

Kabel und Leitungen

Standard-Bezeichnungen

Für Kabel gibt es kryptische Kurznamen, die aber schon ziemlich genau sagen, wie ein Kabel aufgebaut ist. Eine Übersetzungshilfe gibt der Wikipedia-Artikel [Typenkurzzeichen von Leitungen](#).

Strom

Der maximale Strom, den man einem Kabel zumuten kann, wird durch die Wärme bestimmt, die der ohmsche Widerstand erzeugt. Im Detail hängt das natürlich davon ab, wie gut die Wärme abgeleitet wird und weit man in Richtung Glühdraht zu gehen bereit ist. Die Tabelle rechts gibt an, welcher Strom einem bestimmten Kupferquerschnitt bei einer stationäre Verlegung in Haushalten zugemutet werden darf. Die Werte sind übernommen von <http://www.helukabel.de>.

Die aktuell gültige Norm, für die maximale Strombelastbarkeit ist DIN VDE 0276-1000 von 1995. Die Vorgängernorm dazu war DIN 57298-2 von 1979.

Bei gedruckten Schaltungen stößt man auch an an Grenzen. Wenn in einer Schaltung dauerhaft viel Strom fließen soll, muss das durch entsprechend breite Leiterbahnen im Layout berücksichtigt werden. Für 10 A ist man erst mit 10 mm Breite auf der sicheren Seite. Es gibt die Möglichkeit, statt den üblichen 35 µm Kupferauflage die doppelte Dicke zu verwenden. Damit kann dann grob doppelt so viel Strom durch die Leitungen geschickt werden. Für genaue Werte siehe diese [Zusammenstellung von Basista](#) (im Web-Archiv).

Nick de Smith betreibt einen praktischen Online-Rechner für Leiterbahn-Dicken und Stromstärken unter: <http://www.desmith.net/NMdS/Electronics/TraceWidth.html>

Fläche	Durchm.	Strom	Widerst.	AWG
[mm²]	[mm]	[A]	[mΩ/m]	
0.05	0.25	1	350	30
0.08	0.32	1.5	213	28
0.15	0.45	2	180	25
0,25	0.55	4	110	23
0,34	0.65	6	55	22
0,50	0.80	9	32	21
0,75	1.0	12	25	19
1	1.1	15	18	17
1,5	1.4	18	13	15
2,5	1.8	26	7.6	13
4	2.3	34	4.6	11
6	2.8	44	3.2	10
10	3.6	61	1.7	7
13.3	4.1		1.3	6
16	4.5	82	1.1	5
21	5,2		0.81	4
25	5.6	108	0.64	3
35	6.7	135	0.53	2
42.4	7.3		0.41	1
50	8.8	168	0.42	0
70	9.4	207	0.26	00
85	10.1	250	0.21	000
107	11.7		0.16	0000
150	13.8	335	0.13	
185	15.3	382	0.10	
240	17.5	453		
300	20.5	523		

Maximal zulässiger Strom und Leitungswiderstand pro Meter bei gegebenem Leiterquerschnitt

Erdung

Erdungskabel (nicht "Massekabel") sollten gelb-grün gekennzeichnet sein. Diese Farbe ist exklusiv. Um Unfälle zu vermeiden, darf gelbgrünes Kabel nicht für andere Zwecke verwendet werden.

Jeder optische Tisch und jedes Metallgehäuse muss aus Sicherheitsgründen geerdet werden. Der Grund ist leicht einsichtig. Irgendwo im Experiment kommen sicher Spannungen in gesundheitsgefährdender Höhe zum Einsatz. Typische Kandidaten sind Piezos, Ionengetterpumpen, EOMs, Gasentladungen, oder jedes Gerät, das an Netzspannung angeschlossen wird. Ohne Erdung könnte nun einer dieser Kandidaten durch einen Defekt den optischen Tisch unbemerkt unter Hochspannung setzen. Die Erdungsleitung muss fest montiert sein. Ein Stecker in einer Schukodose ist zwar besser als Nichts aber auf keinen Fall eine Dauerlösung.

