

# RMS Audio

## Die Wahrheit über Audio Kabel

**RMS Audio** befasst sich seit seiner Entwicklung der **RMS** Elektrostaten und der **RMS** Elektronik mit dem Thema Audio-Kabel.

Zuerst wurde der Focus auf die LS-Kabel gelegt, da ein elektrostatischer Lautsprecher nur mit sehr guten und „richtigen“ LS-Kabel seine volle Qualität zeigen kann. Mit der Entwicklung des Vorverstärkers **RMS SV-1** haben wir auch intensiv geforscht, wie NF-Kabel richtig aufgebaut sein müssen.

Jedes Signalkabel, unabhängig ob LS oder NF, muss für die zugeordnete Betriebsart spezialisiert und optimiert werden. Nur dann kann das Musiksignal in voller Güte und ohne Verluste, also vom Sender zum Empfänger, übertragen werden.

NF und LS Kabel haben sehr unterschiedliche Anforderungen zu erfüllen. Ein gleich aufgebautes Kabel ist nicht für NF und LS Zwecke zu verwenden, das funktioniert niemals.

Ziel ist die verlustfreie Übertragung des Musiksignals, nichts anderes. Eine Klangverbesserung durch Kabel ist daher nicht möglich, nur eine Klangveränderung durch verlustbringende Kabel. Z.B. könnte ein fehlerhaftes Kabel den Hochtonbereich dämpfen und damit als „Höhenregler“ eingesetzt werden. Allerdings wird dann versucht, einen Fehler des Lautsprechers durch ein fehlerhaftes Kabel auszugleichen, kein wirklich zielführender Ansatz. Zu oft werden Fehler in der HiFi Anlage durch gegenteilige Spiegelung kompensiert, statt den Fehler zu beheben.

### Parameter

Ein Signalkabel ist gekennzeichnet durch seine Parameter: Induktivität L, Kapazität C und den reellen Widerstand R. Die optimale Komposition dieser Parameter ergeben dann ein optimales NF-Kabel und in anderer Komposition ein optimales LS-Kabel. Die unterschiedliche Komposition ergibt sich aus den Parameter, die durch die verwendeten Kabelmaterialien gebildet werden. Das sind:

Signalleiter/Schirm:	Kupfer, Kupfer versilbert, Kupfer verzinkt, Kupfer lackiert ect.
Isolation:	PVC, Gummi, PE, , PUR, PTFE, FEP ect.
Aufbau:	die Geometrie von Signalleiter + - zueinander und zusammen mit dem Dielektrikum (Isolationsmaterial), ergeben den Wellenwiderstand $Z_0$ .
Schutzhülle Optional:	Druckfester Kunststoff, Gewebeslauch...

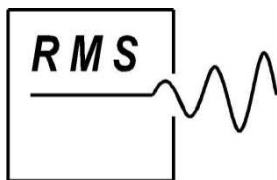
Ist ein NF oder LS Kabel optimal, so ist dies am Gesamtparameter der Impedanz (Berechnung siehe nächstes Kapitel „Impedanz“) zu sehen. Hierdurch unterscheiden sich optimale NF und LS Kabel.

Gemessen wird mit unserem Messaufbau, welchen wir für die Innenwiderstandsmessung von Audio Leistungsstufen entwickelt haben. Mit diesem Messaufbau messen wir die Kabeldämpfung. Sind die Parameter der Kabel bekannt, kann alternativ die Kabeldämpfung im Simulationsprogramm ermittelt und aufgezeichnet werden.

Nach unseren Erfahrungen und Messungen ergeben sich somit:

NF Kabel  $Z_0 = 50\Omega$  , wie auch  $75\Omega$  und bis  $110\Omega$ ,  $600\Omega$  symmetrisch (Studiotechnik)

LS Kabel  $Z_0 =$  Optimum  $4-8\Omega$  ,  $<50\Omega$



# RMS Audio

## Die Wahrheit über Audio Kabel

### Impedanz

In der Hochfrequenztechnik (Leitungslänge > Wellenlänge/20) wird der Wellenwiderstand in der Regel gleich der Impedanz von Quelle und Senke gewählt, um eine Leistungsanpassung zu erreichen und Einflüsse durch Reflexionen auf den Frequenzgang zu vermeiden.

Wir haben diesen Ansatz auf die Niederfrequenztechnik übertragen und streben daher an, die Leitungsimpedanz entweder der Impedanz der Quelle oder Senke anzupassen. Da in der Audiotechnik die Impedanz von Quelle und Senke in der Regel stark abweicht, ist eine Leistungsanpassung nicht praktikabel. Einflüsse durch Reflexionen auf den Frequenzgang können jedoch bereits bei einer einseitigen Impedanzanpassung vermieden werden.

