

Lautsprecherleitungen

Im Bezug auf die Zuleitungen zu Lautsprechern sind viele Meinungen zu hören und noch mehr nachzulesen.

Mit den nachfolgenden Betrachtungen sollen dem Anwender einige Erläuterungen gegeben werden, welche gängige Missverständnisse aus dem Reich der Dichtung in die Realität zurückholt.

Abschließend kann für „normale“ Anwender eine direkte Kaufempfehlung abgeleitet werden.

Inhaltsverzeichnis

1. Leitungsgrößen	2
2. Dämpfung	4
3. Skineffekt	5
4. Zusammenfassung	6
5. Schlussbemerkung	8
Quellenverzeichnis	10

1. Leitungsgrößen

Eine Leitung soll mit möglichst wenigen Verlusten Energie von einem Ort zu einem anderen transportieren. Wie alles auf unserer Welt gibt es die ideale Leitung (mal von Supraleitern abgesehen) nicht. Daher sind wir gezwungen gewisse Kompromisse einzugehen. Wie wir sehen werden, sind die meisten dieser Kompromisse leicht zu tolerieren und man kann auch noch einiges an Geld sparen.

Eine Leitung beschreibt man in der Nachrichtentechnik mit folgendem Ersatzschaltbild:

R' Widerstandsbelag
 L' Induktivitätsbelag
 G' Ableitungsbelag
 C' Kapazitätsbelag

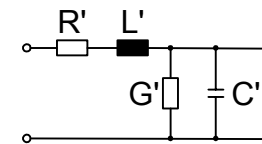


Bild 1: Leitungsersatzschaltbild

Man spricht hier von Belägen (und kennzeichnet diese durch das „'“), weil diese unabhängig von der Leitungslänge sind. Alle Werte werden somit pro Länge angegeben. D.H. $[R'] = \Omega/m$; $[L'] = H/m$; $[G'] = S/m$ und $[C'] = F/m$. Siehe auch [1].

Ein erstes, weit verbreitetes Missverständnis besteht nun darin, dass man einfach die Beläge mit der Länge der Leitung multiplizieren muss, um auf die tatsächlichen Werte (R, L, G, C) zu kommen. Dies ist aber nur in seltenen Fällen als Näherung zulässig, da man sich das Ersatzschaltbild (unendlich-) viele hintereinander geschaltet vorstellen muss. Jedes einzelne Ersatzschaltbild repräsentiert dann nur noch ein (infinitesimal) kleines Stückchen der eigentlichen Leitung. Man kann sich das ganz gut vorstellen, wenn man sich für jeden Millimeter der Leitung eines dieser Ersatzschaltbilder denkt.

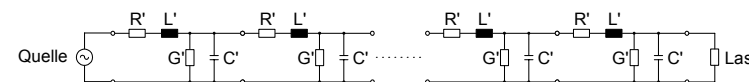


Bild 2: Leitungsmodell

Auf diese Weise bekommt man einen ganz guten Eindruck davon, wie komplex die tatsächlichen Gegebenheiten sind.

Manche Hersteller von Leitungen machen sich die Mühe und geben diese Daten ihrer Leitungen an. Einen Überblick soll folgende Tabelle verschaffen.

Quer-schnitt	R' / Ω / km	L' / μ H / km	G' / μ S / km	C' / nF / km
0,75mm ²	26	~750	~0*	~100
1,0mm ²	19	~750	~0*	~100
1,5mm ²	13	~750	~0*	100
2,5mm ²	8	~750	~0*	100
4,0mm ²	5	760	~0*	95

Tabelle 1: Leitungsbeläge von Zwillinglautsprecherleitungen

*Kabel verfügen über sehr gute Isolation, so dass G' in der Regel vernachlässigbar klein ist.

Die Werte sind natürlich von Hersteller zu Hersteller und je nach Kabeltyp etwas verschieden.

Doch was bedeutet dies im praktischen Einsatz?

Folgendes Bild verdeutlicht die Frequenzabhängigkeit der Kabel bei einer Leitungslänge von 3m und 4 Ω Lautsprechern.