Wenn es eine echten Hochspannungsüberschlag gibt, dann muss die dabei übertragene Ladung abgeleitet werden. Das braucht eine gewisse Zeit. In dieser Zeit liegen die betroffenen Metallteile kurzfristig auf einem hohen Potential gegenüber der Umgebung. Das kann angeschlossene elektronische Geräte beschädigen. Deshalb sollte die Erdung möglichst niederohmig, also mit einem dicken Kabel erfolgen. Natürlich steigt mit der Dicke auch der Preis und der Aufwand bei der Verlegung. Erdungskabel mit 6 mm² Querschnitt der Kupferseele sind ein erprobter Kompromiss.

Drehstrom

Kabel für  **Drehstrom** sind in unterschiedlichen Varianten erhältlich, die für verschiedene Anwendungen optimiert sind. Bei der Auswahl ist der Kupfer-Querschnitt der einzelnen Adern von Bedeutung. Dieser Querschnitt sollte immer ausreichen, um den größten erwartbaren Strom ohne schmelzende Isolierung transportieren zu können. Im Zweifelsfall orientiert man sich dabei an der Belastungsfähigkeit der am Ende des Kabels montierten Steckverbinder. Die Tabelle oben gibt einen Anhaltspunkt für den Zusammenhang zwischen Strom und Querschnitt.

Von steif bis geschmeidig

Die zweite, beim Einkauf von Drehstromkabeln wichtige Eigenschaft, ist die Biegsamkeit:

- Für fest installierte Leitungen gibt es Mantelkabel, deren Adern aus einem massiven Draht Kupfer bestehen. Diese Kabel kann man zwar mit etwas Kraft auch um enge Kurven biegen. Dies sollte aber nur einmal geschehen. Kupfer versprödet durch die Scherung bei der Biegung. Bei weiteren Biegungen kommt es dann recht schnell zum Bruch. Beispiel für ein Verlegekabel mit einem Querschnitt von 2.5 mm² pro Ader: NYM-J-5×2,5
- Für den Anschluss von selten bewegten Geräten gibt es Anschlussleitungen mit feiner Litze und "normalem" Mantel aus PVC. Was sich mittelmäßig steif anfühlt ist in der harmonisierten Kabelbezeichnung als Flexibilitätssklasse 5 formalisiert. Beispiel für ein Anschlusskabel, das für Küchenherde gedacht ist: H05VV-F-5G2,5
- Für Anwendungen, bei denen das Kabel häufiger bewegt wird, gibt es Varianten, die besonders flexibel sind. Der Mantel dieser Kabel ist aus Gummi. Die Adern sind meist gegenüber dem Mantel durch Talkum leicht verschiebbar. Die Adern sind aus feiner Litze aufgebaut. Außerdem wird in der Mitte ein Seil mitgeführt, das Zugbelastungen aufnehmen kann. Insgesamt entsteht dadurch ein widerstandsfähiges, geschmeidiges Kabel mit der Flexibilitätsklasse 7. Diese

Schlauchleitungen sind deswegen die empfohlenen Kabel für  **CEE-Stecker**. Beispiel: H07RN-F-5G4

- In manchen Fällen benötigt man Leitungen, die besonders weich sind oder häufig gebogen werden sollen. Ein typisches Beispiel dafür wären Bananenkabel. Für diese Anwendungen gibt es nicht genormte Leitungen mit besonders vielen Kupferadern. Bei der Serie FLEXI-E der Firma Stäubli hat eine Leitung mit 2.5 mm² Kupferquerschnitt 651 Adern. So ein Aufwand hat natürlich einen Preis. In diesem Fall sind es etwa 2 €/m.
- Eine Anwendung für flexible Hochstrom-Kabel, die häufig genug ist, dass dafür spezielle Leitungen angeboten werden, ist das Schutzgasschweißen. Diese Leitungen sind empfehlenswert, wenn Strom in der Größenordnung von 100 A oder mehr übertragen werden sollen. Die Norm-Bezeichnung für eine Schweiß-Leitung mit 95 mm² Kupfer lautet: H01N2-D-1-95

