

## 9.4 Gitarrenkabel

Zumeist ist der Gitarren-Tonabnehmer über ein mehrere Meter langes Kabel mit dem Gitarrenverstärker verbunden. Seltener ist bereits in der Gitarre oder sogar im Tonabnehmergehäuse ein Verstärker eingebaut; auch Funkübertragung kommt zum Einsatz. Das übliche Gitarrenkabel ist klangbestimmend. Seine Kapazität erzeugt zusammen mit der Wicklungskapazität und der Wicklungsinduktivität die **Tonabnehmerresonanz**, die der Übertragung eine charakteristische Klangfärbung verleiht.

Das Gitarrenkabel enthält einen (oder zwei) Innenleiter. Dieser ist als dünne, flexible Litze ausgeführt, die zylinderförmig mit z.B. geschäumtem Polyethylen isoliert ist. Darum herum befindet sich ein konzentrisches Abschirmgeflecht, das manchmal zusätzlich noch leitenden Kunststoff enthält; bei hochwertigen Kabeln ist doppelte Schirmung üblich. Jedes differentielle Kabelstückchen kann durch vier Elemente beschrieben werden: Einen Längswiderstand, eine Längsinduktivität, eine Querkapazität und einen Querverwiderstand.

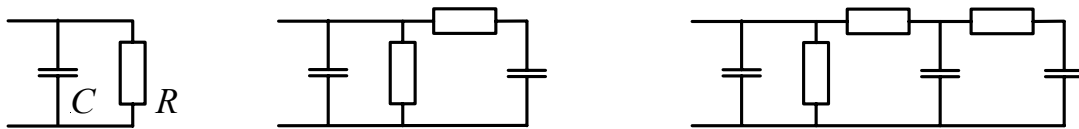
Der Kabel-Längswiderstand beträgt nur einige Ohm; er kann gegenüber dem Realteil der Quellimpedanz ( $k\Omega$ ) in sehr guter Näherung vernachlässigt werden. Auch die Längsinduktivität ist mit ca.  $1 \mu\text{H}$  so niederohmig, dass sie sicher keine Rolle spielt. Der querliegende Isolationswiderstand ist in der Regel so hochohmig ( $>100 \text{ M}\Omega$ ), dass er ebenfalls keinerlei Auswirkungen hat. Allerdings kommt es im Dielektrikum (im isolierenden Kunststoff) zu Ladungsverschiebungen und damit zu minimalen mechanischen Verformungen, die mit zunehmender Frequenz für Energieverluste sorgen. Diese Auswirkungen sind mit einer einfachen **Isolationsmessung**, die ja meist bei Gleichspannung durchgeführt wird, nicht erfassbar. In genaueren Ersatzschaltbildern bildet deshalb nicht nur ein einfacher (reeller) Querverwiderstand, sondern ein kompliziertes **RC-Array** den komplexen Querleitwert nach. Man könnte auch sagen: Die **Kabelkapazität** ist schwach frequenzabhängig, sie nimmt mit steigender Frequenz geringfügig ab; die **Kabelverluste** sind stark frequenzabhängig, sie nehmen mit steigender Frequenz zu.

Verlustbehaftete Kapazitäten beschreibt man vereinfacht mit einem RC-Ersatzschaltbild: Im niederen Frequenzbereich mit einer RC-Parallelschaltung, im höheren Frequenzbereich mit einer RC-Reihenschaltung. Während die im Kondensator gespeicherte Energie wieder abrufbar ist, wandelt der Widerstand elektrische Energie irreversibel in Wärme um – deshalb der Begriff **Verlust**. In der komplexen Admittanzebene stellt der Admittanz-Realteil die vom Verlust kommende Konduktanz dar, der Admittanz-Imaginärteil ist die von der Kapazität bewirkte Suszeptanz. Anstatt der kartesischen Koordinaten *Konduktanz* und *Suszeptanz* können auch die Polarkoordinaten *Betrag* und *Phase* verwendet werden. Der Betrag ist der *Scheinleitwert*, der Tangens des komplementären Phasenwinkels  $\delta$  ist der **Verlustfaktor**  $d$ .