Zur messtechnischen Bestimmung der Leitungsimpedanz verwenden wir die Näherungsformel

$$Z = \sqrt{(L'/C')} \cdot 1/.$$

Hierbei werden der Längswiderstand  $R'$  und der Querleitwert  $G'$  zunächst vernachlässigt.

Für  $f \rightarrow 0$  Hz ergibt sich eine abweichende Leitungsimpedanz, da für NF-Leitungen in der Regel gilt:  $Z(f \rightarrow 0) = \sqrt{(R'/G')} \gg Z(f \rightarrow +\infty) = \sqrt{(L'/C')}$ .

Was dies in der Praxis bedeutet, betrachten wir am Beispiel des Lautsprecherkabels

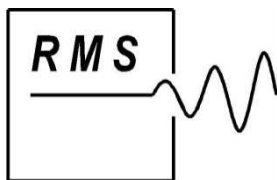
### **RMS Linear 64:**

L'	60,0E-9	H/m
C'	2,0E-9	F/m
R'	10,0E-3	Ohm/m
G'	100,0E-9	S/m
Z(f → +inf)	5,5	Ohm
Z(f → 0)	316	Ohm

Bei einer Leitungslänge von 2,5m (Beispiel) ergeben sich somit:

L	150,0E-9	H
C	5,0E-9	F
R	25,0E-3	Ohm

Für  $f \rightarrow 0$  ist nur noch der Leitungswiderstand  $R$  (25 mOhm im Beispiel) wirksam. Wir betrachten nun den Leitungswiderstand  $R$  als Teil eines symmetrischen Abschwächers in  $\pi$ -Schaltung /2/ an der Position von  $R1$ . Zunächst berechnen wir den Abschwächfaktor:  $a = (\sqrt{(Z^2 + R1^2)} + R1)/Z$ . Nun können wir den Wert der an die Leitungsenden parallel zu schaltenden Widerstände wie folgt berechnen:  $R2 = Z * (a + 1) / (a - 1)$ .



# RMS Audio

## Die Wahrheit über Audio Kabel

Mit den Werten aus unserem Beispiel ergeben sich somit:

a	1,0046	1
R2	2400	Ohm

Durch die Erweiterung zum symmetrischen Abschwächer in  $\pi$ -Schaltung ist nun auch für  $f \rightarrow 0$  die Impedanzanpassung (auf  $Z = 5,5$  Ohm im Beispiel) gegeben!

Soweit die Theorie – man bedenke: Auf der Seite der Endstufe ist dem Widerstand R2 die Ausgangsimpedanz der Endstufe (**RMS SE 100**:  $< 10$  m $\Omega$ ) parallel geschaltet. Auf der Seite des Lautsprechers ist dem Widerstand R2 die Eingangsimpedanz des Lautsprechers (4 bis 16  $\Omega$ ) parallel geschaltet. Wir lassen die Widerstände R2 daher weg – Puristen mögen diese wie beschrieben berechnen und einfügen.

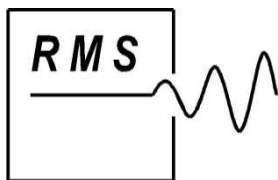
Nun wird es interessant: Lautsprecherkabel mit niedrigem Wellenwiderstand werden wegen der relativ hohen Leitungskapazität (im Beispiel immerhin 5 nF) kritisch betrachtet, da etliche Endstufen gegen solche Kapazitäten „allergisch“ sind. Hier die gute Nachricht: Ist die Lautsprecherimpedanz hinreichend nahe dem Wellenwiderstand des Lautsprecherkabels „sieht“ die Endstufe aufgrund der (lautsprecherseitigen) Impedanzanpassung nur eine ohmsche Last.

Eventuell ist auf der Seite des Lautsprechers eine Ergänzung der Frequenzweiche erforderlich, um auch für  $f > 20$  kHz eine definierte Eingangsimpedanz des Lautsprechers zu erhalten.

- 1) <http://de.wikipedia.org/wiki/Impedanz>
- 2) <http://de.wikipedia.org/wiki/Dämpfungsglied>

### Material / Auswahl

Als Leiter-Material kommt in erster Linie Kupfer in Frage. Für bessere Übertragungs- und Klanggüte ist Kupfer versilbert CU/AG vorzuziehen. Gute Ergebnisse auch mit Kupfer verzinkt CU/SN, da hier das Kupfer an der Oberfläche nicht oxidiert = Langzeitqualität. Reines Silberkabel hat sich klanglich nicht als ausgewogen ergeben, der höhere Preis rechtfertigt dies nicht; versilbert ist die optimale Wahl. Mehr dazu und warum unter „Litze oder Massiv Kabel“.



