



"Aha, heute krieje mer de Koaxkabel!.

Also, wat is en Koaxkabel? Da stelle mehr uns janz dumm. Und da sage mer so: En Koaxkabel, dat is ene lange schwarze Schlauch, der hat hinten un vorn e Loch. Dat eine Loch, dat is de Eingang. Und dat andere Loch, dat krieje mer später."

G. F. Mandel, DL4ZAO
Zusammenstellung für Lehrzwecke

Koaxkabel

Eigenschaften, Kennwerte und warum gerade 50 Ω ?

Schwarzwaldtreffen 2019
DL4ZAO - Günter Fred Mandel

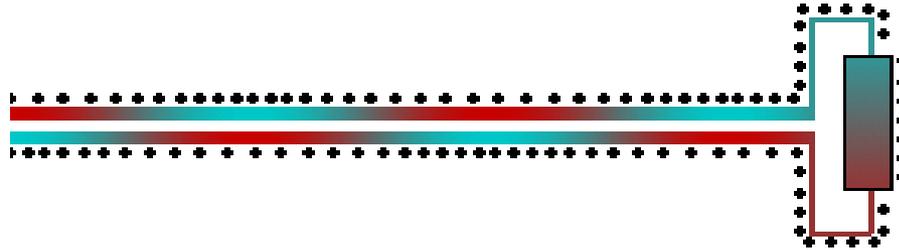
- **Paralleldrahtleitung – Koaxkabel**
- **Wellenwiderstand, Dämpfung, Verkürzungsfaktor**
- **Historische Entwicklung**
- **Gebräuchliche Kabel- und Steckverbinder**
- **Anhänge mit Daten von Kabeln**

Die Aufgabe einer HF-Leitung

Eine Hochfrequenz-Leitung soll Energie mit wenig Verlusten von einer Quelle zum Verbraucher transportieren:

- Vom Sender produzierte Energie zur Antenne leiten
- Von der Antenne empfangene Energie zum Empfänger leiten
- Selbst keine Energie abstrahlen oder empfangen

Energietransport auf einer Leitung als Welle



Der Energietransport auf einer Leitung erfolgt durch eine Transversal-Elektro-Magnetische Welle (TEM) . Die Energie wird in einem elektrischen und magnetischen Feld entlang der Leitung geführt.



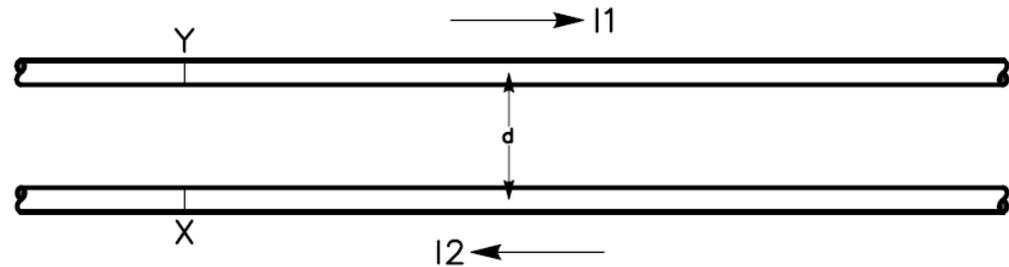
Das Verhalten von Wechselströmen auf Übertragungs-Leitungen wurden von dem brit. Mathematiker Oliver Heaviside 1880 auf der Grundlage der Maxwell Gleichungen hergeleitet. Seine Analyse von Problemen auf langen Telegrafenteleleitungen führte zur Entwicklung der heute verwendeten „Telegrafengleichungen“.

Heavysides Leitungsgleichung lassen sich die Zusammenhänge zwischen Strom und Spannungen an jedem Punkt einer Leitung in Abhängigkeit von der Zeit berechnen. Sie beschreiben damit auch die Transformationseigenschaften einer Hochfrequenz Leitung.

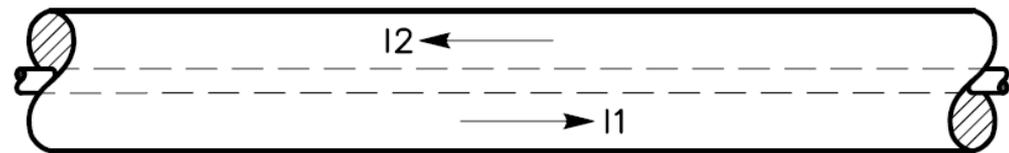
Zweidraht und koaxiale Leitung

Im Amateurfunk begegnen uns hauptsächlich zwei grundsätzliche Formen der Übertragungsleitung:

Symmetrische
Zweidrahtleitung

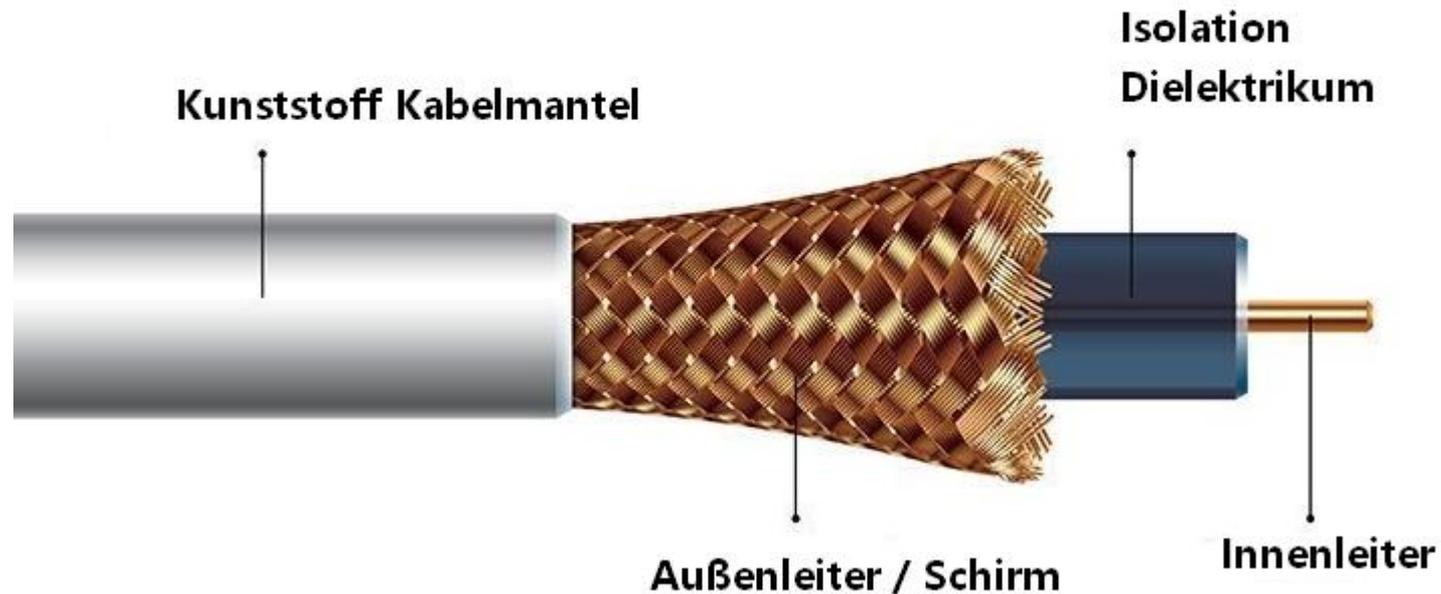


Koaxialleitung



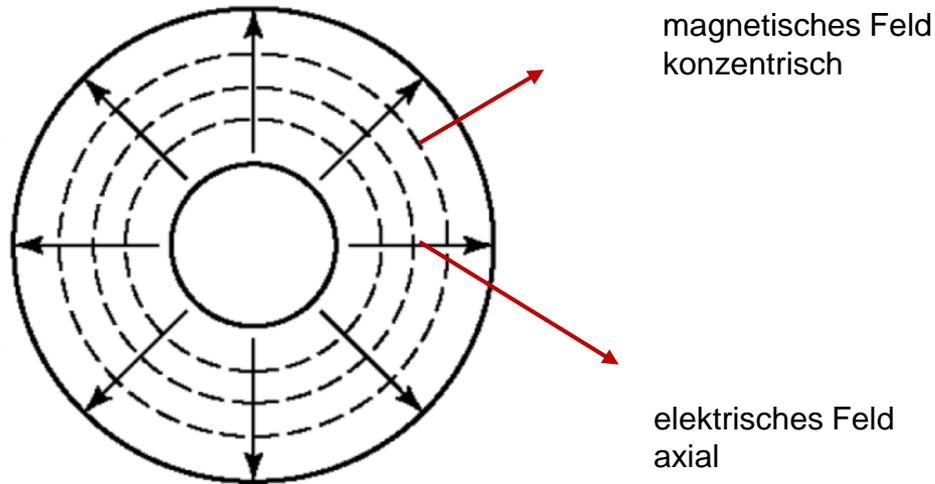
Die Beschreibung ihrer grundsätzlichen elektrischen Übertragungseigenschaften sind nahezu gleich.

Koax Kabel



Die Koaxialleitung ist neben der symmetrischen Zweidrahtleitung die heute am häufigsten verwendete Hochfrequenzleitung. Koaxkabel weist bei geeignetem Aufbau mäßige Verluste auf.