$$d = \tan \delta = \frac{1}{R} / \omega C = \frac{1}{\omega RC} \quad \delta = \text{Verlustwinkel (Abb. 9.14)}$$

Bei guten Kondensatoren ist der Querverwiderstand  $R$  sehr groß, der Querleitwert  $1/R$  folglich sehr klein, woraus sehr kleine Werte für  $\delta$  resultieren. Datenblätter nennen z.B. für Styroflex-Kondensatoren  $d = \tan \delta \approx 10^{-4}$ . Setzt man nun in die o.a. Formel einen frequenzunabhängigen Widerstand  $R$  und eine frequenzunabhängige Kapazität  $C$  ein, müsste  $\tan \delta$  reziprok zur Frequenz verlaufen. Tatsächlich ergibt sich aber im unteren Frequenzbereich für  $\tan \delta$  ein eher

konstanter Verlauf – bei vielen Isolatoren ist sogar ein über der Frequenz ansteigender Verlauf zu finden (vergl. Kap. 9.2, Ton-Kondensator). Diese Messergebnisse sind im deutlichen Widerspruch zu der o.a. Formel. Wenn man nicht frequenzabhängige Bauteile definieren möchte, (deren Funktion schwer verständlich ist), bleibt nur die Erweiterung des Ersatzschaltbildes auf mehrere Komponenten. Je nach gewünschter Genauigkeit kann ein ziemlich großes RC-Array erforderlich werden. In **Abb. 9.14** sind ein einfaches und zwei erweiterte Kabel-Ersatzschaltbilder angegeben.



**Abb. 9.14:** Kabel-Zweipol-Ersatzschaltbilder unterschiedlicher Komplexität (siehe auch Kap. 5.9.2).

Kabelkapazität und Tonabnehmerinduktivität bilden zusammen eine **Resonanz** im Frequenzbereich zwischen 2 – 5 kHz. Die Kabelkapazität ist unverzichtbarer Partner dieses Resonanzkreises und klangbestimmend. Die Kabelverluste bedämpfen die Resonanz, bei guten Kabeln allerdings in vernachlässigbarem Umfang. Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass als Kabel-Verlustwiderstand nicht der (sehr hohe) Isolationswiderstand angesetzt werden darf, sondern stattdessen eine Verlustnachbildung als Funktion der Frequenz erforderlich ist. Da der Tonabnehmer/Kabel-Schwingkreis bei seiner Resonanzfrequenz am höchstohmigen ist, wirkt sich hierbei ein parallel-liegender Dämpfungswiderstand am stärksten aus. Mit hochwertigen Kabeln erreicht man im Resonanz-Frequenzbereich Verlustwiderstände  $> 50 \text{ M}\Omega$ . Gegenüber anderen Verlusten und insbesondere gegenüber üblichen Gitarren-Potentiometern ( $250 \text{ k}\Omega$ ) **sind derartige Kabelverluste folglich zu vernachlässigen**. Das heißt nun nicht, dass bei Kabeln Verluste generell vernachlässigbar sind. Für die Hochfrequenzübertragung gelten andere Kriterien. Gitarrenkabel arbeiten aber im Hörfrequenzbereich, und da ist bei hochwertigen Kabeln nur die Kapazität wichtig. Hochwertige Kabel kosten einige Euro pro Meter, zusammen mit hochwertigen Steckern können 10 – 20 Euro zusammenkommen. Das ist es dann aber auch – "monströse" Preise sind physikalisch nicht begründbar.