# RMS Audio

## Die Wahrheit über Audio Kabel

Das Label **StraightWire**, einer der seriösesten Hersteller auf dem Markt, hat Versuche mit Reinsilber getestet und hat sich dann für Kuper versilbert für ihre Top Kabel entschieden. Reinsilber Kabel ergeben keine musikalisch ausgewogene Wiedergabe, wobei es auch am Aufbau dieser Kabel-Fabrikate liegen mag.

Als Isolationsmaterial kommen recht viele Stoffe in Frage. Ein sehr preiswertes aber gutes Material ist PVC, Gummi, wenn es sehr flexibel sein muss (Profibereich). PE ist nicht geeignet, da dies ein sehr polares Material ist und somit das Signal nicht verlustfrei übertragen kann. Beste Ergebnisse, leider die teuersten, ergeben PTFE und FEP. Diese beiden Materialien haben das geringste  $\epsilon_r$  (Epsilon) Dielektrikum, von  $\epsilon_r$  2,0-2,1 und ergeben somit die geringsten Wechselstromverluste. Dies ist vergleichbar einem Kondensator, auch hier haben Kondensatoren mit den besten Isolator-Materialien sehr gute Übertragungswerte. Über die dielektrischen Verluste,  $\tan \alpha$ , ergibt sich eine Dämpfung des Musiksignals, je höher die Frequenz desto mehr Dämpfung.

<http://de.wikipedia.org/wiki/Dielektrikum>

### Litze- oder Massiv-Kabel

Die Diskussion, ob ein massives Kabel oder ein Kabel mit einer hohen Anzahl von feinsten Litzen besser geeignet ist, scheint eine Glaubensfrage zu sein. Dabei gibt es auf diese Frage eine einfache physikalische Antwort.

Das ist auch eindeutig durch Hörvergleiche zu belegen. Dazu gibt es auch eine Erklärung, wenn man sich zum Stromfluss und wie dieser entsteht, Gedanken macht. Die Elektronen, welche einen Strom erst ergeben, kommen nicht blitzartig von A nach B, sondern "Wandern" koppeln sich gegenseitig vergleichbar einer Eimerkette. Das Elektron, welches den Stromfluss beginnt, ist erst geraume Zeit später am Ziel. Das Koppeln geht extrem schnell, so dass sich ein V (velocity) in nahezu Lichtgeschwindigkeit einstellt.

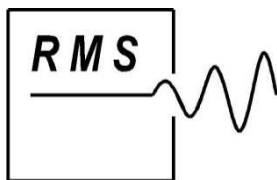
Nun bewegen sich die einzelnen Elektronen vorrangig an der Oberfläche des Leiters entlang. Erst wenn der Stromfluss so hoch wird, dass die Oberfläche nicht mehr ausreicht für die dafür benötigten Elektronen, beginnen die Elektronen sich im Materialinnern zu bewegen.

Somit ist bewiesen, dass nur ein Litzenkabel mit sehr großer Oberfläche die beste Signalübertragung gewährleistet. Je feiner die Litzen im Kabel sind, und so mehr Detailreichtum ist von der Musik-Aufnahme zu hören. LS Flachbandkabel, welche nicht auf die Impedanz optimiert sind, haben trotz der großen Oberfläche ihrer Leiter keine Vorteile, wenn die Parameter für den Einsatzzweck nicht optimiert sind.

### Querschnitt

Wie groß soll der Querschnitt  $\square$  eines Kabels sein?

Hier nehmen wir die VDE Vorschrift und allgemeine Empfehlung:  $1\text{mm}^2 \square$  erlaubt max. 10A. Hierbei sind noch Reserven und Sicherheiten eingeplant, denn ein Kabel darf bei zulässigem Betrieb niemals warm werden. Wird eine Kabel im Betrieb warm, ist es eindeutig überlastet.



# RMS Audio

## Die Wahrheit über Audio Kabel

Bei LS Kabel sind ab  $1\text{mm}^2$  gute Ergebnisse zu erzielen. Mehr als  $4\text{mm}^2$  sind in der Regel bis zu Längen von 10m nicht notwendig. Wohlgemerkt, der Aufbau des Kabels ist klangentscheidend, nicht der  $\square$ !

Bei NF Kabel ist der  $\square$  deutlich weniger wichtig. Mehr als  $1\text{mm}^2$  sind auch bei großen Längen nicht notwendig.

Auch hier wieder eine Erklärung weshalb: welchen Strombedarf haben wir eigentlich im NF Bereich? Die Eingangsimpedanzen von Audio-Geräten schwanken so zwischen  $2\text{k}\Omega$  und um  $100\text{k}\Omega$ . Nehmen wir den unteren Wert von  $2\text{k}\Omega$  und eine Signalspannung von 2V ergibt sich  $2\text{V}/2\text{k}\Omega=0,001\text{A}$  = somit eine Stromstärke von 1mA.

Schon das **RMS Audio Silberline1** NF Kabel mit  $0,07\text{mm}^2$  kann bis zu 700mA problemlos belastet werden. Extrem dicke NF Kabel, welche nicht einmal mehr in die Stecker passen, bieten keine bessere Qualität.