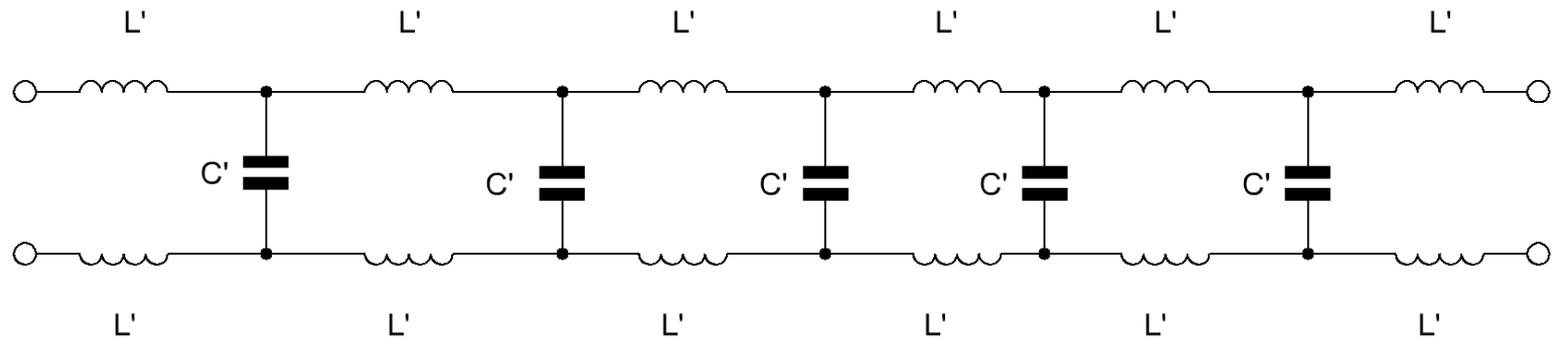
Koax Kabel



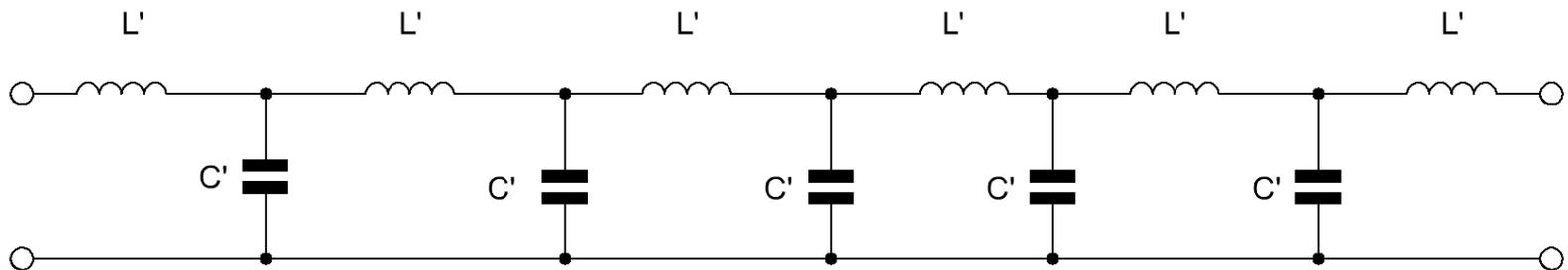
Die Ströme auf Innen- und Außenleiter sind gleich groß und entgegengesetzt gerichtet. Das Feld ist auf das Innere des Leitersystems beschränkt. Der Außenleiter hat eine Doppelfunktion: Signalpfad im Inneren und Abschirmung von äußeren Feldern.

Die verlustlose Leitung – HF Ersatzbild

Eine Leitung in ihrer elektrischen Entsprechung besteht aus der Reihenschaltung vieler sehr kleiner Induktivitäten und der Parallelschaltung vieler sehr kleiner Kapazitäten.

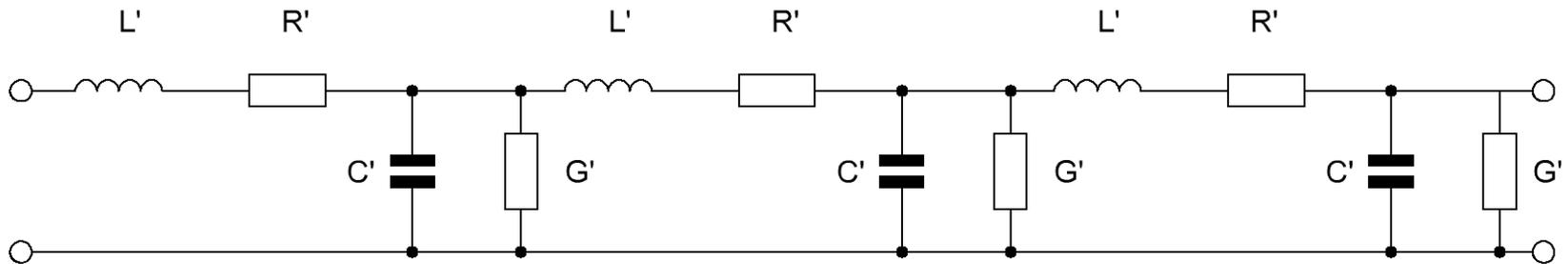


vereinfacht



Die verlustbehaftete Leitung – Dämpfung

In der Praxis muss man die Verluste durch den Leitungswiderstand R' und die Verluste im Isoliermaterial (Dielektrikum) G' berücksichtigen. Man erhält dann das Leitungersatzbild einer realen Leitung mit Verlusten.

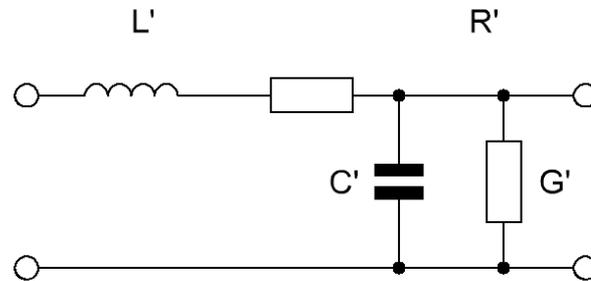


Die Verluste auf einer Leitung werden als Leitungsdämpfung/Länge in dB pro Meter oder pro 100m ausgedrückt. Die Leitungsdämpfung nimmt wegen des Skin-Effekts mit wachsender Frequenz zu.

$$\text{Dämpfung}_{[\text{dB}]} = 10 \log(P_{\text{Aus}} / P_{\text{ein}})$$

Kapazitätsbelag und Induktivitätsbelag

Man nennt die Kapazität pro Meter einer Leitung den Kapazitätsbelag C' , die Induktivität pro Meter den Induktivitätsbelag L' und den Längswiderstand pro Meter R' den Widerstandsbelag.



Aus dem Kapazitätsbelag und dem Induktivitätsbelag kann man einen wichtigen Kennwert einer Leitung berechnen, den **Wellenwiderstand Z_L** . (eng.: Characteristic Impedance)

$$Z_L = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$$

Elektrische Kennwerte eines Koaxialkabels

- Wellenwiderstand (charakteristische Impedanz)
- Verkürzungsfaktor
- Dämpfung

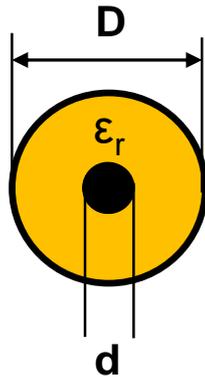
Wellenwiderstand (characteristic impedance)

- Der Wellenwiderstand Z_W einer Leitung in Ω ist eine charakteristische Kenngröße, er ergibt sich aus dem Induktivitätsbelag und dem Kapazitätsbelag einer Leitung.
- Über den Wellenwiderstand ist das Verhältnis vom Strom zur Spannung an jedem Punkt auf einer Leitung verknüpft. ($Z_W = U / I$)
- Der Wellenwiderstand ist unabhängig von der Frequenz und von der Länge der Leitung.

Um HF-Energie optimal zu übertragen, muss die Leitung an Ein- und Ausgang mit ihrem Wellenwiderstand abgeschlossen sein. Andernfalls entstehen Reflexionen, die umso größer sind, je größer die Fehlanpassung ist. Auf der Leitung bilden sich stehende Wellen, die zusätzliche Verluste verursachen.

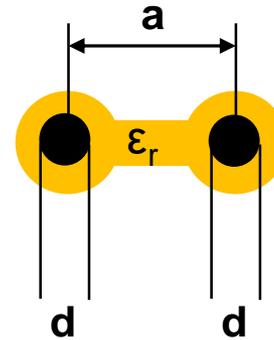
Geometrie und ϵ_r bestimmen den Wellenwiderstand

Kapazitätsbelag und Induktivitätsbelag und damit der Wellenwiderstand einer Leitung sind abhängig von der Anordnung und vom Abstand der Leiter zueinander und von der Dielektrizitätszahl (ϵ_r) des Isoliermaterials.



Koaxialleitung

$$Z_w = \frac{60 \Omega}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln\left(\frac{D}{d}\right)$$



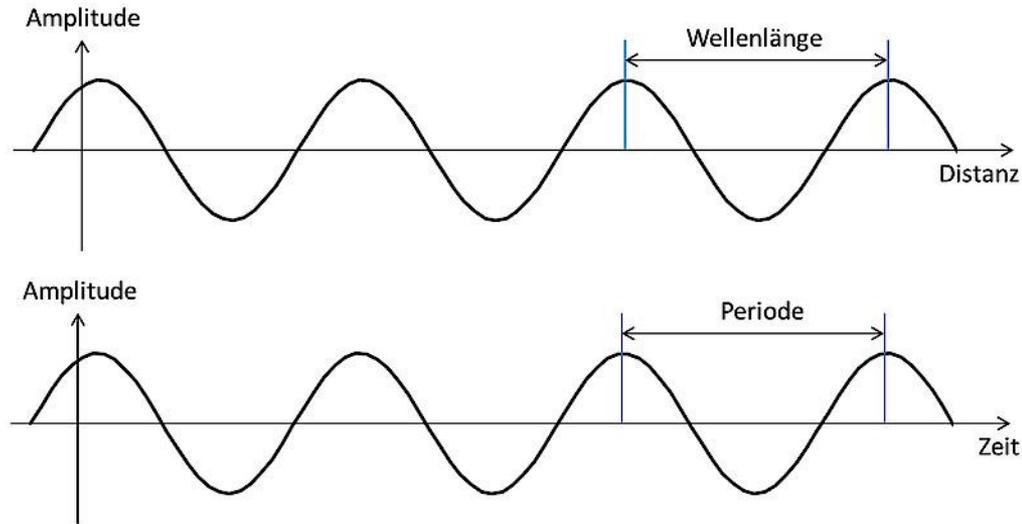
Paralleldrahtleitung

$$Z_w = \frac{120 \Omega}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln\left(\frac{2a}{d}\right)$$



Die **Permittivität** ϵ auch dielektrische Leitfähigkeit genannt, gibt die Durchlässigkeit eines Isoliermaterials (Dielektrikum) für elektrische Felder an. Die **relative Permittivität** ϵ_r , auch **Dielektrizitätszahl** eines Materials genannt, ist das Verhältnis seiner Permittivität zu der des Vakuums.