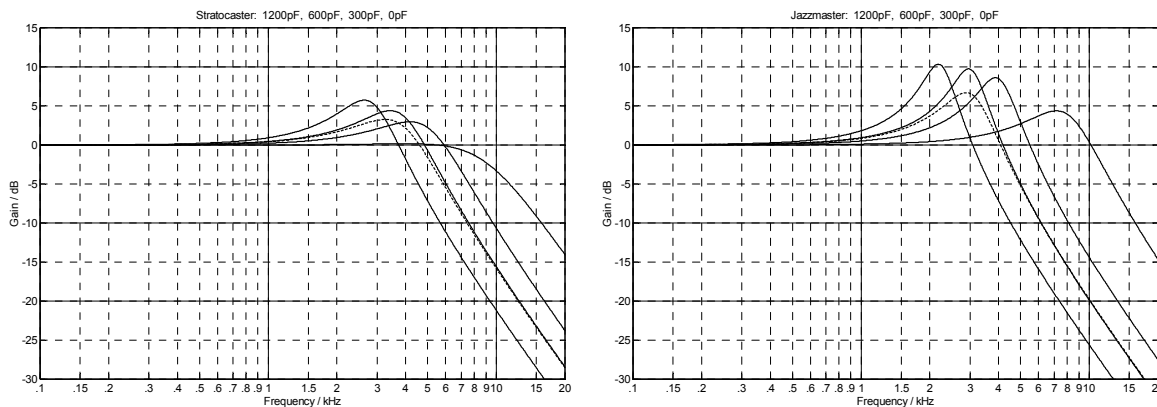
Die **Kabelkapazität** liegt üblicherweise im Bereich um  $100 \text{ pF/m}$  ( $\pm 30\%$ ). Mit normalen Längen ergeben sich somit **ca. 300 – 600 pF**. Bei langen Kabeln können aber auch Werte bis  $1,5 \text{ nF}$  vorkommen. Spezielle kapazitätsarme Kabel erreichen ca.  $70 \text{ pF/m}$ . Für Vergleichsmessungen stand auch ein 40 Jahre altes Gitarrenkabel ('vintage' ☺) zur Verfügung. Mit seinen 4m Länge brachte es beachtliche  $1050 \text{ pF}$  zustande, mit einem ebenso beachtlichen Verlustwiderstand von nur  $500 \text{ k}\Omega$ . Gegenüber  $4 \times 70 \text{ pF} = 280 \text{ pF}$  besteht somit ein großer und deutlich hörbarer Kapazitäts-Unterschied. Auch die Auswirkungen des schon relativ niederohmigen Verlustwiderstandes können bei hochohmigen Gitarren (gerade noch) hörbar werden. Dieses 'Vintage'-Kabel ist aber untypisch für eine moderne Produktion.

Neben diesen elementaren elektrischen Parametern sind noch weitere Eigenschaften von Bedeutung: Abschirmwirkung, mechanische Widerstandsfähigkeit, Flexibilität, Bruchsicherheit, Biegefestigkeit und **Geräuscharm**. Es überrascht vielleicht, dass ein Kabel Geräusche erzeugen kann. Aber Verbiegen und Dehnen ändert die mechanischen Spannungen im Isolator, was zu Ladungsverschiebungen führen kann, die sich als Knistergeräusche äußern (triboelektrischer Effekt). Bei guten Kabeln sind diese Effekte allerdings unhörbar.

Der Klang einer Elektrogitarre kann sich hörbar ändern, wenn das **Kabel ausgetauscht** wird. Falls es sich nicht gerade um sehr minderwertige Kabel handelt, liegt die Ursache **alleine** bei der unterschiedlichen Kabelkapazität. Relaxationserscheinungen (Orientierungspolarisation, Trägheit bei Dipoldrehungen im Bereich  $f > 1$  GHz), dispersive Signalausbreitung oder nicht-lineare Effekte sind im Hörfrequenzbereich unbedeutend. Für Esoterik ist die Physik nicht zuständig – auch nicht die Psychoakustik.

Alte **Spiralkabel** konnten oft bis auf 5m ausgezogen werden; die tatsächliche Kabellänge war bei diesen Kabeln dann noch länger: Ca. 8m dürften nicht untypisch sein. Dabei können sich Kapazitäten um 2,1nF und Verlustwiderstände um 250 k $\Omega$  ergeben. Wer speziell diese alten 'Vintage'-Eigenschaften reproduzieren möchte, aber das Verlegen von 21m neuen Kabels scheut ( $21 \cdot 100$  pF = 2,1 nF), muss parallel zum Kabel einen Zusatzkondensator anlöten. Die Wirkung des Kabel-Verlustwiderstandes kann durch Zurückdrehen des Tone-Potis näherungsweise nachgebildet werden. Die abschließende Beurteilung sollte im **Hörversuch** erfolgen. Um Befangenheiten bei der Beurteilung auszuschließen, empfiehlt sich ein Blindversuch mit direktem A/B-Vergleich.