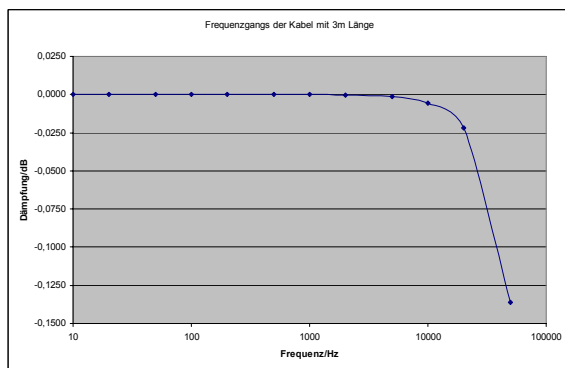


Bild 3: Frequenzabhängigkeit der Kabel
Man beachte die Skalierung! (0,15dB)

Hieraus sind zwei wichtige Erkenntnisse abzuleiten:

- Die Frequenzabhängigkeit ist unabhängig vom verwendeten Leitungsquerschnitt.
- Der Einfluss ist mit -0,02 dB bei 20kHz enorm gering.

Eine Schwankung von $\pm 0,02$ dB ist nur mit modernen, hochpräzisen Messgeräten nachweisbar. Ganz sicher jedoch sind diese nicht von einem normalen menschlichen Gehör wahrnehmbar.

2. Dämpfung

Die Dämpfung ist eine Kenngröße, die angibt, wie viel der eingespeisten Energie von der Leitung selbst absorbiert und vorwiegend in Abwärme umgesetzt wird. Die Dämpfung ist – wie einem der gesunde Menschenverstand schon sagt – im Wesentlichen vom verwendeten Querschnitt abhängig. Folgende Tabelle zeigt die Dämpfungen der in 1. betrachteten Leitungen:

Quer-schnitt	Dämpfungs-verluste / dB	Leistungsverlust bei 5W am Ausgang
0,75mm ²	0,084	94mW = 1,9%
1,0mm ²	0,060	67mW = 1,4%
1,5mm ²	0,043	49mW = 1,0%
2,5mm ²	0,026	30mW = 0,6%
4,0mm ²	0,016	19mW = 0,4%

Tabelle 2: Dämpfungen bei 3m Leitungslänge (4 Ω Last)

Es ist ein Energieverlust auf der Leitung zu beklagen. Audio-Verstärker liefern jedoch in der Regel viele tausend bis zehntausend mW, so dass dieser Energieverlust von wenigen Prozent absolut verschmerzbar ist. Die Dämpfung hat keine Abhängigkeit von der Frequenz und ist somit 100% klangneutral.

- Keine Klangverfälschung durch Dämpfung
- Leistungsverluste durch Dämpfung sind eher gering

3. Skineffekt

Um den Skineffekt geistern im Rahmen von Lautsprecherkabeln wohl die meisten Missverständnisse umher. Zum einen, weil er dem Nicht-Techniker nicht sehr vertraut ist und zum anderen, weil er nur durch komplizierte Formeln vernünftig beschreibbar ist. Doch gerade die Kompliziertheit der Gleichungen wird oft für die wahnwitzigsten Theorien genutzt. Hier soll nicht unnötig mit Formeln hantiert, sondern viel mehr auf die konkreten Auswirkungen eingegangen werden.

Der Skineffekt (engl. skin = Haut) beschreibt, wie der Strom in einem Leiter mit zunehmender Frequenz immer weiter an die Oberfläche (quasi die „Haut“) des Leiters verdrängt wird. Verursacht wird dies durch das im Inneren des Leiters entstehende Magnetfeld. Dieses wiederum erzeugt einen Gegenstrom der stets dem fließenden Strom entgegengesetzt ist (Gegeninduktion) und setzt die Stromstärke umso mehr herab, je weiter man sich zum Mittelpunkt des Leiterquerschnitts bewegt. Interessierte finden u.a. in [2] mehr. Auf unsere Leitungen angewandt heißt dies:

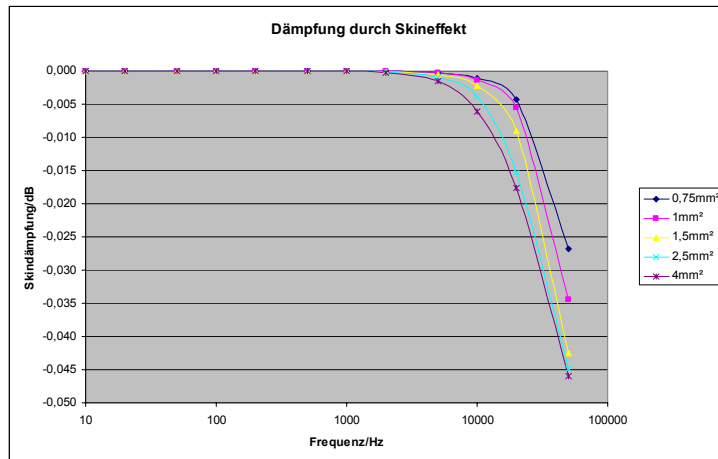


Bild 4: Frequenzgang des Skineffekts
Auch hier wieder auf die Skalierung achten!