Wellenlänge



Elektromagnetische Wellen haben eine sehr hohe, aber dennoch begrenzte Ausbreitungsgeschwindigkeit. Im Vakuum breiten sich Wellen mit Lichtgeschwindigkeit [c] aus, das sind 300.000 000 m/s. Für eine bestimmte Frequenz kann die zugehörige Wellenlänge [λ] in errechnet werden:

$$\lambda = c / f$$

Laufzeit und Verkürzungsfaktor einer Leitung

Die elektromagnetische Welle bewegt sich in einer Leitung langsamer als im freien Raum. Das elektromagnetische Feld der Welle wird vom Isoliermaterial, vom Dielektrikum der Leitung verlangsamt.

Das Verhältnis der Geschwindigkeit auf der Leitung zur Lichtgeschwindigkeit (v_L/c) wird als Verkürzungsfaktor (**eng. Velocity Factor, VF**) bezeichnet. Abhängig vom Dielektrikum beträgt der Verkürzungsfaktor etwa 0,6 ... 0,98.

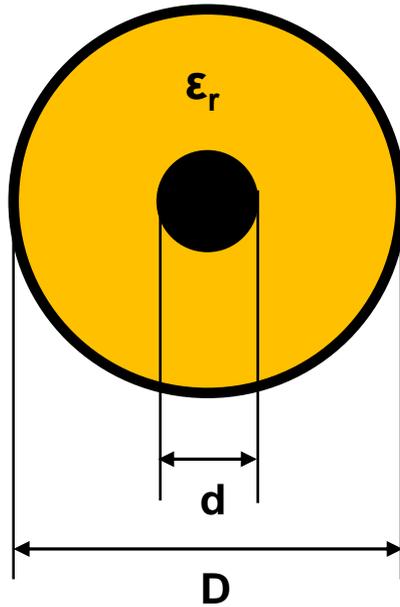
$$VF = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{v_L}{c}$$

ϵ_r = Dielektrizitätszahl des Isoliermaterials
 c = Lichtgeschwindigkeit 300.000km/s
 v_L = Ausbreitungsgeschwindigkeit auf der Leitung

Da die Ausbreitungsgeschwindigkeit auf der Leitung geringer ist als im Freiraum, ist deshalb auch die Wellenlänge um den Verkürzungsfaktor geringer.

- Die „elektrische Länge“ einer Leitung entspricht deren tatsächlicher Länge multipliziert mit dem Verkürzungsfaktor VF.

Einfluss des Isolationsmaterials auf VF und Z_W



| Isoliermaterial | Verkürzungsfaktor VF | ϵ_r |
|-------------------|----------------------|--------------|
| Luft/Vakuum | 1 | 1 |
| PE (Polyethylen) | 0,66 | 2,25 |
| PE Schaum | 0,85 | 1,4 |
| PE Stege / Wendel | 0,89 – 0,99 | 1.25 -1,02 |
| PTFE (Teflon) | 0,7 | 2 |

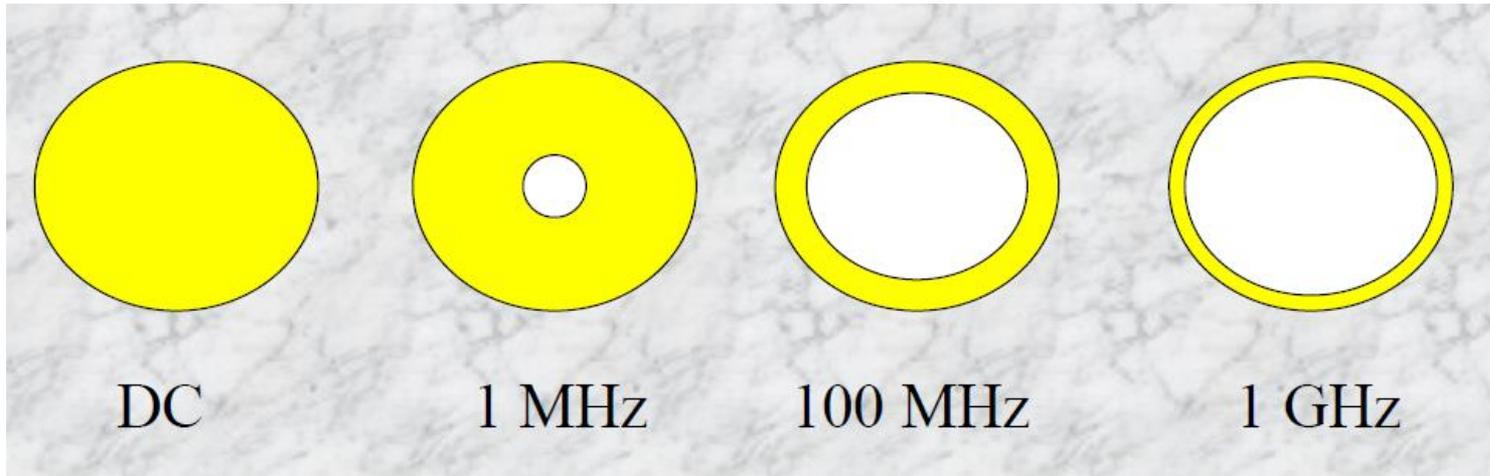
$$Z_W = \frac{Z_0}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} \ln\left(\frac{D}{d}\right) \approx \frac{60 \Omega}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln\left(\frac{D}{d}\right) = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$$

$$VF = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Z_0 = Wellenwiderstand des Vakuums 376,73 Ω

ϵ_r = relative Permittivität (Dielektrizitätszahl) des Isoliermaterials

Skin Effekt



Strom Eindringtiefe: 66 μ m

6,6 μ m

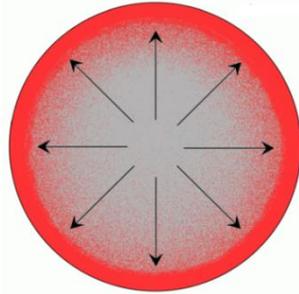
2,1 μ m

Der Skin-Effekt bewirkt, dass der Strom mit wachsender Frequenz zur Leiteroberfläche verdrängt wird. Der Strom ist auf eine dünne Schicht an den Oberflächen der Leiter beschränkt und nimmt exponentiell mit dem Abstand von der Oberfläche ab. Der effektiv an der Stromleitung beteiligte Querschnitt sinkt, in Folge steigt der Leitungs-Widerstand mit zunehmender Frequenz an.

Dämpfung eines Koaxkabels

Verlustquellen

Leitungswiderstand



Skin Effekt

dielektrische Verluste



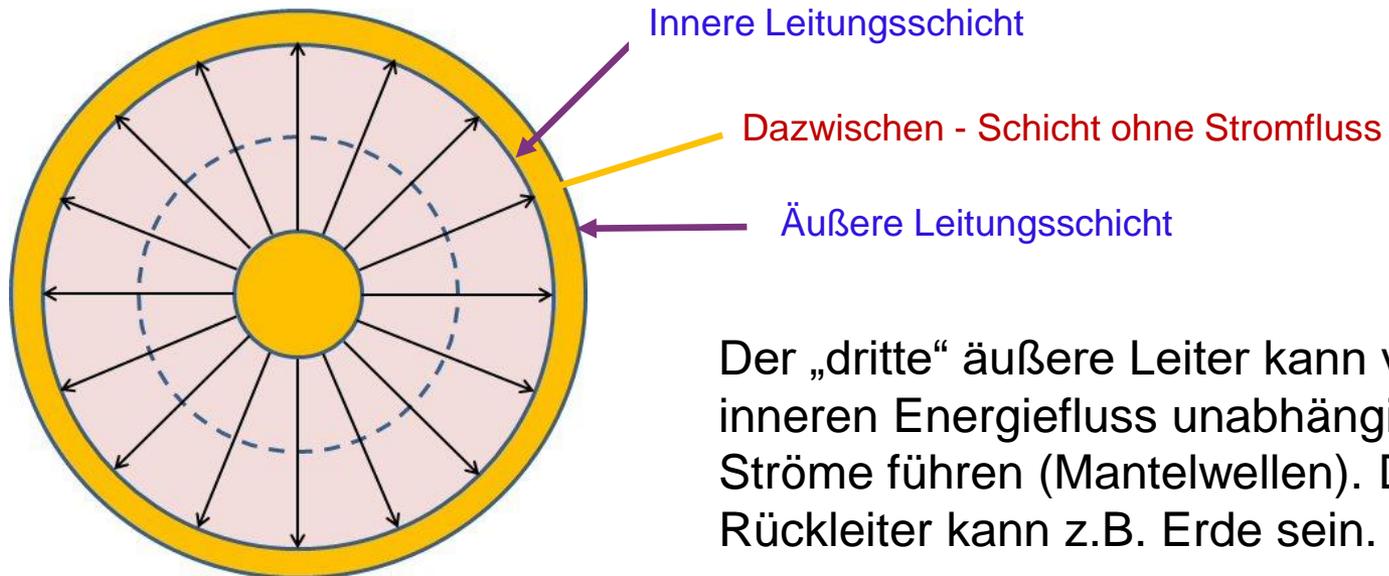
Auch im Isoliermaterial (Dielektrikum), einer Leitung treten Verluste auf. Man kann sich den Verlustmechanismus als eine gegenseitige Reibung der durch das Wechselfeld bewegten Moleküle des Materials vorstellen.

- Die Dämpfung eines Koaxialkabels werden durch den Widerstandsbelag und die Verluste im Isolator-Werkstoff verursacht. Insbesondere wegen des Skin Effekts nimmt die Dämpfung mit zunehmender Frequenz zu.

Der „dritte“ Leiter durch den Skin Effekt



Wegen des Skin-Effekts wirkt die Schirm Außenschicht für Hochfrequenz wie eine separate Eindraht-Leitung. Sie hat einen unterschiedlichen (geringeren) Verkürzungsfaktor als die koaxiale Leitung im Inneren.