Eine sehr flexible Lösung erhält man, wenn zu einem kurzen, kapazitätsarmen Kabel über einen **Stufenschalter** wählbare Kondensatoren zugeschaltet werden; die Resonanzfrequenz wird damit einstellbar. Das Zuschalten eines Kondensators ist vor allem dann unerlässlich, wenn ein üblicher Magnettonabnehmer *ohne* langes Kabel an einen (z.B. in die Gitarre eingebauten) Verstärker angeschlossen werden soll. Die Resonanzfrequenz des Tonabnehmers liegt ohne Belastung durch die Kabelkapazität zu hoch, der Klang ist 'gläsern' oder 'spitz'. Wenn nicht gerade dieser Klang gewünscht ist, muss als Ersatz für das Kabel parallel zum Tonabnehmer ein Kondensator (ca. 300 – 1000 pF) geschaltet werden.



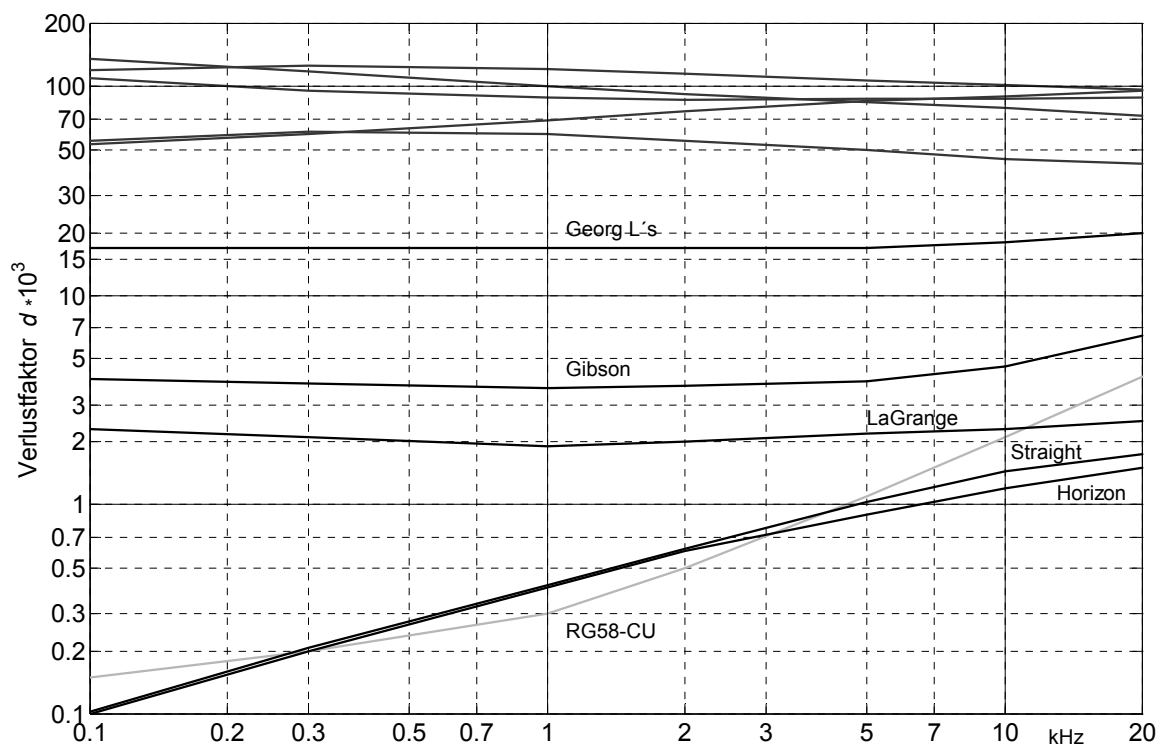
**Abb. 9.15:** Tiefpassübertragung bei unterschiedlichen Kabelkapazitäten: 1200pF, 600pF, 300pF, 0pF. Die dick gezeichneten Kurven zeigen verlustfreie Kabel, die dünne Kurve gehört zu  $R = 500$  k $\Omega$  Verlustwiderstand. Bei hochwertigen Kabeln aus moderner Fertigung ist der im Resonanzbereich wirkende Verlustwiderstand mit  $R > 50$  M $\Omega$  sicher vernachlässigbar.