Farbgebung

Die Adern von Wechselstromkabeln haben elektrotechnisch gesehen eine unterschiedliche Funktion. Es wäre etwas ungünstig, wenn man beim Anschluss etwa die Phase L1 mit der Schutz Erde verbindet. Dieser Fehler wird (hoffentlich) mit dem Anschlagen von mindestens einer Sicherung bestraft. Um solche Pannen zu vermeiden, sind die Isolation der Adern eingefärbt. Dabei gibt es folgende Konventionen (leider mehr als eine):

	Farbe aktuell	Farbe "alt"	Farbe "DDR"	Farbe "Schweiz"
Schutzerde	 grün-gelb	grün-gelb	grün-gelb	grün-gelb
Nulleiter	 blau	blau		blau
Phase L1	 braun	schwarz	schwarz	schwarz
Phase L2	 schwarz	braun	braun	rot
Phase L3	 grau	schwarz	blau	weiß

Brandschutz

Wenn viele Meter Kabel in einem Labor verlegt werden, sollte auch ein Blick auf die Brandschutz-Eigenschaften geworfen werden. Abhängig vom Material der Isolierung können Kabel wesentlich zur Gefährlichkeit eines Feuers beitragen. Das billigste Isolationsmaterial mit akzeptablen mechanischen Eigenschaften ist  **Polyvinylchlorid** (PVC). Es ist deshalb mit einigem Abstand das am häufigste verwendete Isolationsmaterial. Leider brennt reines PVC eigenständig mit einer stark rauchenden Flamme und setzt dabei das für die Lunge besonders giftige HCl (Chlorwasserstoff) frei.

Um diese Problematik abzumildern, enthält die Isolation vieler Kabel flammenhemmende Stoffe. Bei genügend großer von außen einwirkender Hitze setzen diese Stoffe allerdings weiterhin giftige Gase frei. Ein Ausweg sind Isolationsstoffe, die nur wenig, oder sogar gar keine Halogenide wie Chlor enthalten. Die Verlegekabel von Computernetzwerken sind häufig mit diesen Isolationsstoffen ausgestattet. Der Hintergrund ist, dass man auf diese Weise die Gefährlichkeit von Bränden in Kabelkanälen vermindern möchte. In der Spezifikation sind die Schlüsselbegriffe dafür "LSZH", "LSOH", "LSOH", oder "LSFH". All diese Abkürzungen stehen für "Low Smoke, Zero Halogen".

Bei Anschlusskabeln ist die Isolation ohne PVC zwar weniger weit verbreitet. Es gibt aber auch dort Kabel, die wenig rauchen und kein Chlor enthalten. Ein Beispiel für ein solches Kabel mit drei Adern, die 2.5 mm² Querschnitt aufweisen ist: H05Z1Z1-F-3×2.5 Dabei steht "05" für die Flexibilitätssklasse,

“Z1Z1” bedeutet, dass sowohl Aderisolierung als auch Mantel kein Chlor abgeben und wenig rauchen. Das “F” bedeutet, dass die Litzen aus vielen feinen Kupfer-Drähten aufgebaut sind.

Schirmung

Für die Übertragung analoger Signale ist eine Einkopplung von Störungen aus der Umwelt natürlich unerwünscht. Auch das Gegenteil, eine Abstrahlung an die Umgebung kann ein Problem sein. Ein ideal zylindersymmetrischer Aufbau des Kabels kann beides verhindern. Solche zylindersymmetrischen Kabel werden “Koaxialkabel” genannt, weil bei ihnen die Leitungen eine gemeinsame Symmetrie-Achse haben.