Der „dritte“ äußere Leiter kann vom inneren Energiefluss unabhängige Ströme führen (Mantelwellen). Der Rückleiter kann z.B. Erde sein.

Gegen unerwünschte Ströme auf dem Außenseite des Schirms hilft eine Gleichtaktdrossel als Mantelwellensperre (Strom-Balun). Sie dämpft nur die Ströme auf dem dritten Leiter. Der Energiefluss im Inneren des Koax wird von einer Mantelwellensperre nicht beeinflusst.

Wichtig: der minimale Biegeradius

Der im Datenblatt genannte minimale Biegeradius eines Koaxkabels darf bei der Verlegung nicht unterschritten werden. An der Knickstelle wird sonst der Abstand zwischen Innen- und Außenleiter verändert und der Wellenwiderstand weicht an dieser Stelle vom Sollwert ab. Es entsteht eine Stossstelle; die Folge sind Reflexionen.

Gleiches gilt für zu fest angezogene Kabelschellen, die das Kabel quetschen.

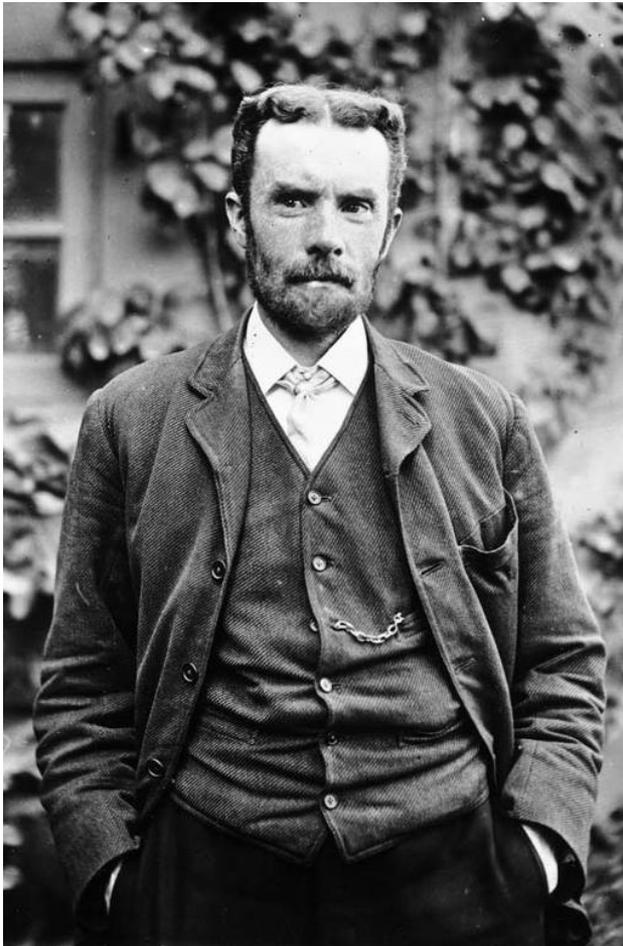


Daumenregel: minimaler Biegeradius ist etwa 6 x Kabeldurchmesser

Historie



mit diesem Mann fing Alles an



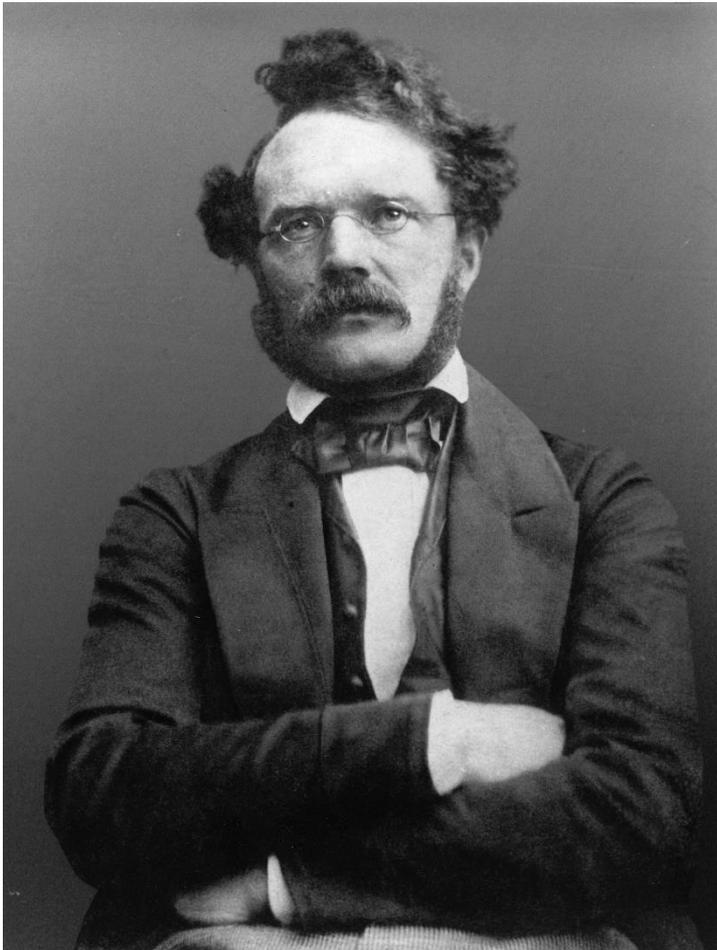
Oliver Heaviside

18. Mai 1850 in London; † 3. Februar 1925

Der geniale Autodidakt trug als Mathematiker und Physiker wesentlich zur Theorie des Elektromagnetismus bei. Er vereinfachte die Maxwellgleichungen auf die uns heute bekannte Form. Daraus entwickelte er die Leitungsgleichung, mit der sich die Ausbreitung von Strom und Spannung auf einer HF-Leitung exakt berechnen lassen.

1880 erhielt Heaviside in England ein Patent auf die Idee eines Koaxialkabels.

Auch in Deutschland wurde das Koaxkabel patentiert



Werner von Siemens

13. Dezember 1816 in Lenthe, † 6. Dezember 1892

ließ sich 1884 seine Idee von einem induktionsfreien Kabel durch das Reichspatent Nr. 28978 schützen.

Die Erfindung bestand im Wesentlichen, dass eine Ader eines Kabels mit einem Dielektrikum und einer metallischen Ummantelung (Abschirmung) als Rückleiter zu einer induktionsfreien Doppelader führt.

Sie gelten als die praktischen Erfinder des Koaxkabels

Lloyd Espenschied

27. April 1889 in St. Louis; † 1. Juni 1986

Hermann Affel

4. August 1893 in New York; † 13. Oktober 1972



Die beiden Telefon-Ingenieure bei den AT&T Bell Laboratories meldeten 1929 die Idee eines „*Concentric Conducting System*“ zum Patent an.

Die Anfänge - Weitverkehrs-Tefonie als Technologietreiber

Die Bandbreite Telefon Fernleitungen, besonders der Transatlantik-Kabel war sehr gering, 1 bis 2 kHz.

Der Bedarf von Breitband-Fernleitungen war die Hauptantriebsfeder für die Erfindung des Koaxkabels.



- 1929 wurde für einen Feldtest des von Espenschied/Affel entwickelten Koaxkabels wurde bei AT&T in Phoenixville eine 900m langes Kabel erprobt
- Der erste praktische Einsatz des Koaxkabels war 1936 - eine Breitband-Verbindung zwischen New-York und Philadelphia. Je ein separates Kabel je Richtung übertrug Telefonie, Telegrafie und Fax. Alle 10km war eine Verstärkerstation notwendig.
- Im gleichen Jahr wurden in Deutschland anlässlich der Olympiade zweihundert Fernsprech- und ein Fernsehsignal zwischen Berlin und Leipzig über ein eigens dafür von der Reichspost verlegtes Koaxkabel übertragen.
- Im ARRL-Handbuch von 1937 taucht eine konzentrische Leitung zur Speisung eines gestreckten Dipols erstmals in der Amateurfunk-Literatur auf.

Die ersten Koaxkabel – noch etwas anders als die heute gebräuchlichen Typen

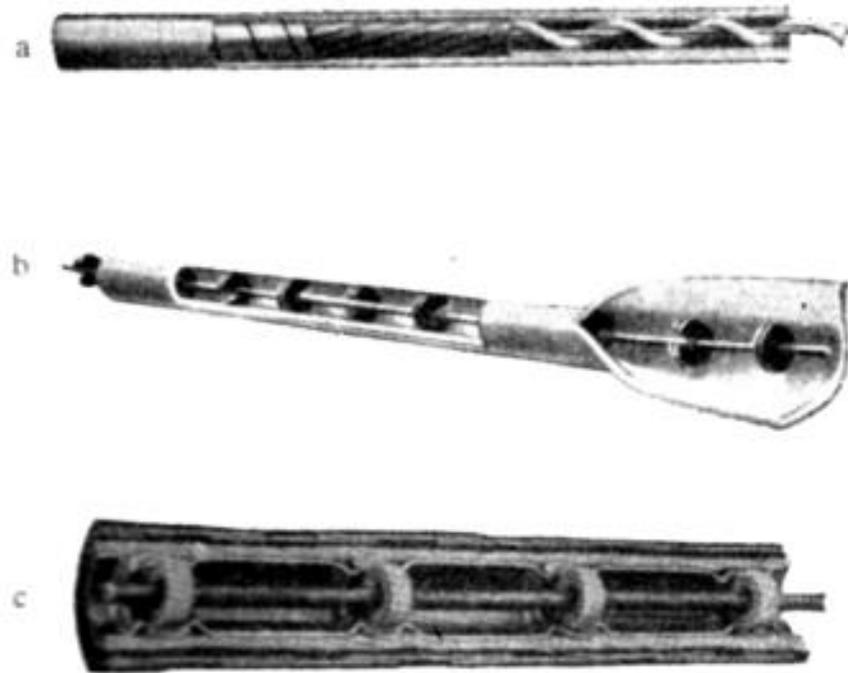


Abb. 3.
Koaxiale Kabelformen.

