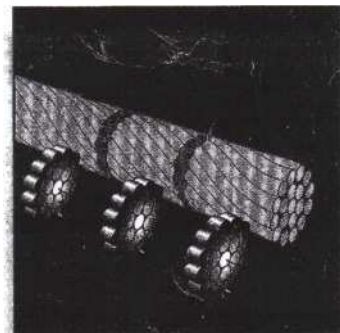
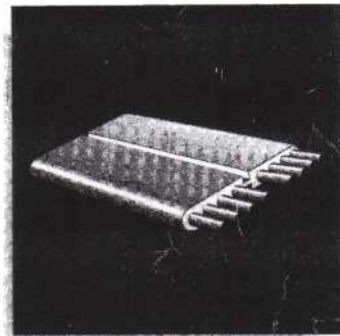




# HiFi und Video Kabel

Theorie  
und  
empirische Wirklichkeit



## Die folgenden Betrachtungen

... sind das Resultat vieler Jahre praktischer Hörerfahrung, es sind keinesfalls abstrakte Forschungsergebnisse eines weltfremden „Elfenbeinturms“. Bei der Entwicklung von Audio-Produkten braucht man eine gewisse Offenheit in der Anwendung von wissenschaftlichen Erkenntnissen, von Messdaten und empirischen Erfahrungen. Unglücklicherweise ist die HiFi-Gemeinde weitgehend gespalten in diejenigen, die nur an Messergebnisse glauben und in diejenigen, die eine begrenzte Anzahl HiFi-Produkte hören und dann ihre persönliche Theorie aufgrund dieser begrenzten Erfahrung entwickeln. Beiderlei Begrenztheit führt leider oft dazu, dass die eine Partei die andere in Ihrer Überzeugung lächerlich zu machen versucht. Die interessantesten Audio-Designs kommen aber stets von denen, die klug genug sind, alles erfassbare Wissen zusammenzutragen, von empirischen Ergebnissen über Messdaten bis hin zu Hörergebnissen.

## Ein Draht als Verbindung zweier Punkte

Oberflächlich betrachtet könnte nichts einfacher sein, als mittels eines elektrisch leitenden Drahtes ein Audio-Signal von einem Punkt zu einem anderen Punkt zu befördern - ohne Verstärkung und ohne Umwandlung von mechanischer in elektrische Energie (und umgekehrt). In Wirklichkeit aber ist jede Stufe eines Musik-Wiedergabe-Systems mit einer schwierigen Aufgabe betraut, indem es ein komplexes, breitbandiges Signal transportiert und transformiert, ohne irgendeine der in diesem Signal vorhandenen Informationen zu ändern.

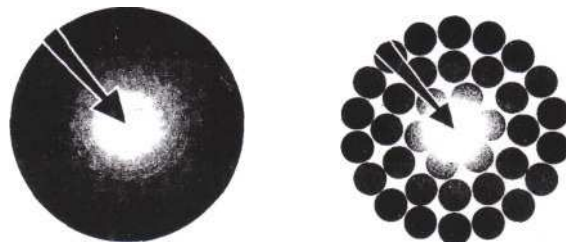
## Minimale Änderungen

So sehr wir es auch lieben, die Eigenschaften verschiedener Audioprodukte dahingehend zu beschreiben, dass sie den Klang des gesamten Systems verbessern, ist es doch vernünftiger, sich vor Augen zu halten, dass es keine „perfekten“ Komponenten gibt, lediglich solche, die „weniger Klangeinflüsse“ produzieren. Die feinsten Komponenten der Wiedergabe-Kette sind jene, welche die geringsten Änderungen am Audio-Signal hervorrufen, und Kabel sollten nach ihrer Neutralität und nicht nach ihren Klangfärbungen ausgesucht werden.

## Lautsprecherkabel-Design

Während es für die Beschreibung von Verzerrungen, die das Kabel dem Audio-Signal hinzufügt, einige komplizierte physikalische Begründungen gibt, sind die grundsätzlichen Mechanismen, die für den Klangunterschied zwischen Kabeln verantwortlich zeichnen, leicht zu beschreiben. Durch Verstehen des Nachfolgenden und durch Hörvergleiche zwischen verschiedenen Kabeln können Sie leicht die Fähigkeit erlernen, ein Kabeldesign richtig zu beurteilen, und Sie können vorher-sagen, ob es sich lohnt, sich mit einem bestimmten Kabel näher zu befassen. Verschließen Sie sich nicht vor neuen Möglichkeiten, und erlernen Sie einen wohlbegründeten Skeptizismus.