Eine perfekte Abschirmung setzt für den Schirm allerdings Supraleitung und vollständige Abdeckung voraus. Real kaufbare Kabel sind natürlich nicht supraleitend. Außerdem ist bei ihnen die Schirmung meist als dünne Folie, oder als Kupfergeflecht ausgeführt, damit das Kabel flexibel bleibt. Die Abdeckung durch das Geflecht hat notwendigerweise Lücken und eine Folie hat einen vergleichsweise hohen Widerstand. Koaxialkabel zeigen daher immer noch einen Rest Kopplung zwischen dem Signal im Kabel und der Umwelt. Das Verhältnis zwischen äußerer Störung und Signal im Kabel wird als “Dämpfungsmaß” in dB angegeben. Ein Wert von 0 dB wäre dabei eine vollständige Kopplung.

Eine weitere Eigenschaft von Koaxialkabeln ist ihre Impedanz. Das ist der Widerstand, den eine Welle beim Durchgang durch das “erlebt”. Wie jeder elektrische Widerstand hat sie die SI-Einheit Ohm. Diese Impedanz ist idealerweise rein imaginär und unabhängig von der Frequenz. Sowohl die Signalquelle als auch der Empfänger am anderen Ende einer Leitung sollten an die Impedanz des Kabels angepasst sein. Die Signalquelle muss in der Lage sein, genug Strom zu liefern. Beim Empfänger sollte die Kabelstrecke das Signal über einen realen Widerstand in Richtung Masse ableiten. Das ist notwendig, um Reflexionen zu vermeiden.

Aus einer Mischung von historischen und technischen Gründen sind zwei unterschiedliche Werte für die Impedanz von Koaxialkabeln üblich. Diese beiden Werte sind 50 Ω und 75 Ω . Wobei 75 Ω für Antennen aller Art verbreitet ist, während in der allgemeinen HF-Technik mehr mit 50 Ω gearbeitet wird.

- RG58 → Das übliche Koaxialkabel für BNC-Kabel. Impedanz ist 50 Ω .
- RG59 → Wie RG58, aber 75 Ω Impedanz
- RG174 → Eine dünne, flexible Alternative zu RG58 mit dem Nachteil von erheblich mehr Dämpfung bei hohen Frequenzen. Impedanz ist 50 Ω .
- LMR200 → ähnliche Abmessungen wie RG58, aber nur halb so viel Dämpfung durch Luftblasen im Dielektrikum. Die Seele ist massives Kupfer mit 1.1 mm Durchmesser. Die Impedanz ist 50 Ω .
- Aircell5 → Gleiche Abmessungen wie LMR200, 50 Ω , aber bessere Schirmung und weniger Dämpfung.
- “Sat-Kabel” → 75 Ω , sehr gute Schirmung (bis zu 120 dB), Dämpfung etwas stärker als Aircell5, preiswert

Der Amateurfunker Martin Kratoska unterhält eine [WWW-Seite mit Datenblättern](#) zu einer erstaunlich großen Zahl an Typen von Koaxialkabeln.

Dämpfung bei hohen Frequenzen

Bei hohen Frequenzen werden Signale im Kabel während der Weiterleitung gedämpft. Ein Teil der Leistung wird unterwegs in Wärme umgewandelt und es gibt einen echten Verlust, der um so größer ausfällt, je länger die Leitung ist. Diese Dämpfung wird in Dezibel pro Meter angegeben. Sie ist für den jeweiligen Kabeltyp charakteristisch. Bei gegebenem Isolationsmaterial hängt die Dämpfung linear mit dem Abstand zwischen Innenleiter und Schirmung zusammen. Koaxialkabel mit besonders niedriger Dämpfung sind daher auch besonders dick.

