantel handeln.

[0078] In einer ersten Ausführungsvariante (erstes Verfahren) wird eine geschlitzte magnetische Schirmung **7a** bereitgestellt. Bei der magnetischen Schirmung **7a** handelt es sich um die magnetische Schirmung **7** der vorigen Ausführungsbeispiele, welche zylindrisch geformt ist, eine Durchgangsöffnung entlang ihrer Hauptstreckungsachse sowie einen Spalt in ihrer Mantelfläche entlang der Hauptstreckungsachse aufweist (vgl. **Fig. 12**). In einem Montageschritt **A** wird die magnetische Schirmung **7a** seitlich über die Leiter **3, 5** gedrückt, so dass das magnetisch geschirmte Kabel **1** entsteht (**Fig. 16**). Die magnetische Schirmung **7a** ist in diesem Zusammenhang insbesondere elastisch ausgebildet.

[0079] In einer zweiten Ausführungsvariante (zweites Verfahren) wird eine magnetische Schirmung **7b** bereitgestellt, die im Gegensatz zu der magnetischen Schirmung **7a** lediglich eine Durchgangsöffnung entlang ihrer Hauptstreckungsachse aufweist. In einem Montageschritt **B** wird die magnetische Schirmung **7b** über die Leiter **3, 5** geschoben, so dass das magnetisch geschirmte Kabel **1** entsteht (**Fig. 16**).

**[0080]** In beiden Verfahren kann nachträglich die elektrische Schirmung **8** aufgebracht werden. Alternativ kann diese beispielsweise bereits mit der magnetischen Schirmung **7a** bzw. **7b** in den Montageschritten **A** oder **B** aufgebracht werden.

**[0081]** In einem vierten Ausführungsbeispiel unterscheidet sich das Kabel **1** in der Anzahl der Leiter (vgl. **Fig. 17** und **Fig. 18**). **Fig. 17** zeigt die Primärspule **100** gemäß **Fig. 1** in Draufsicht. Die Spule **103** ist aufgrund hoher Stromstärke mittels mehrerer paralleler Leitungen gekoppelt, die gemeinsam in dem Kabel **1** gebündelt sind und ein mehrphasiges Leitersystem bilden. Beispielhaft weist die Spule **103** mehrere Einzelspulen auf, die jeweils mit einer der parallelen Leitungen gekoppelt sind.

**[0082]** **Fig. 18** zeigt das Kabel **1** als Vier-Leitersystem, bei dem neben den beiden Leitern **3**, **5** zwei zusätzliche Leiter **2a**, **2b** von der magnetischen Schirmung **7** umgeben sind.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Kabel
<b>2a, 2b</b>	weitere Leiter
<b>3</b>	erster Leiter
<b>4</b>	Isolation
<b>5</b>	zweiter Leiter
<b>6</b>	Isolation
<b>7, 7a, 7b</b>	magn. Schirmung
<b>8</b>	el. Schirmung
<b>9</b>	Füllmasse
<b>10</b>	Schutzmantel
<b>21</b>	Magnetfeld
<b>23</b>	Magnetfeld
<b>25</b>	Magnetfeld
<b>27</b>	Magnetfeld
<b>29</b>	Magnetfeld
<b>31</b>	Schirmstrom
<b>33</b>	Schirmstrom
<b>41</b>	magn. Feldlinien
<b>43</b>	magn. Feldlinien
<b>45</b>	magn. Feldlinien
<b>51</b>	el. Feldlinien
<b>53</b>	el. Feldlinien
<b>100</b>	Primärspule
<b>101</b>	HF-Leitung
<b>103</b>	Spule
<b>105</b>	Gehäuse
<b>107</b>	Stecker
<b>109</b>	Stecker
<b>110</b>	Wechselrichter
<b>200</b>	Sekundärspule

<b>201</b>	HF-Leitung
<b>203</b>	Leitung
<b>205</b>	Leitung
<b>207</b>	HF-Leitungen
<b>210</b>	Gleichrichter
<b>220</b>	Speicher
<b>230</b>	Wechselrichter
<b>240</b>	Elektromotor
<b>c<sub>Schirm</sub></b>	Schirmflusslänge
<b>c<sub>Iso</sub></b>	Isolationsflusslänge
<b>b<sub>Schirm</sub></b>	Schirmdicke
<b>b<sub>Iso</sub></b>	Isolationsdicke
<b>R<sub>m,Iso</sub></b>	magn. Isolationswiderstand
<b>R<sub>m,Schirm</sub></b>	magn. Schirmwiderstand
<b>V<sub>m</sub></b>	magn. Spannung
<b>I</b>	el. Strom
<b>Φ</b>	magn. Fluss
<b>μ<sub>r</sub></b>	relative magn. Permeabilität
<b>A</b>	Montageschritt
<b>B</b>	Montageschritt