Meilensteine

1880 entwickelte Oliver Heaviside die Leitungsgleichungen und beschrieb dabei auch erstmalig das koaxiale Leitungsprinzip

1884 registrierten Siemens & Halske ein Patent auf eine Koaxiale Leitung.

1929 entwickeln der deutschstämmige Lloyd Espenschied und Herman Affel bei ATT&T Bell Labs das erste moderne Koaxialkabel. 1934 wird das Patent erteilt.

1936 bei der 11. Olympiade werden erstmalig Bildsignale über ein Koaxkabel zwischen Berlin und Leipzig über 150 Km übertragen. 1956 geht das erste transatlantische Koaxkabel zwischen USA und Europa in Betrieb.

1940 wird PE als Isolierkunststoff verfügbar, ab 1953 großtechnisch günstig hergestellt

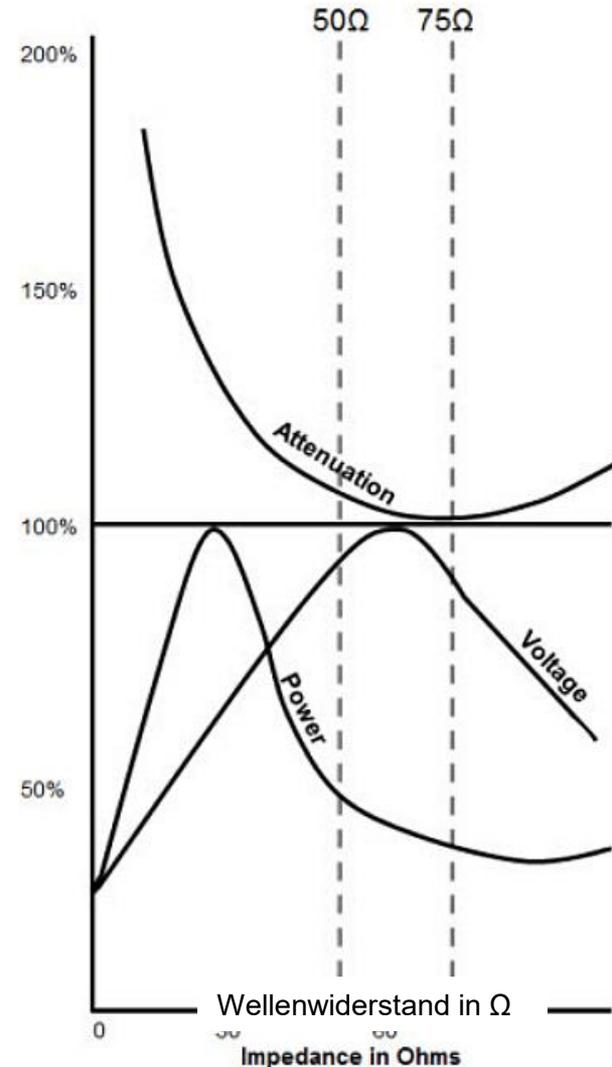
Vom US-Militär werden in Folge des 2. Weltkrieges die RG (Radio Guide) Koax-Kabel Spezifikationen erstellt. Industriell gefertigte Koaxkabel mit 50 Ω Wellenwiderstand finden in den fünfziger Jahren in den USA neben 75 Ω wachsende Verbreitung.

Der übliche Wellenwiderstand bei Koaxkabeln lag in Deutschland lange Zeit bei 60 Ω . Dann wurde nach und nach neben 75 Ω der 50 Ω Standard aus USA übernommen.

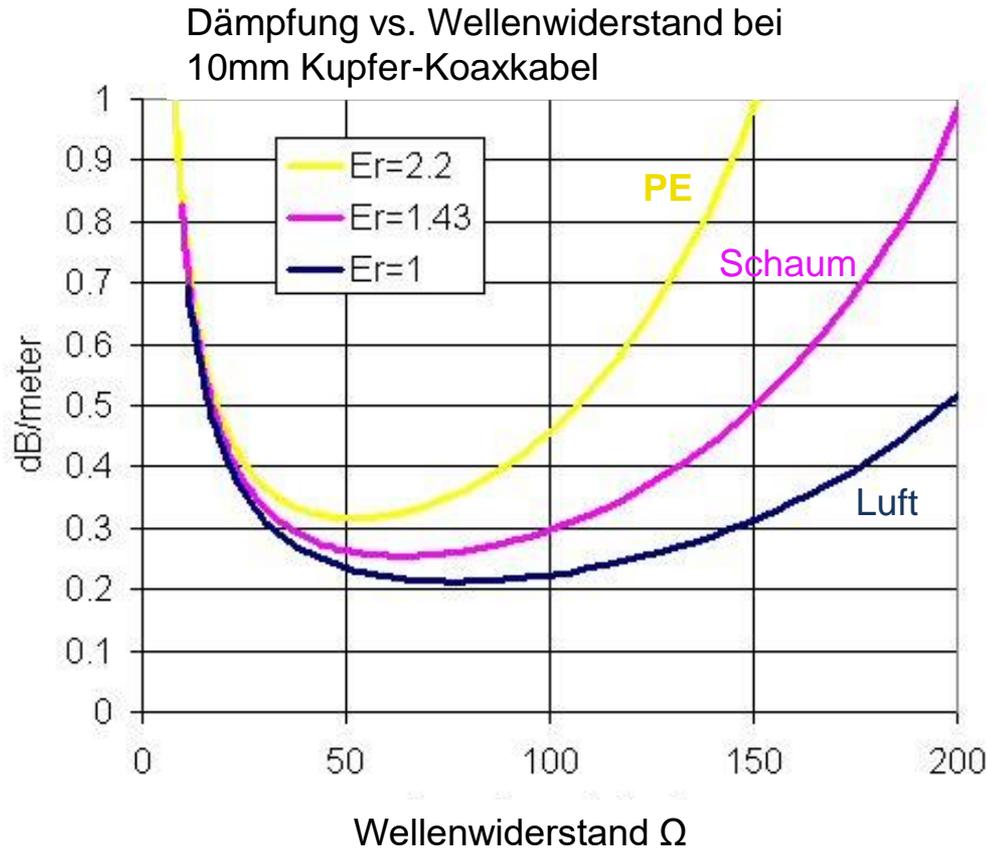
50Ω ein Kompromiss?

Als am besten geeignete Koaxkabel - Impedanzen für hohe Leistung, hohe Spannung und niedrigste Verluste wurden 1929 von Espenscheid und Affel Koaxkabel mit Wellenwiderständen von 30, 60 und 77Ω ermittelt. Die Kurven im Diagramm gelten für Kabel mit Luft-Isolation.

Nach Meinke-Gundlach gibt es zwei Kriterien für den optimalen Wellenwiderstand: die maximale elektrische Feldstärke, wichtig für Großsender, mit einem Optimum bei 30 Ohm. Zum zweiten die Kabelverluste, sie sind bei Z_W von 77 Ohm am kleinsten. Für die Empfangstechnik (TV/SAT) ist also 75 Ohm besser.



Z_w für minimale Dämpfung



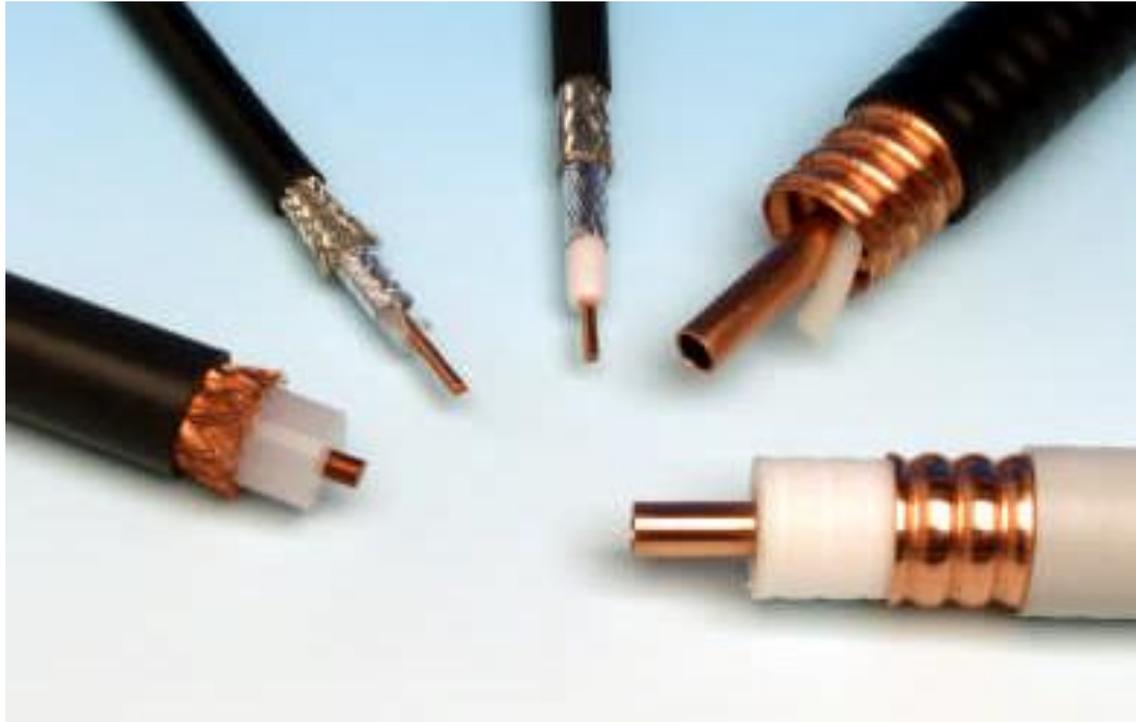
Je nach Dielektrikum (ϵ_r) liegt der Punkt minimaler Dämpfung zwischen 52 und 77 Ohm.

50Ω Fazit

50 Ω haben sich offenbar aus pragmatischen und wirtschaftlichen Erwägungen und weniger aus gezielter Planung heraus als de-facto Standard gebildet.