Auch hieraus lassen sich wieder einige Erkenntnisse ableiten:

- **Der Einfluss des Skineffekts ist ebenfalls enorm gering (bei 20kHz kleiner 0,02dB).**
- **Der Skineffekt tritt bei höheren Querschnitten deutlicher auf.**

Alle Betrachtungen in den bisherigen Kapiteln wurden zwar mit 5W Ausgangsleistung durchgeführt. Die ermittelten dB- und Prozent-Werte gelten jedoch ebenso bei jeder anderen Leistung.

Übrigens können 5W Sinusleistung je Lautsprecher in einem normal großen, geschlossenen Raum schon Gehörschädigungen hervorrufen! Zimmerlautstärke liegt bei wenigen mW (=tausendstel Watt) sinus!

4. Zusammenfassung

Hier sollen nun die gewonnen Erkenntnisse kombiniert werden. Hierzu wird im folgenden Bild der Frequenzgang mit allen besprochenen Effekten zusammen dargestellt werden:

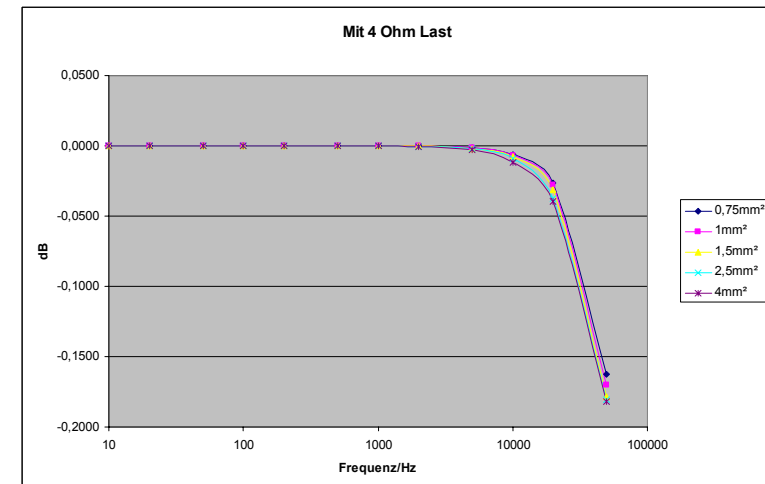


Bild 5: Frequenzgang mit 4Ω Lautsprechern (l=3m)

- Der Frequenzgang ist für alle berechneten Leitungen ähnlich (-0,026dB ... -0,040dB bei 20kHz).
- Die stärksten (wenn man in diesem Zusammenhang überhaupt von „stark“ sprechen kann) Signalverzerrungen werden durch Leitungen mit hohem Querschnitt hervorgerufen.
- Die Dämpfung spielt für den Frequenzgang keine Rolle

Weitere Klarheit bringt ein Vergleich des Frequenzgangs, wenn man mit 8Ω Lautsprechern arbeitet:

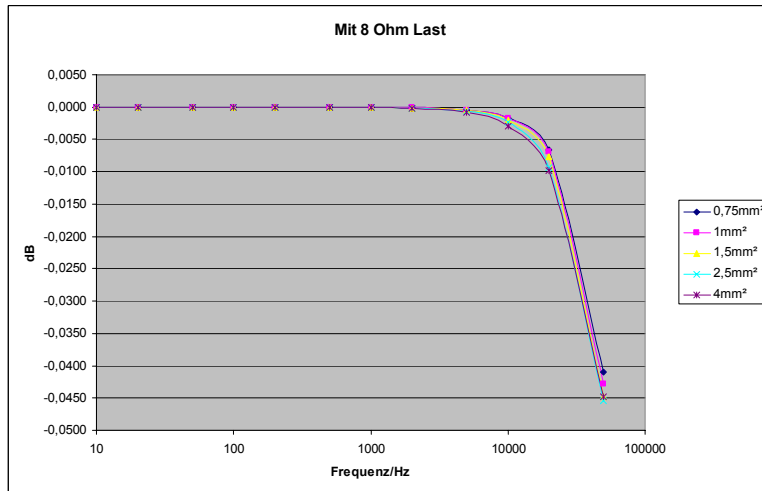


Bild 6: Frequenzgang mit 8Ω Lautsprechern (l=3m)

Sowohl die Auswirkung des Skin效ekts, als auch der beschriebene Leitungseinfluss aus 1. sind hierbei geringer.