Der **Skin-Effekt** ist eines der bedeutendsten Probleme bei Kabeln. Dieser vielfach falsch gebrauchte Begriff bezieht sich auf ein tatsächlich auftretendes Phänomen. Oft wird geglaubt, dass sich der Skin-Effekt auf einen Leistungsverlust bezieht, und da der 3-dB-Punkt (Leistungshalbierung) für ein Kabel typischerweise bei 50 kHz liegt, fehlt das Verständnis dafür, dass sich der Skin-Effekt bereits im hörbaren Bereich (20-20,000 Hz) auswirkt. Tatsächlich ist es aber so, dass der Skin-Effekt, lange bevor er zu einem Leistungsverlust führt, bereits Änderungen bei den Werten für Widerstand und Induktivität verursacht hat. Diese Änderungen führen dazu, dass verschiedene Frequenzen auf verschiedene Widerstände treffen, die wiederum - je nach Entfernung von der Oberfläche - des Leitermaterials verschieden groß ausfallen. Wenn ein einzelner Leiter einen zu großen Querschnitt besitzt, wird der Skin-Effekt dazu führen, dass verschiedene Spektralanteile des Audio-Signals sich auch unterschiedlich verhalten



Bei jeder beliebigen Frequenz werden unterschiedliche Anteile des fließenden Stroms auf unterschiedliche elektrische Kabelparameter treffen. Im Ergebnis führt das dazu, dass besonders die kritischen höher frequenten Signalanteile verschmiert klingen. Das Ohr vermisst die Details, bemängelt den dumpfen Klang, vermisst die Offenheit, und die „Bühne“ klingt flach. Die Signalenergie ist nach wie vor vorhanden, der Frequenzgang

wurde nicht verändert, aber der Informationsgehalt des Signals wurde auf eine Weise beeinflusst, dass man glaubt, der Mittelton-Bereich habe die Oberwellen verloren. Es gibt eine Standardformel, mit der sich ein Stromabfall von  $1/e$  (=63%) über dem Querschnitt eines Kupferleiters ausrechnen lässt.

Sie lautet  $l/e = 0,0661 \cdot J\text{Frequenz (m)}$ . Daraus errechnete sich z.B. bei einer Frequenz von 20.000 Hz eine Stromreduzierung von 63% bei einer Eindringtiefe von 0.467 mm und eine Auslöschung bei 0.934 mm (18 AWG). Allerdings beschreibt diese Formel nicht, bei welcher Frequenz der Skin-Effekt hörbar wird. Sorgfältige Versuche ergeben, dass hörbare Störungen bereits bei einer geringeren Eindringtiefe auftreten. Es ist somit falsch anzunehmen, dass ein Verlust von 63% eine akzeptable Größenordnung darstellt. Es gibt eine Lösung für die Problematik des Skin-Effekts: die Verwendung eines Leiters nämlich, dessen Querschnitt gerade so knapp bemessen ist, dass die Stromreduzierung zur Mitte des Leiters hin sich gar nicht auswirken kann. Ein Querschnitt von 0.8 qmm ist etwa der größte Durchmesser, bei dem Skin-Effekt Anomalien nicht hörbar werden. Wesentlich dünnere Leiter bedeuten keine weitere Verbesserung, die nachfolgend aufgeführte Problematik käme aber voll zum Tragen,