### Patentansprüche

1. Kabel (1), umfassend wenigstens zwei Leiter (3, 5), eine magnetische Schirmung (7) sowie eine elektrische Schirmung (8), wobei

- die wenigstens zwei Leiter (3, 5) mit ihren Haupterstreckungsachsen parallel, benachbart zueinander angeordnet und voneinander elektrisch isoliert ausgebildet sind,
- die magnetische Schirmung (7) die wenigstens zwei Leiter (3, 5) wenigstens teilweise entlang eines Umfangs des Kabels (1) umgibt, und
- die elektrische Schirmung (8) die wenigstens zwei Leiter (3, 5) und die magnetische Schirmung (7) umgibt.

2. Kabel (1) nach Anspruch 1, wobei die wenigstens zwei Leiter (3, 5) einen Durchmesser  $d > 1$  mm aufweisen.

3. Kabel (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 oder 2, wobei die magnetische Schirmung (7) eine relative magnetische Permeabilität  $\mu_r > 2$  aufweist.

4. Kabel (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 3, wobei die wenigstens zwei Leiter (3, 5) eine Isolation (4, 6) mit einer Dicke  $b_{Iso}$  aufweisen, die magnetische Schirmung (7) eine Dicke  $b_{Schirm}$  und eine relative magnetische Permeabilität  $\mu_r$  aufweist, und für die Dicke  $b_{Iso}$  der Isolation (4, 6), der Dicke  $b_{Schirm}$  der magnetischen Schirmung (7) und der relativen magnetischen Permeabilität  $\mu_r$  der magnetischen Schirmung (7) gilt:

$$\mu_r \cdot b_{Schirm} / b_{Iso} > 17.$$

5. Kabel (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 4, wobei eine Dicke  $b_{Schirm}$  der magnetischen Schirmung (7) und/oder eine relative magnetische Permeabilität  $\mu_r$  der magnetischen Schirmung (7) entlang eines Umfangs des Kabels (1) variiert.

6. Kabel (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 5, wobei die magnetische Schirmung (7) eine Ausnehmung aufweist, welche in einem Bereich zwischen den Haupterstreckungsachsen der wenigstens zwei Leiter (3, 5) angeordnet ist, und welche sich hin zu einem Äußeren des Kabels (1) verjüngt.

7. Kabel (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 6, wobei die elektrische Schirmung (8) in einen Mantel des Kabels (1) eingebettet ist, welcher die wenigstens zwei Leiter (3, 5) und die magnetische Schirmung (7) umhüllt.

8. Kabel (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 7, wobei die magnetische Schirmung (7) die wenigstens zwei Leiter (3, 5) entlang des Umfangs des Kabels (1) vollständig umgibt.

9. Kabel (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 8, bei dem die magnetische Schirmung (7) elektrisch isolierend ausgebildet ist.

10. Kabel (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 9, bei dem die magnetische Schirmung (7) ein Polymer aufweist oder aus diesem besteht, wobei in das Polymer Ferritpulver eingebracht ist.

11. Verfahren zur Herstellung eines Kabels (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 10, aufweisend die Schritte:

- Bereitstellen wenigstens zweier Leiter (3, 5), die mit ihren Haupterstreckungsachsen parallel, benachbart zueinander angeordnet und voneinander elektrisch isoliert ausgebildet sind,
- Bereitstellen einer zylindrisch geformten, magnetischen Schirmung (7) sowie einer elektrischen Schirmung (8), wobei die magnetische Schirmung (7) eine Durchgangsöffnung entlang ihrer Haupterstreckungsachse aufweist,
- Überschieben der magnetischen Schirmung (7), indem die wenigstens zwei Leiter (3, 5) relativ bezüglich der magnetischen Schirmung (7) parallel der Haupterstreckungsachsen durch die Durchgangsöffnung bewegt werden, so dass die wenigstens zwei Leiter (3, 5) sich in der Durchgangsöffnung erstrecken und die magnetische Schirmung (7) die wenigstens zwei Leiter (3, 5) vollständig entlang eines Umfangs des Kabels (1) umgibt, und
- Aufbringen der elektrischen Schirmung (8), so dass die elektrische Schirmung (8) die wenigstens zwei Leiter (3, 5) und die magnetische Schirmung (7) umgibt.