Auch die Leitungsverluste sind bei Verwendung von 8Ω Lautsprechern nochmals günstiger:

Querschnitt	Dämpfungsverluste / dB	Leistungsverlust bei 5W am Ausgang
0,75mm ²	0,042	48mW = 1,0%
1,0mm ²	0,030	34mW = 0,7%
1,5mm ²	0,022	25mW = 0,5%
2,5mm ²	0,013	15mW = 0,3%
4,0mm ²	0,008	9mW = 0,2%

Tabelle 3: Dämpfungen bei 3m Leitungslänge (8Ω Last)

- Höhere Lautsprecherimpedanz verringert die negativen Einflüsse der Leitung

5. Schlussbemerkung

Um Lautsprecher an einen Verstärker anzuschließen, werden am Markt sehr unterschiedliche Leitungslösungen angeboten. Diese reichen von einfachen und preiswerten Lösungen von 0,50 € pro Meter bis hin zu High-End Kabeln für mehrere tausend (!!) Euro.

Wie wir gesehen haben, sind die Eigenschaften gängiger Leitungen derart unkritisch, dass man beruhigt zu preiswerten, Leitungen mit niedrigem Querschnitt greifen kann. Diese sind auch wesentlich besser zu handhaben und verschwinden eher hinter Möbeln und Fußleisten.

Laut DIN VDE 0298, Teil 4 sind mit den Leitungsquerschnitten folgende Leistungen (vorgegeben durch die maximalen Ströme) möglich (nachzulesen u.a. in [2]):

Querschnitt	max. zul. Strom nach DIN@30°C / A	Damit erzielbare Leistung / W	
		an 4Ω	an 8Ω
1,0mm ²	19	1444	2888
1,5mm ²	24	2304	4608
2,5mm ²	32	4096	8192
4,0mm ²	42	7056	14112

Tabelle 4: Mögliche Leistungen mit div. Querschnitten

Man erkennt, dass selbst ein Kabel mit 1mm² Querschnitt für Leistungen im normalen Hörbereich (1mW ... 3W im Wohnzimmer) hoffnungslos überdimensioniert ist!

- **Verwenden Sie flexible Zwillingslitze mit 0,75mm²!**

Achten Sie aber beim Verlegen der Leitung darauf, von anderen Strom führenden Leitungen (und z.B. Stehlampen-Dimmern) möglichst fern zu bleiben. Dadurch sind auch direkte Netzeinkopplungen (50Hz-Brummen) minimiert.

Stecken Sie das hierdurch gesparte Geld lieber in gute Lautsprecherboxen, denn diese sind mit ihren Kenndaten (Frequenzgang, Wirkungsgrad, etc.) sicher noch für lange Zeit das mit Abstand schwächste Glied in der Kette „Verstärker – Leitung – Boxen“.

Auch die Anordnung von Möbeln und Schallreflexionen im Raum stellen gegenüber den Leitungseinflüssen eine um Größenordnungen höhere Problematik dar.

Quellen:

- [1] Fricke, Lamberts, Patzelt: Grundlagen der elektrischen Nachrichtenübertragung, Stuttgart 1979
- [2] Lindner, Brauer, Lehmann: Taschenbuch der Elektrotechnik und Elektronik, München-Wien 1999

Dokumentname: AN0001-1GER.PDF
Ausgabe 1.01 vom 23.02.2005

© 2005 PREL

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks und der Vervielfältigung dieses Dokuments oder Teilen hieraus, vorbehalten.
Der Einsatz zu privaten und Schulungszwecken ist erlaubt!
Irrtum vorbehalten. Änderungen können jederzeit ohne Ankündigung durchgeführt werden.

Informationen zu unseren Produkten finden Sie unter www.prel.de