## Die Überbewertung des Leitungswiderstandes und andere Merkwürdigkeiten

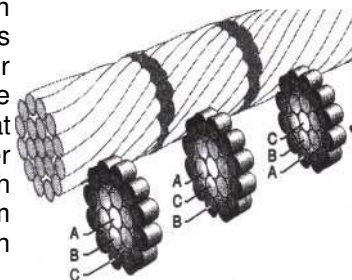
Ein Lautsprecherkabel, das aus einem 0.8 qmm starken Kupferdraht besteht, besitzt einen zu großen Innenwiderstand, wie ja allgemein bekannt ist. Manche Lautsprecher brauchen eine „sehr direkte“ Verbindung zum Verstärker, und wenn die Kabelverbindung zu hochohmig ist, wird der Klang des Lautsprechers deutlich verändert. Dieser Effekt kommt nicht nur dadurch zustande, dass das Kabel selbst Verzerrungen verursacht, vielmehr addieren sich die hochohmigen Komponenten des Kabel-Ersatzschaltbildes zu denen des Lautsprechersystems. Es gibt also gute Gründe dafür, dass der Kabelquerschnitt 0.8 qmm (18 AWG) oder größer - und somit niederohmiger - ist. Wenn wir allerdings als Auswirkung des geringen Kabelquerschnitts lediglich den Leistungsverlust in Betracht ziehen, käme umgekehrt die Vergrößerung des Querschnitts einer Pegelanhebung um den Bruchteil eines dB gleich, was noch nicht einmal hörbar wäre. Was das Musiksinal aber am Ende des Kabels so dumpf und leblos macht, sind Pha-

senstörungen im Oberwellenbereich. Das Resultat: Dynamische Kontraste fehlen, die Schönheit der Harmonie ist verloren, Subtilität und Leben vermisst man vollkommen. Das Ohr kann die Oberwellen eines Signals nicht korrekt erkennen, wenn sie nicht vollkommen in Phase sind mit ihrer Grundwelle. Wenn Hörer den Klang eines Systems manchmal als „hell“ bezeichnen, so liegt das nur selten daran, dass der Amplitudenfrequenzgang inkorrekt ist. Es liegt fast immer daran, dass ein irritierender Störungstyp im oberen Drittel des hörbaren Frequenzbereichs auftritt und die Aufmerksamkeit des Ohres auf diesen Teil des Spektrums lenkt.

Allgemein ausgedrückt ist es falsch, ein HiFi-System nur von seinen technischen Daten her zu beurteilen, man muss es hören. In Bezug auf Kabel ist es keineswegs so, dass ein dickes Kabel auch ein gutes Kabel ist. Es ist immer wieder ein Erlebnis, wie ein vergleichsweise geringer Kabelaufwand ein Audio-System vollkommen verändert,

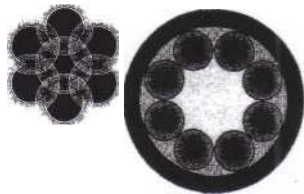
## Nicht mehr Probleme verursachen, als wir lösen können

Da ein einzelner 0.8 qmm starker Leiter als Lautsprecherkabel also nicht ausreicht, besteht die Aufgabe darin, einen größeren elektrischen Querschnitt zu erzeugen, ohne sich dabei neue Probleme einzuhandeln. Wenn wir ein Bündel dünner Leiter nehmen und mehrere Bündel in einem Strang vereinen, wird der gesamte Kabelstrang den Gesetzen des Skin-Effektes unterworfen sein, d.h. auf der Oberfläche fließen hochfrequente Ströme sehr gut, während mit zunehmender Eindringtiefe nur noch niederfrequente Ströme fließen. Das Resultat dieser Phasenverschiebungen haben wir oben behandelt. Leider ist es darüber hinaus auch so, dass die einzelnen Litzen und Stränge in einem Kabelbündel nicht immer gleich geordnet verlaufen. Zu Beginn des Kabels sind die Leiter über den Querschnitt anders verteilt als in der Mitte oder am Ende des Kabels. Das hat zur Folge, dass der Strom tausendfach „springen“ muss, um mit seinen hochfrequenten Anteilen wieder an der Oberfläche zu fließen. Nun sind aber benachbarte Litzen keineswegs perfekt leitend nebeneinander angeordnet: Anpressdruck und Oxidation fügen komplizierte elektrische Ersatzschaltbil-



der ein, deren filternde Wirkung von großem Einfluss auf den Klang ist. Umweltprozesse (besonders bei Auto-HiFi) führen außerdem zu einem ausgeprägten Alterungsprozess, so dass sich die akustischen Eigenschaften im Laufe der Zeit noch verschlechtern.