- Durch die Verwendung von handelsüblichen Metallrohren in den frühen Jahren. Die in USA handelsüblichen Kupfer-Rohre von $\frac{3}{4}$ “ und 2“, ergaben als Koax-Leitung eine Impedanz von ca. 53 Ω.
- 75 Ω Koaxleitung mit Luftisolation ergibt bei PE Isolation bei gleichen Abmessungen ca. 51 Ω
- 50 Ω als Kompromiss zwischen minimalen Verlusten und bester Leistungsübertragung
- Für SAT/TV und Video sind 75 Ω noch heute weltweit verbreiteter Standard.

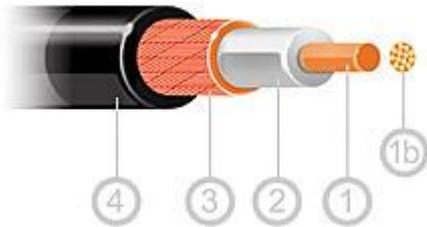
Koax Kabeltypen



Die häufig verwendeten „RG“ Bezeichnungen für Koaxkabel sind ein Relikt aus einer alten US-Militärnorm. Beispiel: RG-58/U bedeutet: Radio Guide - Number / General utility. RG-Nummern werden als Typenbezeichnung weiter genutzt, sind aber nicht mehr genormter Qualitätsstandard

Koaxkabel Aufbauvarianten

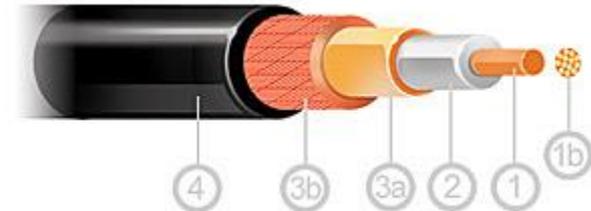
Bilder:www.kabelwissen.de



Einfach geschirmt

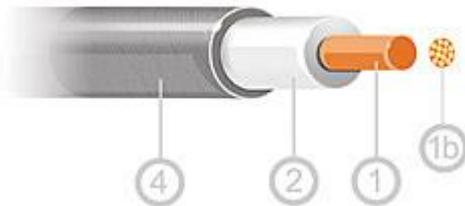
50Ω: RG58, RG8, RG174, RG178, RG213, RG316

75Ω: RG11, RG59, RG179, RG188, RG196



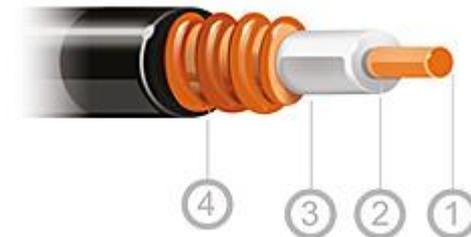
Doppelt geschirmt

RG223, RG225, RG393, Aircom plus,
Aircell, Ecoflex, H155, H2007, H2010



Semi-Rigid (handformbar)

RF402, RG405



Rigid, Wellmantelkabel

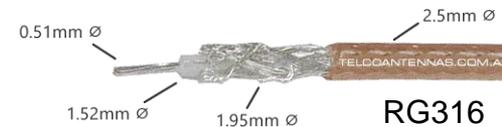
Cellflex, Flexwell, MIL-C-28830

- 1 = Innenleiter - Ausführung als massiver Draht, als Litze (1b) oder Rohr. Meist Kupfer, ggf mit Auflage
- 2 = Dielektrikum / Isolation aus Voll-PE, PE-Schaum (80%Luft), Luft-PE-Stege, PTFE
- 3a = Außenleiter, Schirmgeflecht oder Folie, meist Kupfer, Kupfer verzinkt, versilbert
- 3b = Außenleiter, Schirmgeflecht, Folie oder Wellmantel, meist Kupfer, Kupfer verzinkt, versilbert
- 4 = Außenmantel aus PE, PVC, Teflon-Glasseidegeflecht, FEP

Grundlegende Kennwerte von 50Ω Koaxkabeln

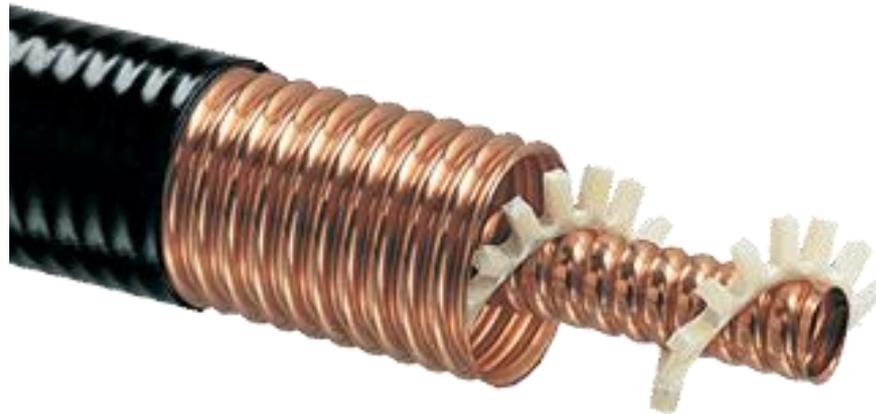
| Bezeichnung | Außendurchmesser (mm) | min. Biegeradius (mm) | Leitungswellenwiderstand | Dämpfung bei 10 MHz (dB/100 m) | Dämpfung bei 145 MHz (dB/100 m) | Dämpfung bei 432 MHz (dB/100 m) | Dämpfung bei 1,3 GHz (dB/100 m) | Verkürzungsfaktor | Schirmmaß * |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------|
| Aircell 7 | 7,30 | 25 | 50±2 Ω | 2,9 | 7,9 | 14,1 | 26,1 | 0,83 | 83 dB |
| Aircom Plus | 10,30 | 55 | 50±2 Ω | 1,2 | 4,5 | 8,2 | 15,2 | 0,85 | 85 dB |
| Ecoflex 10 | 10,20 | 44 | 50±2 Ω | 1,2 | 4,8 | 8,9 | 16,5 | 0,86 | >90 dB |
| Ecoflex 15 | 14,60 | 150 | 50±2 Ω | 0,86 | 3,4 | 6,1 | 11,4 | 0,86 | >90 dB |
| Ecoflex 15 Plus | 14,60 | 140 | 50±2 Ω | 0,83 | 3,2 | 5,8 | 10,5 | 0,86 | >90 dB |
| H2000 Flex | 10,30 | 75 | 50±2 Ω | 1,2 | 4,3 | 9,1 | 18,3 | 0,83 | >85 dB |
| RG174A/U | 2,60 | 15 | 50±2 Ω | 9,5 | 38,4 | 68,5 | >104,2 | 0,66 | |
| RG213/U | 10,30 | 50 | 50±2 Ω | 1,8 | 7,9 | 15,8 | 30,0 | 0,66 | 60 dB |
| RG58C/U | 4,95 | 25 | 50±2 Ω | 4,5 | 17,8 | 33,2 | 64,5 | 0,66 | |
| RG223 | 5,38 | 25 | 50±2 Ω | 4 | | | | 0,66 | >80dB |
| RG316 | 2,5 | 15 | 50±2 Ω | 8,2 | 8 | | 25 | 0,7 | |

* Schirmmaß ist abhängig von der Frequenz



[Link: Datenblatt RG58, RG213](#)

Wellmantel Kabel aus der Sendertechnik



Steckverbinder haben ein Ventil, mit dem getrocknete Druckluft ins Kabelinnere geleitet werden kann, um Überschläge durch Feuchte zu verhindern.

250KW Koax Leitungen Radio Liberty Lampertheim



Koaxiale HF-Steckverbinder

Zur Verbindung von Koaxialkabeln benutzt man koaxiale Steckverbinder. Ihre Maße sind präzise auf die Eigenschaften der Koaxkabel ausgerichtet, für die sie bestimmt sind.

Damit keine Unstetigkeiten im Wellenwiderstand entstehen, erfordert die Konstruktion, die Leiterdurchmesser beim Stecken und den Übergang auf das Kabel exakt anzupassen.

Sichere Kontaktgabe und Stabilität werden nur durch Verwendung von hochwertigen Metallen und Metallaufgaben erreicht. Als Isoliermaterial wird meist PTFE (Teflon) verwendet. Gute HF-Steckerbinder sind mechanische Präzisionsbauteile.

Die Montage eines Steckverbinders auf dem Kabel erfordert Erfahrung und Know-How. Sie kann durch Löten oder Crimpen erfolgen. Für gute Ergebnisse sind die Montageanleitung des Herstellers und die Montagemaße und Drehmomente genau einzuhalten. Bei hohen Frequenzen zählt jedes Detail.

UHF-Steckverbinder

UHF-Steckverbinder, oft auch fälschlich PL-Stecker (von PL = plug, oder bei Buchse SO = socket) genannt, findet man überwiegend in weniger anspruchsvollen Anwendungen im Kurzwellenbereich.

Der Stecker wurde 1930 von Amphenol als geschirmte Variante des 4-mm-Bananensteckers entwickelt.

Frequenzen oberhalb von 30MHz galten zu dieser Zeit als UHF. Darum wird er heute scherzhaft aufgrund der Abkürzung UHF auch „Ungeeignet für Hoch-Frequenz“ genannt. Minderwertige Varianten halten oft die Wellenimpedanz von 50 Ω nicht ein. Ansonsten ist der UHF-Stecker (korrekte Bezeichnung *PL259*) eine einfache, robuste Steckerkonstruktion, die sich gut handhaben lässt und die bis 100MHz brauchbar ist.

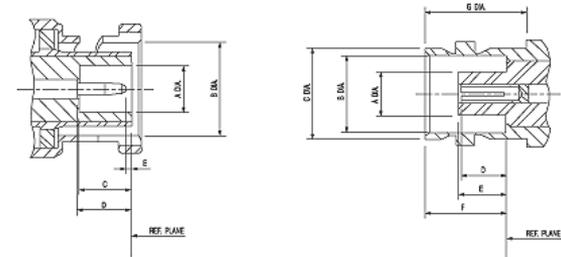


BNC-Steckverbinder

Die wohl verbreitetste Koaxialstecker-Bauform ist der BNC-Steckverbinder (*Bayonet Neill Concelman*), benannt nach den Entwicklern Paul Neill (Bell Labs) und Carl Concelman (Amphenol) um 1940.