In **Abb. 9.15** ist der Einfluss der Kabelkapazität auf die  $H_{UV}$ -Übertragungsfunktion (Tiefpassmodell) dargestellt. Eine Verlängerung des Kabels bewirkt eine zur Kabellänge proportionale Kapazitätsvergrößerung, wodurch die Resonanzfrequenz sinkt; die Resonanzüberhöhung wird gleichzeitig vergrößert. Die Darstellung soll die prinzipiellen Wirkungen verdeutlichen; ergänzende Daten finden sich bei den einzelnen Tonabnehmern.

In **Abb. 9.16** sind die Verlustfaktoren einiger Gitarrenkabel dargestellt. Die oberen 5 Kurven wurden an Kabeln aus alter Produktion und an modernen Mikrofonkabeln (!) gemessen, sie können u.U. eine hörbare Resonanzbedämpfung hervorrufen. Die Kabel von Horizon, Straight Klotz LaGrange und Gibson führen mit Sicherheit zu keiner hörbaren Resonanzbedämpfung, ebenso wie das in der Messtechnik verwendete RG58-CU (das aber als Gitarrenkabel zu unflexibel wäre). Das relativ dünne George-L's-Kabel kann als Grenzfall aufgefasst werden: Größer als 2% sollte der Verlustfaktor im Resonanzbereich (2 – 5 kHz) nicht sein.

**Mikrofonkabel** sind nicht generell als Gitarrenkabel geeignet; sie werden üblicherweise als Zweidrahtleitung für einen Differenzverstärker-Eingang optimiert, wobei Kapazitätsarmut nicht an erster Stelle steht: Bei den Übersichtsmessungen fanden sich Mikrofonkabel mit stattlichen 250 pF/m und Verlustfaktoren um 10%. Beim Betrieb an einem dynamischen 200- $\Omega$ -Mikrofon lässt sich hiermit immer noch eine sehr gute 10-m-Leitung einrichten, an einer hochohmigen Gitarre sollte ein derartiges Kabel aber nicht verwendet werden. Das heißt nun aber nicht, dass Mikrofonkabel grundsätzlich ungeeignet sind: Es gibt auch sehr gute Mikrofonkabel, und deshalb empfiehlt es sich, im Einzelfall die Eignung zu überprüfen.

Dass **Lautsprecherkabel** als Gitarrenkabel ungeeignet sind, dürfte allgemein bekannt sein: In aller Regel sind Lautsprecherkabel aus dicken Litzen aufgebaut, und nicht abgeschirmt. Wenn schon der Tonabnehmer Störungen auffängt, sollte wenigstens das Kabel ruhig sein.



**Abb. 9.16:** Verlustfaktoren von Gitarrenkabeln. Die Stichprobe zeigt nur einige Beispiele, daneben gibt es noch eine Vielzahl weiterer Hersteller.