Für die im Labor üblichen Kabellängen beginnt die Dämpfung bei Frequenzen oberhalb von 100 MHz wichtig zu werden. Beispiele:

RG174:

Dämpfung 0.30 dB/m bei 100 MHz, 2.1 dB/m bei 3 GHz

RG58:

Dämpfung 0.17 dB/m bei 100 MHz, 1.18 dB/m bei 3 GHz

RG316:

Dämpfung 0.36 dB/m bei 100 MHz, 1.9 dB/m bei 3 GHz

RG316-DS:

doppelt geschirmt, Dämpfung 0.26 dB/m bei 100 MHz, 1.5 dB/m bei 3 GHz

Aircell5:

doppelt geschirmt, Dämpfung 0.10 dB/m bei 100 MHz, 0.60 dB/m bei 3 GHz

LMR195:

doppelt geschirmt, Dämpfung 0.10 dB/m bei 100 MHz, 0.60 dB/m bei 3 GHz

H2000flex:

doppelt geschirmt, Dämpfung 0.039 dB/m bei 100 MHz, 0.25 dB/m bei 3 GHz

Aircom+:

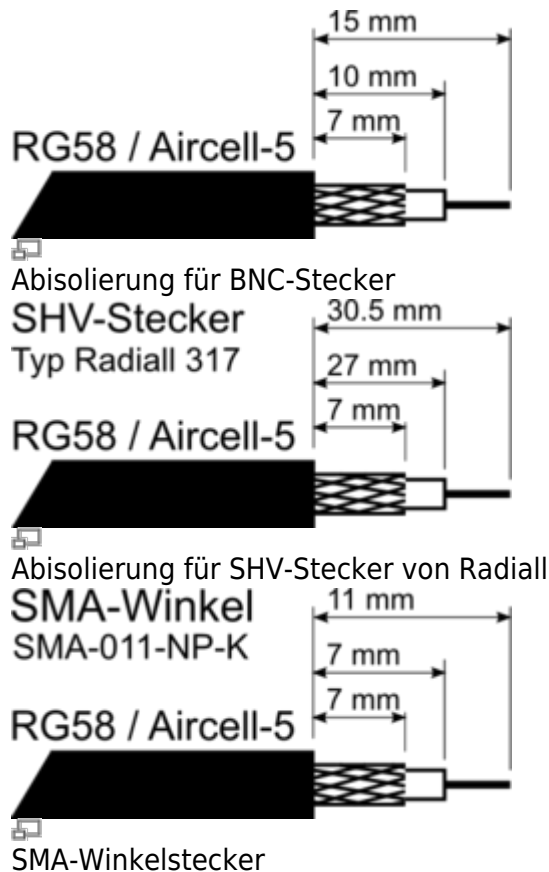
doppelt geschirmt, Dämpfung 0.04 dB/m bei 100 MHz, 0.26 dB/m bei 3 GHz

Hochspannung

SHV

Photomultiplier sind typischerweise mit SHV-Steckverbindern ausgestattet, um etwa 2.5 kV Spannung zu übertragen. Als Kabel taugt für diesen Zweck aircell5, oder das gute, alte RG58. Steckverbinder um dazu passende Kabel selber zu konfektionieren, kommen von Suhner unter der Bezeichnung [11SHV-50-3-1/133](#).

Kabelkonfektionierung



Kabel alleine sind nur die halbe Miete. Sie müssen in irgend einer Weise mit Steckverbindern verbunden werden. Es lohnt, sich die Empfehlungen der Hersteller der Steckverbinder zu befolgen. Viele Schummeltricks funktionieren erstmal, führen aber auf die Dauer zu Wackelkontakten.