12. Verfahren zur Herstellung eines Kabels (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 10, aufweisend die Schritte:

- Bereitstellen wenigstens zweier Leiter (3, 5), die mit ihren Haupterstreckungsachsen parallel, benachbart zueinander angeordnet und voneinander elektrisch isoliert ausgebildet sind,
- Bereitstellen einer zylindrisch geformten, magnetischen Schirmung (7) sowie einer elektrischen Schirmung (8), wobei die magnetische Schirmung (7) eine Durchgangsöffnung entlang ihrer Haupterstreckungsachse sowie einen Spalt in ihrer Mantelfläche entlang der Haupterstreckungsachse aufweist, und der Spalt sich von der Mantelfläche hin zu der Durchgangsöffnung erstreckt,
- Aufdrücken der magnetischen Schirmung (7), indem die wenigstens zwei Leiter (3, 5) relativ bezüglich der magnetischen Schirmung (7) durch den Spalt senkrecht zu den Haupterstreckungsachsen bewegt werden, so dass die wenigstens zwei Leiter (3, 5) sich in der Durchgangsöffnung erstrecken und die magnetische Schirmung (7) die wenigstens zwei Leiter (3, 5) zumindest teilweise entlang eines Umfangs des Kabels (1) umgibt, und
- Aufbringen der elektrischen Schirmung (8), so dass die elektrische Schirmung (8) die wenigstens zwei Leiter (3, 5) und die magnetische Schirmung (7) umgibt.

13. Energieversorgungssystem für ein Fahrzeug, umfassend

- ein Kabel (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 10,
- eine Wechselstromquelle (110), und
- einen Verbraucher (100), wobei die Wechselstromquelle (110) mittels der wenigstens zwei Leiter (3, 5) des Kabels (1) mit dem Verbraucher (100) derart gekoppelt ist, dass sich eine Bilanz eines Stromflusses durch das Kabel (1) im Wesentlichen ausgleicht.

14. Energieversorgungssystem nach Anspruch 13, wobei ein durch die Wechselstromquelle an das Kabel (1) bereitgestellter Stromfluss eine Frequenz im Bereich zwischen 1 kHz und 200 kHz aufweist.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