BNC-Steckverbinder sind mit einem Bajonettverschluss verriegelt und für Hochfrequenzen bis 2 GHz einsetzbar. Es gibt sie mit definiertem Wellenwiderstand von entweder 50 oder 75 Ω . Achtung: Die 50- und die 75-Ohm-Typen sind untereinander steckbar! Sie werden in der Funktechnik, im Laborbetrieb und in der Videotechnik verwendet.

Der TNC Steckverbinder gleicht dem BNC Verbinder, hat jedoch ein Schraubgewinde.



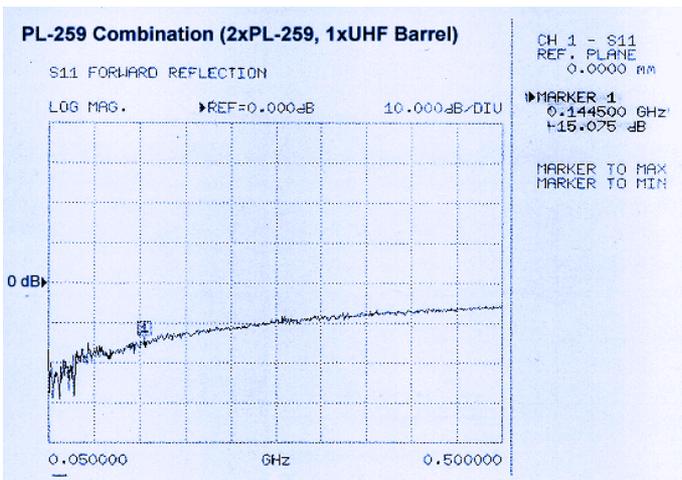
N-Steckverbinder

N-Steckverbinder, benannt nach ihrem Entwickler Paul Neill, sind koaxiale Steckverbinder mit Schraubverriegelung für Hochfrequenz bis etwa 11/18 GHz mit einer definierten Wellenwiderstand von 50Ω , seltener 75Ω .

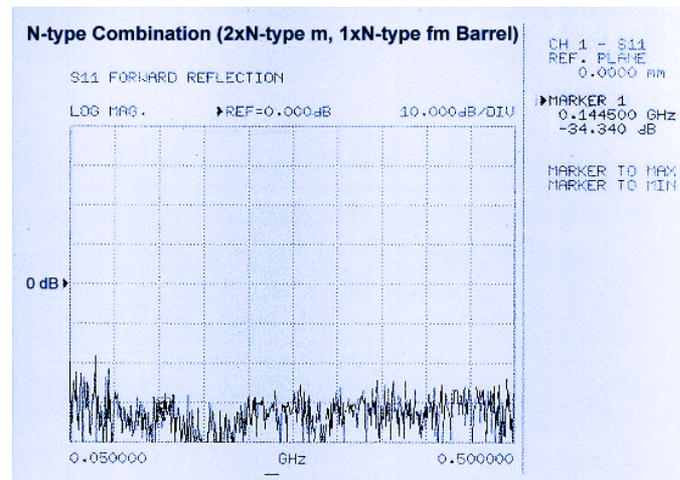
N-Steckverbinder gehören heute zu den am meisten verwendeten Steckverbindern in der professionellen HF-Technik. Paul Neill entwickelte diese Norm 1942 in den Bell Labs, da die bis dahin verwendeten UHF-Steckverbinder für höhere Frequenzen ungeeignet waren.



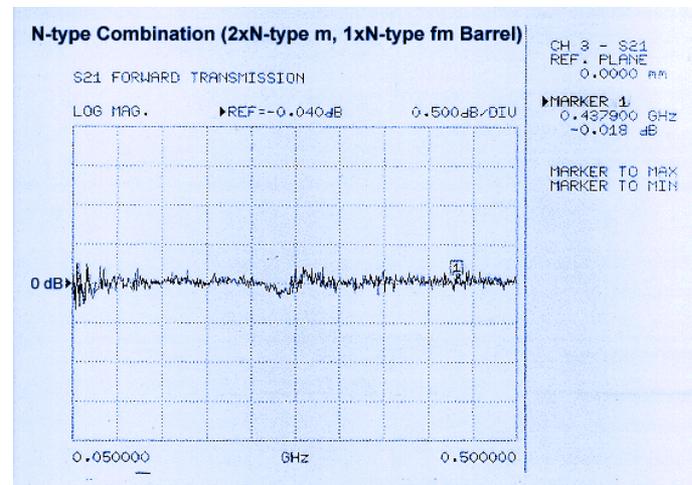
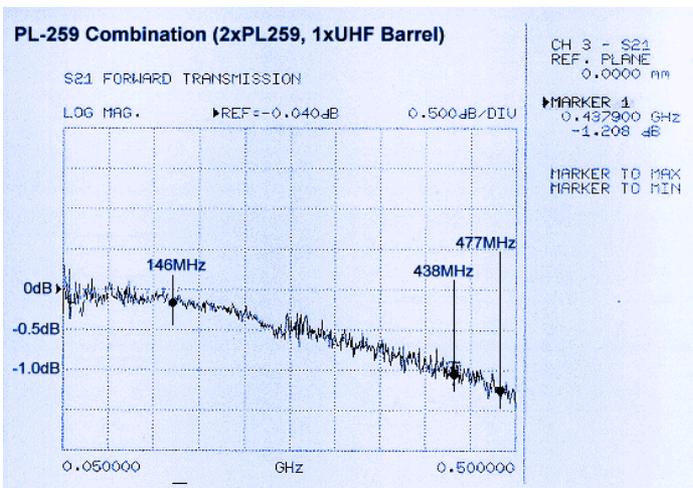
Vergleichsmessung: N vs. UHF



UHF Stecker-Doppelweibchen-Stecker



N Stecker-Doppelweibchen-Stecker

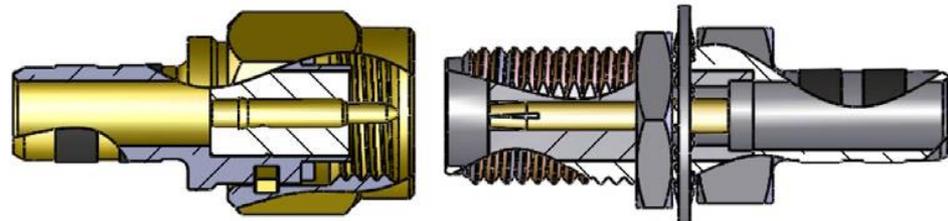
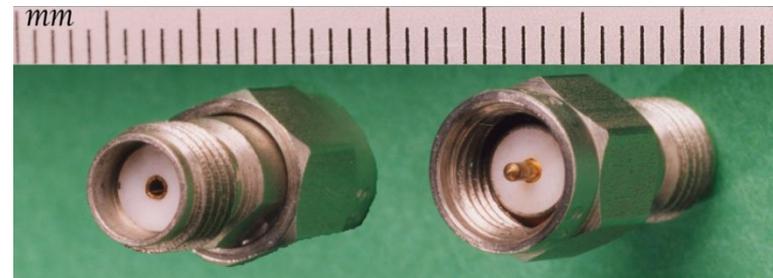


SMA-Steckverbinder

SMA-Steckverbinder

SMA-Steckverbinder werden für Anwendungen in Frequenzbereichen bis zu 18/26 GHz (je nach Ausführung) eingesetzt.

SMA steht für *Sub-Miniature-A*. Im Vergleich zu anderen HF-Steckverbindern sind SMA-Stecker recht klein, aufgrund der Schraubverriegelung dennoch mechanisch sehr robust



7/16-Steckverbinder

DIN 7/16-Steckverbinder wurden ursprünglich von der Firma Spinner entwickelt und sind benannt nach ihren metrischen Maßen von Innenleiter-Durchmesser (7 mm) und Dielektrikum-Durchmesser (16 mm).

Sie erlauben höhere Übertragungsleistungen (bis 1,8 KW bei 1 GHz) als N-Steckverbinder. Diese Steckverbinderform ist der Standard bei Mobilfunk-Basisstationen.



Symmetrische Zweidrahtleitung, Bandleitung

Übliche Wellenwiderstände von Zweidrahtleitungen betragen 600 Ω , 450 Ω , 300 Ω und 75 Ω . Die Bandleitung mit 300 Ω war früher in der Radio- und FS Technik verbreitet.



$$Z_w = \frac{120\Omega}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln\left(\frac{2a}{d}\right)$$

Bandleitung, Twin-Lead



„Wireman“ Fenster-Bandleitung
450 Ω (300 Ω)
Loss ca. 1dB/100m bei 50 MHz



Selbstbau „Hühnerleiter“ 600 Ω
 $d = 2\text{mm}$, $a = 150\text{mm}$
Wegen der „Luftisolation“
nur geringe Dämpfung

Die symmetrische Paralleldrahtleitung wird nach dem Physiker E. Lecher auch „Lecherleitung“ genannt

Ethernet Kabel



Ethernet Kabel aus der Netzwerktechnik besteht aus mehreren verdrillten symmetrischen Zweidrahtleitungen. Ein Aderpaar hat etwa 100Ω Wellenwiderstand. Je nach Aufbau des Kabels können darüber Signale kleiner Leistung bis mehrere 100 MHz übertragen werden.

Anhänge

Transmission Line Details - v2.0

Enter values directly, or click spinners, or click and hold spinners.