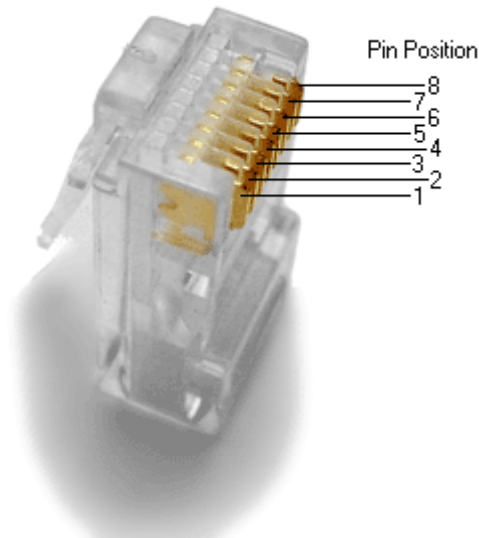
Eine Firma, bei denen man sich Kabel konfektionieren lassen kann ist [Mauritz Communication & Electronics \(MCE\)](#). Bei einem Auftrag für Atlas lag der Preis pro Kabel mit SMA-Steckverbindern bei etwa 12 EUR.

Für Koaxial-Leitungen lohnt ein Blick zu rfsupplier.com. Dieser chinesische Händler nimmt über ein Online-Formular auch Aufträge für Konfektionierungen zu mehr als moderaten Preisen an. Zur Bezahlung ist allerdings nur Paypal, oder Auslandsüberweisung im voraus möglich.

RJ45 / 8P8C

RJ45 ist der Trivial-Name für den Stecker von Netzkabeln. Die offizielle Bezeichnung ist 8P8C. Durch die millionenfache Anwendung sind die Preise für die Komponenten und das benötigte Werkzeug fast schon unglaublich niedrig. Die Verbindungen sind trotz preiswerter Technik zuverlässig und taugen bis in den dreistelligen MHz-Bereich.

- [Konfektionierungsanleitung RJ45](#)
- [Konfektionierungsanleitung speziell für Hirose-Stecker](#)



RJ45-Stecker. (Lizenz: [GPL 1.2](#))

Für die Anordnung der Adern im RJ45-Stecker gibt es den Standard [TIA-568](#). Dabei sind die Adern angeordnet in der Folge:

1. weiß-grün
2. grün
3. weiß-orange
4. blau
5. weiß-blau
6. orange
7. weiß-braun
8. braun

Bei speziellen Bedürfnissen, oder größeren Mengen kann es auch sinnvoll sein, die Steckverbinder von einem Dienstleister an das Kabel konfektionieren zu lassen. Dieser hat im Zweifelsfall die "richtigen" Werkzeuge zur Verfügung.

Kabel von der Stange

Bei besonders häufigen Verbindungsstecker bekommt man auch fertig mit Kabel bei den üblichen Elektronik-Versendern. Diese Kabel sind meist preiswerter, als man es hinbekommt, wenn man sie selber konfektioniert – selbst dann, wenn man die eigene Arbeitszeit nicht mitrechnet.

- **BNC**

- Die sehr billigen Kabel bei Reichelt (5m BNC-Kabel für 1.45 €/Stck) haben leider eine Tendenz zu zu billig. Die Schirmung ist eher symbolisch und die mechanischen Abmessungen haben so viel Toleranz, dass darunter auch schonmal der Kontakt leidet.
- Die Kabel der Firma Testec, die man unter anderem bei Schukat erhält, haben eine vernünftige Qualität bei etwa vierfachem Preis.
- Für häufiges hin und herstecken und in Farbe von Bürklin (79 F 1912 und folgende ab 10 €/Stck)