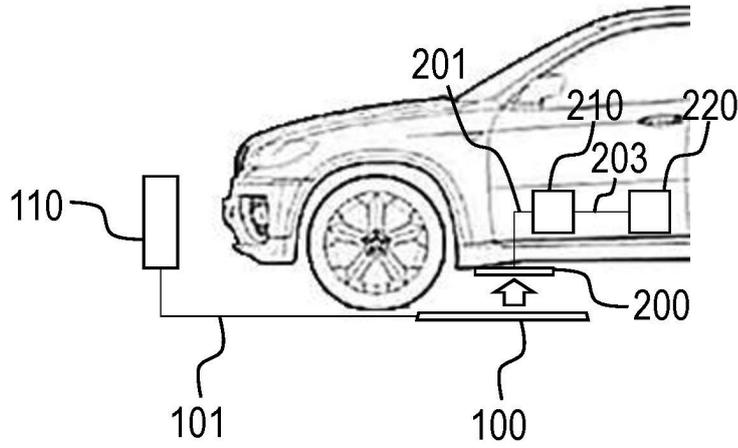


Fig. 2

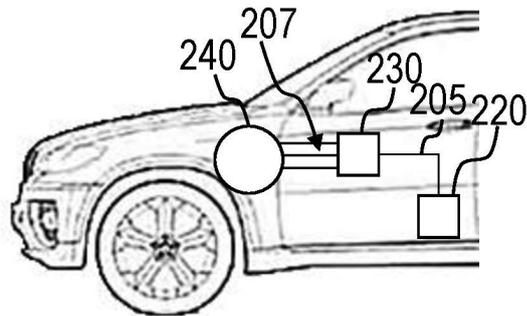


Fig. 3

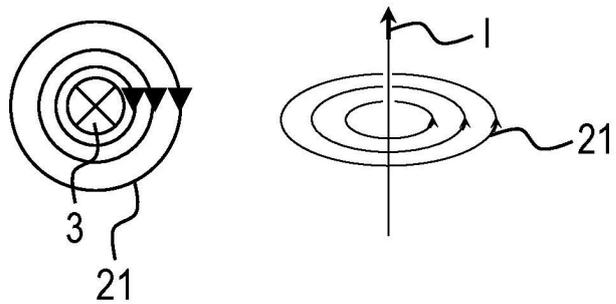


Fig. 4

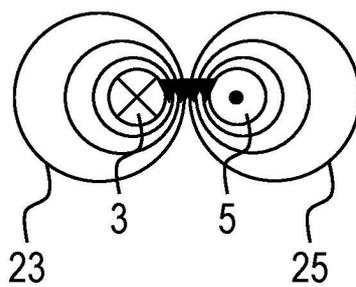


Fig. 5

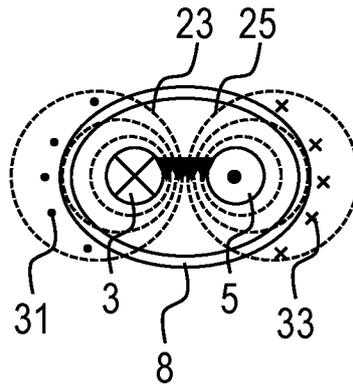


Fig. 6

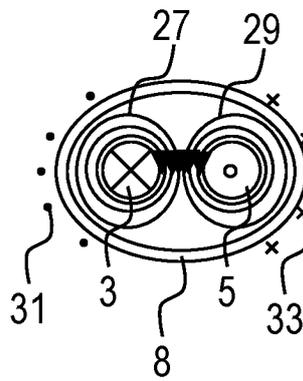


Fig. 7

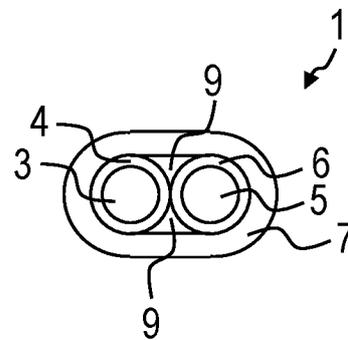


Fig. 8

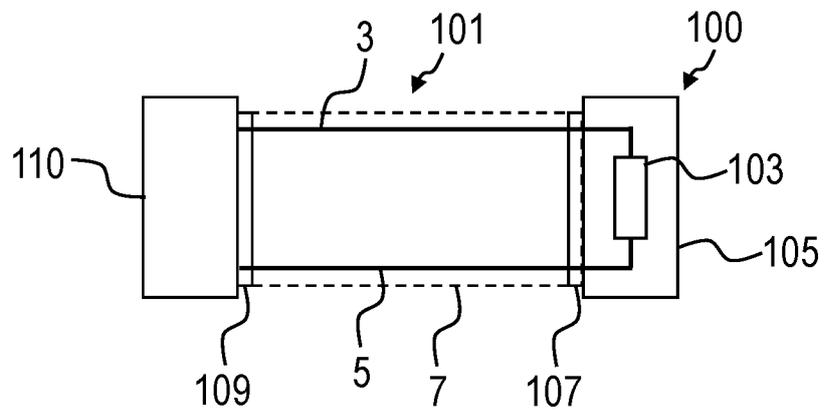


Fig. 9

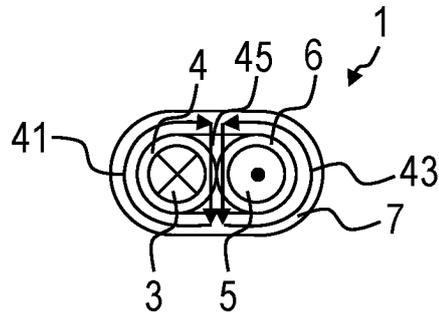