### Schutzschirm

Der äußere Schutzschirm des Kabels hat zwei Funktionen: die Verbindung zu Masse „-“ und äußere Störungen vom Kabel fernzuhalten. Das sind HF Frequenzen und Störungen, wie Brumm, die von Netzleitungen eingekoppelt werden können. Diese Störungen werden vom Schirm an die Masse niederohmig abgeleitet. Ohne Schirm und Ableitung mischen sich diese Störungen ins Musiksignal und verändern dies hörbar, je nach Störgröße.

NF Kabel müssen geschirmt sein, ebenso  $75\Omega$  Digitalkabel. Diese COAX Kabel haben prinzipiell kein nach außen dringendes elektrisches und magnetisches Feld, wenn der Mantelleiter geschlossen und der Signalleiter in der Mitte ist.

Die **RMS Audio** Kabel haben doppelte Schirmung, deshalb eine sehr hohe Stördämpfung.

### Schlussbemerkung

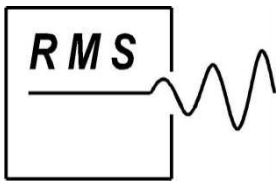
Beachten: nicht ein einzelner Parameter entscheidet über die Qualität für den richtigen Einsatzzweck von NF und LS Kabel, sondern die richtig abgestimmte Auswahl aller Parameter. Nur dann ist ein Kabel für den NF und LS Einsatz optimal entwickelt.

Wie weit teuerste Kabel vom Optimum abweichen, ersehen Sie in einer Tabelle weiter unten. Diese basiert auf Messungen von uns oder auf Angaben der Hersteller selbst.

In der Tabelle sind die Werte von L und C angegeben, aus denen sich das  $Z_0$  errechnet. Die Beurteilung, der zum Teil weitaus teureren Kabel anhand der aufgeführten Werte, ergibt sich von selbst.

Wenn Sie hier alles sorgfältig gelesen haben, sind Sie selbst in der Lage dies zu erkennen.

*Rolf Dörrmann* **RMS Audio**



# RMS Audio

## Die Wahrheit über Audio Kabel

Tabelle aus Messungen von **RMS Audio** sowie den Angaben der Hersteller

Kabel Wellenwiderstand Z0				
Kabel	Wert L	Wert C	Z0	Kabel Art
RMS Linear 26C	5,00E-08	3,10E-09	4,0	LS
RMS Linear 64	2,00E-07	8,00E-09	5,0	LS
RMS Linear 26	2,00E-07	3,90E-09	7,2	LS
Sommer Beast	4,00E-07	2,70E-09	12,2	LS
StraighWire STAGE	1,50E-07	7,03E-10	14,6	LS
StraighWire Maestro	2,00E-07	9,20E-10	14,7	LS
StraighWire Pro12	1,50E-07	6,12E-10	15,7	LS
Monacor 4x2,5	3,00E-07	1,09E-09	16,6	LS
StraighWire Encore	1,00E-07	3,60E-10	16,7	LS
Horn Maestro	5,00E-07	1,40E-09	18,9	LS
Sommer Magelan	1,30E-07	1,50E-10	29,4	LS
audioquest Midnigh	1,00E-06	3,97E-10	50,2	LS
Monacor 2x3	1,10E-06	3,90E-10	53,1	LS
Neyton Frankfurt LS K	2,40E-07	8,00E-11	54,8	LS
Sumiko	6,00E-07	1,38E-10	65,9	LS
Neyton Nürnberg LS	3,55E-07	5,90E-11	77,6	LS
Neyton Bamberg LS	3,47E-07	5,20E-11	81,7	LS
Sommer diPhase	8,00E-07	9,55E-11	91,5	LS
Nordost Blus Heaven	1,60E-07	9,60E-12	129,1	LS
Nordost Odin	1,67E-06	6,80E-11	156,7	LS
Actinote	2,80E-06	1,05E-10	163,3	LS
Supra Ply 3.4	2,80E-06	1,04E-10	164,1	LS
Frankfurt LS P	6,00E-07	2,20E-11	165,1	LS
SilentWire Reference	2,40E-06	5,40E-11	210,8	LS
Neyton Berlin LS	7,90E-07	1,60E-11	222,2	LS
Fadel Art Aphrodite SC Pro	2,97E-06	4,20E-11	265,9	LS
RMS Silberline4	4,00E-07	1,46E-10	52,3	NF
RMS Silberline3	1,24E-05	4,20E-09	54,3	NF
RMS Silberline1	3,60E-07	6,30E-11	75,6	NF
Nürnberg NF	2,50E-05	1,15E-10	466,3	NF

Typischer Aufbau der **RMS Audio NF Silberline** Typen