Dass in **Werbeanzeigen** gelegentlich unfassbarer Unsinn zu finden ist, verwundet nicht, ja – gehört fast schon zum spezifischen Charme dieses Genres. Demgegenüber haben redaktionelle **Testberichte**, die regelmäßig in Musikerzeitschriften erscheinen, einen hohen Stellenwert, wähnt man doch einen fachkundigen und unabhängigen Autor als Verursacher. Hierzu ein Beispiel aus der Zeitschrift Gitarre & Bass: In Heft 4/2000 äußert sich Dirk Groll noch relativ vorsichtig zum Thema Instrumentenkabel: *"Das Monster-Cable Performer 500 Rock soll sich laut Hersteller durch einen aggressiven Klangcharakter auszeichnen, während das Bass Instrument Cable (Performer 500 Bass) als besondere Stärke eine im Tieftonbereich und in der Dynamik erweiterte Wiedergabe leisten soll"*. Soll! Das lässt Raum für Interpretationen, die wir aus der Tourismusbranche gelernt haben: *"Das Hotel soll trotz seiner unmittelbaren Flughafennähe relative ruhig sein"*. Wer trotzdem hinfliegt, ist selber Schuld. Ein Heft später, (G&B 5/2000) derselbe Dirk Groll: *"Während die Kabel für Bass und Rock sich durch besondere Betonung der Eckfrequenzen (Bass) bzw. aggressiver Präsenzen auszeichnen, gibt sich die Sorte Performer 500 Jazz hörbar prägnanter in den tieferen Mitten-Frequenzen und präsentiert den charakterprägenden Timbre-Bereich betont ausführlich, dabei angenehm warm und rund. ... Verglichen mit den anderen Monster Cables wirkt das Studio Pro 1000 einen Hauch leiser, was auf die besonders ausgeglichene Übertragung ohne irgendwelche Betonung oder Auffälligkeiten zurückgeführt werden kann"*.

Aus ist's mit der diplomatischen Zurückhaltung, hier steht die Meinung des Testers. Die der natürlich haben und veröffentlichen darf. Aber sich dann auch fragen lassen muss, ob er überhaupt eine Ahnung von der elektrischen Funktion eines Kabels hat. "Ohne irgendwelche Betonung"? Heißt das, dieses Kabel hat keine Kapazität? Das geht wohl nicht, und wäre auch nicht wünschenswert. Wie groß ist überhaupt die Kapazität dieser Wunderkabel? Die könnte man doch leicht und preiswert messen und veröffentlichen – hiervon hätte der Leser mehr als von Spekulationen über Eckfrequenzen. Nicht verschwiegen wird hingegen der Preis dieser Wunder (damals noch in DM):

Performer 500 Monster Bass Gitarrenkabel 6,4m: Ca. DM 130.-,

Performer 500 Monster Rock Gitarrenkabel 6,4m: Ca. DM 130.-,

Performer 500 Monster Jazz Gitarrenkabel 6,4m: Ca. DM 160.-,

Studio Pro 1000 6,4 m: Ca. DM 350.- Kein Druckfehler: **Dreihundertfünfzig Mark!**

Dass ein Jazz-Kabel mehr kosten muss als ein Rock-Kabel, versteht sich eigentlich von selbst. Wenn nicht, wäre der Marketingleiter fristlos an die Luft zu setzen. Auch die Relation (ca. ein Viertel teurer) geht in Ordnung. Nicht wahr, liebe Jazz-Gitarristen, ihr seht das doch genauso? Aber die absolute Höhe dieser Preise?? Zur selben Zeit kostete das sehr hochwertige Klotz LaGrange 59.- DM. Ebenfalls 6,4m, 67 pF/m, zweimal Neutrik-Stecker. Und das wird doch nicht ohne Gewinn verkauft worden sein?

Es mag ja sein, dass die spezielle Kapazität des Monsterkabels beim Test einen speziellen Sound erzeugte, der zur o.a. Beschreibung führte. Natürlich unterstellt niemand, der Tester hätte lediglich die Werbetexte des Herstellers abgeschrieben, und dann seinen Namen darunter gesetzt. Diese kapazitive Last ließe sich aber billiger erzeugen: Für 350 DM konnte man damals 1000 Kondensatoren und ebenso viele Widerstände kaufen – das hätte für sehr viele Ersatzschaltungen gereicht. Und auch noch für ein Low-Cap-Cable mit 2 Neutriks.

Wie sagte hierzu der Tester einer anderen Zeitschrift: *"Den von der Industrie vielfach propagierten Eigenklang von Kabeln halte ich für ausgemachten Blödsinn."* Uli Eisner, Studio-betreiber und Autor beim Sound-Check-Magazin.