Freq - VF - Len - WL Conversions Print

1. Choose Transmission Line, Modify Parameters if Desired.

| Type | Nom. Zo | Nom. VF | K0 | K1 | K2 | T-Line Model Internal Variables | | |
|------------------------|---------|---------|----------|----------|----------|---------------------------------|----------------|--|
| Belden 8267 (RG-213/U) | 50 | 0.66 | 0.256179 | 0.154587 | 0.003135 | R | 69.934 mΩ/ft | |
| | | | | | | L | 77.744 nH/ft | |
| | | | | | | G | 2.021 μS/ft | |
| | | | | | | C | 30.809 pF/ft | |
| | | | | | | Matched Loss | 0.649 dB/100ft | |

2. Set Frequency, R, X.

14 MHz Band R X R and X
 At Input At Load

3. Set Line Length and Input Power.

Length: 100 Feet Units Electrical Length Modulo 1/2 Wavelength: 2.1667 λ Input Watts: 100 Plot Matched Line Loss

0 1/4 1/2 154.767 ns

Results

| | At Input | At Load |
|------------|-----------------|-----------|
| R | 17.629 | 250.000 |
| X | -26.338 | 0.000 |
| Z | 31.694 | 250.000 |
| SWR (True) | 3.684 | 4.977 |
| SWR (50) | 3.706 | 5.000 |
| True Zo | 50.234 + j0.238 | VF 0.6569 |

| | Loss | | % of Total Loss | | |
|---------------|-------|--------|-----------------|---|----|
| | dB | W | 42 | 3 | 55 |
| Cond. | 0.605 | 11.864 | | | |
| Diel. | 0.044 | 0.865 | | | |
| C. + D. | 0.649 | 12.729 | | | |
| Ref. | 0.780 | 15.301 | | | |
| Total | 1.428 | 28.030 | | | |
| Power at Load | | 71.970 | | | |

Plot |Zo| Plot VF Prime Center 50 Close

Show: SWR Rho Return Loss

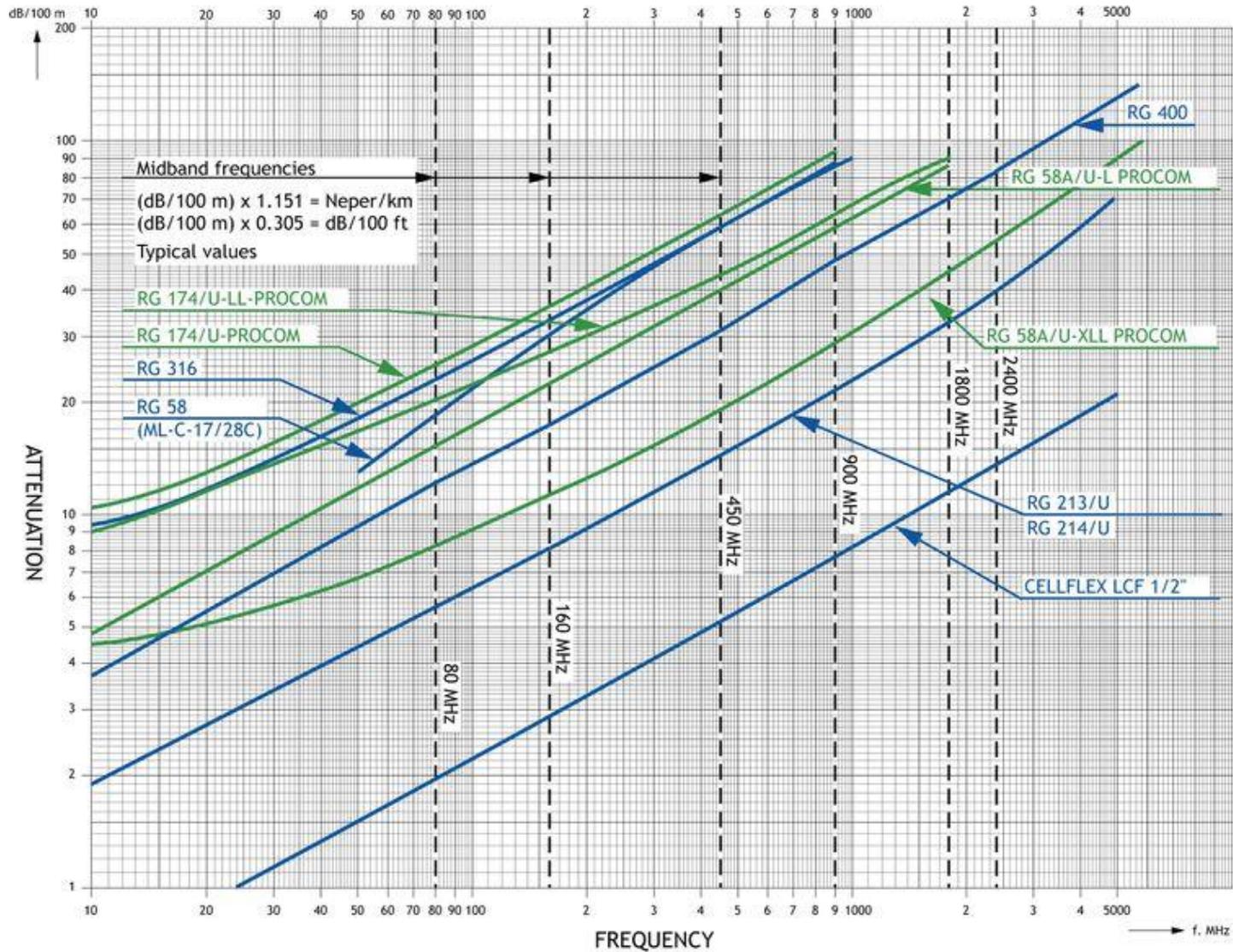
<http://www.ac6la.com/tldetails1.html>

Im Amateurfunk gebräuchliche 50Ω Koaxkabel



| Bezeichnung | Dämpfung je 100 Meter Kabellänge und max. Belastbarkeit bei Frequenz (MHz) | | | | | | | | | | Aussen- Ø in mm | Kapazität pF/m | Verkürz.f aktor | € je m |
|-------------|--|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|----|--------------------|-------------------|--------------------|--------|
| | 10 | 28 | 100 | 144 | 432 | 500 | 1000 | 2000 | 3000 | | | | | |
| RG 58 U | 5,0 | 9,0 | 17,0 | | | 39,0 | 54,6 | | 118,0 | dB | 5 | 102 | 0,66 | 0,45 |
| | | | | | | | | | | W | | | | |
| RG 58 C/U | 4,6 | 8,0 | 16,1 | 20,0 | 33,2 | 36,1 | 54,6 | 87,5 | 118,0 | dB | 5 | 101 | 0,66 | 0,60 |
| | | | 240 | 90 | | | | | | W | | | | |
| RG 213 U | 2,0 | 3,1 | 7,0 | 8,2 | 14,8 | 17,0 | 22,5 | 41,6 | 58,5 | dB | 10,3 | 101 | 0,66 | 1,05 |
| | | | 800 | 290 | | | | | | W | | | | |
| RG 174 A/U | | 18,0 | 30,0 | 38,4 | 68,5 | 73,0 | 104,2 | | | dB | 2,6 | 101 | 0,66 | 0,55 |
| | | | | | | | | | | W | | | | |
| Aircell 5 | 3,03 | | 9,78 | 11,8 | 20,95 | 22,64 | 32,84 | | 60,43 | dB | 5 | 82 | 0,82 | 1,15 |
| | 1600 | | 430 | 290 | | 150 | | | | W | | | | |
| Aircell 7 | 2,2 | 2,9 | 6,28 | | | 14,72 | 21,57 | 31,88 | 40,88 | dB | 7,3 | 75 | 0,83 | 1,55 |
| | 2040 | | 620 | | | | 180 | | | W | | | | |
| Aircom plus | 1,2 | 1,7 | 3,8 | | | 9,0 | 13,4 | 20,1 | 25,9 | dB | 10,3 | 81 | 0,83 | 2,85 |
| | 3980 | | 1210 | | | | 340 | | | W | | | | |
| H100 | | 2,0 | | 4,9 | 8,8 | | | | | dB | 9,8 | 79 | 0,84 | 1,75 |
| | | | 1000 | 530 | | | | | | W | | | | |
| Ecoflex 10 | 1,2 | | 4,0 | | | 9,6 | 14,2 | 21,2 | 27,0 | dB | 10,3 | 78 | 0,85 | 2,20 |
| | 3960 | | 1210 | | | 350 | | | | W | | | | |

Dämpfung ausgewählter 50 Ω Koaxkabel



Warum hat die Wellen-Impedanz einer Leitung

$$Z_L = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{die Einheit Ohm?}$$

Das ergibt sich aus den Einheiten für Induktivität und Kapazität, aus denen sich die Impedanz errechnet:

$$Z_L^2 = \frac{L}{C}$$

$$\text{Induktivität, L: } \textit{Henry} = V \cdot \left(\frac{s}{A} \right)$$

$$\text{Kapazität, C: } \textit{Farad} = A \cdot \left(\frac{s}{V} \right)$$

$$Z^2 = \frac{L}{C} = \frac{\left(\frac{V \cdot s}{A} \right)}{\left(\frac{A \cdot s}{V} \right)} = \frac{V^2 \cdot s}{A^2 \cdot s} = \frac{V^2}{A^2}$$

$$Z = \sqrt{\frac{V^2}{A^2}} = \frac{V}{A} = \Omega$$

Referenzen

Links zu Daten diverser Koaxkabel und Steckverbinder

<http://www.kabelwissen.de>

www.dl7dl.de/koaxkabel

http://www.beldenemea.com/uploads/media/06_EMEA-Catalog_Ger.pdf

www.koax24.de

www.kabel-kusch.de

<http://telcoantennas.com.au/site/guide-antenna-cables-connectors>

Koax Historie:

<http://www.microwaves101.com/encyclopedia/why50ohms.cfm>

<http://coaxial-cable-review.toptenreviews.com/the-history-of-coaxial-cable.html>

http://www.highfrequencyelectronics.com/Jun07/HFE0607_Editorial.pdf

<http://www.belden.com/blog/broadcastav/50-Ohms-The-Forgotten-Impedance.cfm>

Stecker Vergleichsmessungen

<http://www.wa1mba.org/UHFconn.htm>

<http://www.hamradio.me/connectors/uhf-connector-test-results.html>

<http://www.hamradio.me/connectors/lab-tests-sma-bnc-tnc-and-n-connectors.html>

Online Kabel Verlustrechner

[Link: Online Coax Loss Calculator](#)

Universelles Berechnungs Tool vom EZNEC Entwickler AC6LA „Transmission Line Details“

<http://www.ac6la.com/tldetails1.html>