- **SMA:** Bei Bürklin mit verlustarmem RG58-Kabel zum angemessenen Preis (79 F 1380, etwa 10 €/Stck). Mit unterschiedlichen Kabeln bei Händlern aus China, die über ebay verkaufen.
- **SubD-9:** Von Reichelt. Dabei gibt es Kabel, die nur die Verbindungen belegen, die eine serielle Schnittstelle benutzt und solche, bei denen alle neun Leitungen getrennt verbunden sind.
- **HD-15,** diese Kabel werden millionenfach für den Gebrauch als Monitorkabel hergestellt. Bei Reichelt gibt es wie bei SubD-) sowohl Kabel, die nur manche Verbindungen legen und solche, die alle Verbindungen bis auf Pin8, enthalten.
- **SCSI:** Wie fast alle Sorten Computerkabel besonders preiswert bei Reichelt.
- **VHDCI :** Diesen Steckverbinder braucht man für National-Instruments-Geräte. Der Rest der Welt schließt damit Festplatten an RAID-Controller an. Bei Reichelt kostet so ein Kabel in 0.9 m Länge 18 €, wobei der SCSI-Stecker an der anderen Seite leider anders herum als bei National Instruments ist (male statt female). Eine weitere Länge, die vergleichsweise leicht erhältlich ist, ist 1.8 m. Das kostet dann 32 €.
- **XLR:** Bei Händlern für Bühnentechnik in großer Auswahl und preiswerter als bei den Elektronikversendern (Zum Beispiel <http://thomann.de>). Die etwas andere Kultur in der Musikbranche bekommt man gratis dazu.
- **Bananenkabel:** Bei diesen Kabeln belohnen die etwas teurere Versionen mit angenehmerer Handhabung durch ein weniger störrisches Kabel (zum Beispiel Bürklin 86 F 314, 5.00 €/Stck) .
- **Kaltgerätekabel:** Ziemlich preiswert von Reichelt (zum Beispiel NKSK 200 SW, 1.8 m, 1.45 €/Stck). Schon aus Sicherheitsgründen sollte man bei Netzkabeln von Selbst-Konfektionierung die Finger lassen.
- **Patchkabel, auch Ethernetkabel:** Die Kabel mit RJ45-Steckern, die zur Vernetzung von Computern verwendet werden, eignen sich durchaus auch zur Übertragung anderer Signale bis in den dreistelligen MHz-Bereich. Auch für Stromversorgung mit niedrigen Spannungen bei mäßiger Leistung sind sie eine beliebte Wahl. Ihr Vorteil liegt im konkurrenzlos günstigem Preis für Steckverbinder und fertig konfektionierte, doppelt geschirmte Kabel. Für vier voll differenzielle Leitungen bezahlt man etwa 0.20 € pro Meter. Bei der Anwendung für hohe Frequenzen sollte man bedenken, dass die Kabel eine Impedanz von 100 Ω statt den sonst üblichen 50 Ω haben.

Patchkabel-Farbgebung

Man bekommt Patchkabel problemlos in allen Farben des Regenbogens. Das nutzen wir aus, um die Länge zu "kodieren". Das erleichtert die Suche in der Kabelkiste. Die ElekronIQ hat sich willkürlich für diese Zuordnung entschieden:

Länge	Farbe	
0.15 m		grau
0.25 m		schwarz
0.5 m		rosa
1 m		gelb
1.5 m		grün
2 m		violett
3 m		blau
5 m		orange
7.5 m		transparent

Länge	Farbe	
10 m	gelb	gelb
15 m	schwarz	schwarz
20 m	weiß	weiß
30 m	rot	rot

Weblinks

- [Kabelwissen.de](https://www.kabelwissen.de/): Eine recht vollständige Seite zu Kabeltypen, die für Radiofrequenzen üblich sind.
- [ok1rr.com](https://www.ok1rr.com/): WWW-Seite der Amateurfunker aus Cornwall, Großbritannien mit einem Archiv von Datenblättern zu Kabeltypen
- www.helukabel.de: Technische Spezifikation von Kabeln. Unten auf der Seite finden sich Angaben zur Strombelastbarkeit.
- www.steckerprofi.de: Viele Steckerbelegungen
- www.fug-elektronik.de: Anleitung zur Montage von Hochspannungssteckern

From:

<https://elektroniq.iqo.uni-hannover.de/> - **ElektronIQ**

Permanent link:

<https://elektroniq.iqo.uni-hannover.de/doku.php?id=bauteil:kabel&rev=1566573916>

Last update: **2019/08/23 15:25**