Fig. 10

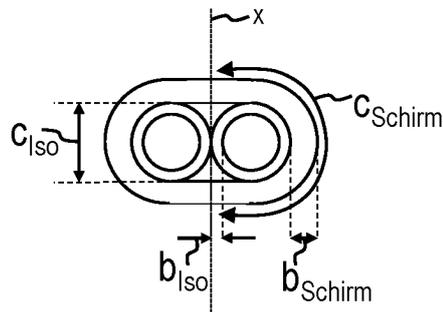


Fig. 11

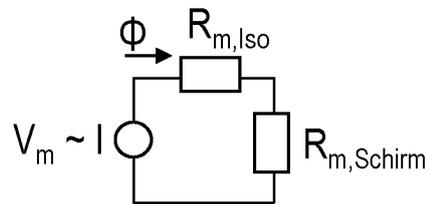


Fig. 12

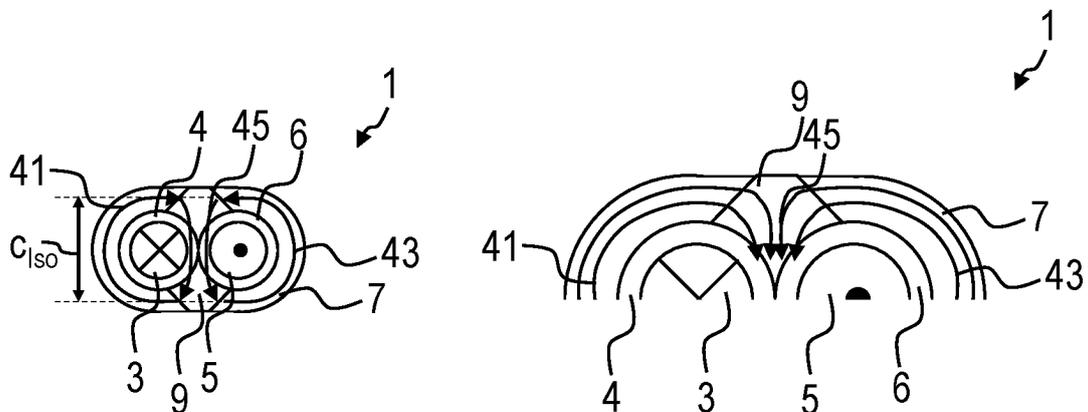


Fig. 13

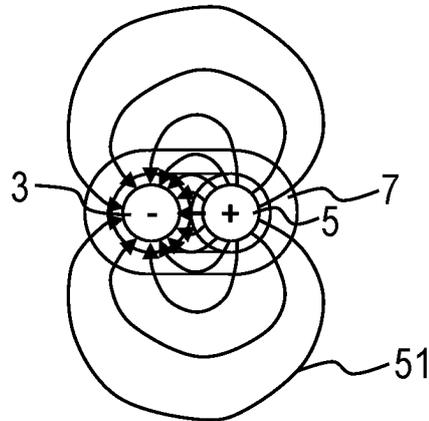


Fig. 14

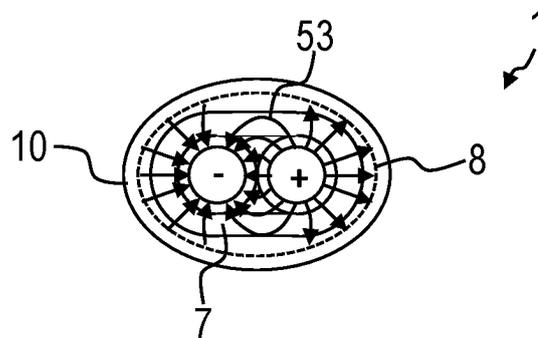


Fig. 15

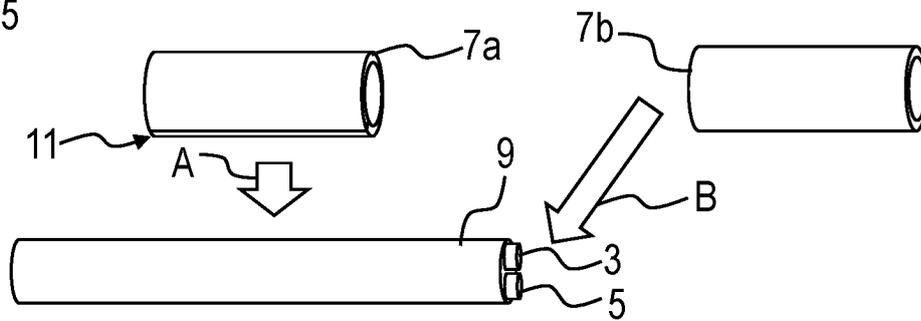


Fig. 16

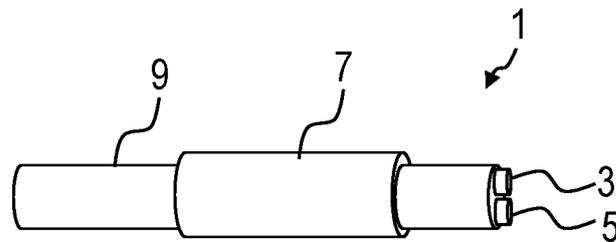


Fig. 17

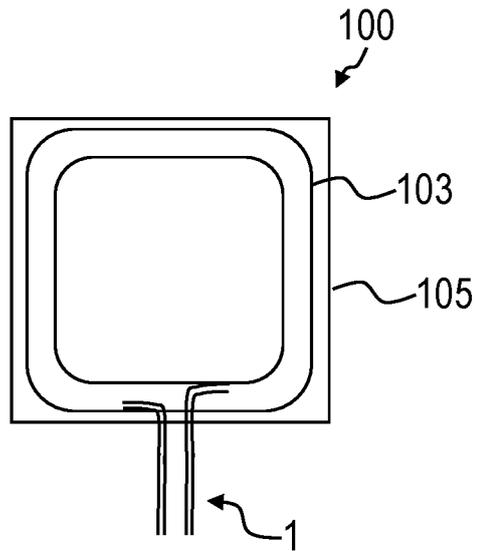


Fig. 18