**Magnetische Induktion** ist ein anderes ernstes Problem bei Kabeln. Jeder stromdurchflossene Leiter ist bekanntlich von einem Magnetfeld umgeben. Bei benachbarten Leitern agieren diese Felder dynamisch untereinander in einer Weise, dass - auf der Molekularebene - die einzelnen Leiter von benachbarten Feldern „moduliert“ werden. Dabei sind die stärksten Felder den tiefen Frequenzen zugeordnet, da diese mit einer größeren elektrischen Energie transportiert werden. Diese Felder modulieren die anderen Leiter, und diese modulieren insbesondere die hochfrequenten Signalanteile. Dadurch ändert sich auch der mechanische Andruck benachbarter Leiter, und der überspringende Strom in einem Leiterbündel wird ebenfalls moduliert. Audioquest-Kabel verwenden eine als **Hyperlitz** bezeichnete Anordnung der Leiter, die gegenseitige magnetische Induktion auf ein fast bedeutungsloses Minimum reduziert. Inzwischen ist sicherlich auch



klar geworden, weshalb die meisten Audioquest-Kabel aus „starrten“ Leitern bestehen und keine Litzen-Bündel enthalten. Der starre Leiter kennt nicht die Probleme der mechanischen Modulation.

Magnetische Induktion ist übrigens der Hauptgrund dafür, dass das als „Biwiring“ bezeichnete getrennte Versorgen von Tief- und Hochtönern eines Lautsprechers sich so positiv auf den Gesamtklang auswirkt. Bei solchen Lautsprechern, die von einem einzigen Verstärker gespeist werden, aber über Biwiring ihr Signal erhalten, bekommt der Hochtöner seine Energie über einen Leiter, der keinerlei Modulation durch Basssignale mehr erfahren hat.

Die **Materialqualität** beeinflusst ebenso dramatisch den Klang eines Kabels. **Betrachtet man die elektrische Leitfähigkeit von Kabeln, so bieten Kupfer und Silber exzellente Eigenschaften, wobei reines Silber dem reinen Kupfer überlegen ist - leider aber auch im Preis!** Versilbertes Kupfer funktioniert sehr gut im Digital- oder Videobereich, im Audiobe-

reich allerdings haben wir wieder die oben beschriebenen Probleme, die aus der unterschiedlichen Leitfähigkeit resultieren. Das preiswerte Kupfer ist in vielen unterschiedlichen Qualitäten erhältlich, von „**reinem**“ Kupfer spricht man, wenn in **1 Meter** eines Kupferleiters **ca. 4.500 Kupferkristalle** enthalten sind. Der Strom muss dabei jeweils **die Grenzen dieser Kristalle überschreiten, wobei Verzerrungen entstehen**, die denen gleichen, die beim Springen des Stromes in gebündelten Litzen entstehen. Die erste Qualitätsstufe über dem hier beschriebenen Kupfer ist sauerstofffreies hochleitendes Kupfer (**OFHC**). Die Art, wie diese Leiter gezogen werden, reduziert die Sauerstoffanteile auf **ca. 40 ppm** im Vergleich zu **ca. 235 ppm** bei normalem Kupfer), Der geringere Sauerstoffanteil **reduziert die Oxydation zwischen den Kupferkristallen beträchtlich** und vermindert die auftretenden Störungen. Zusätzlich gelingt es bei diesem Kupfer, die Anzahl der Kristalle zu vierteln, was wiederum die Störungen reduziert. Der Klang eines OFHC Kupferkabels ist weicher, sauberer und dynamischer als das gleiche Kabeldesign mit hochreinem Standardkupfer. Der nächsthöhere Reinheitsgrad eines Kupferkabels ist **LGC oder lang-kristallines Kupfer**. Diese Leiter werden mit größter Sorgfalt in einem Prozess gezogen, der **max. 200 Kristalle pro Meter** zulässt, Kabel, die LGC enthalten, haben einen klar hörbaren Vorteil gegenüber OFHC-Kabel im gleichen Design. Nochmals verbessert ist FPC Kupfer, das in einem aufwendigen Sinterprozess als **ca. 200 m langer Monokristall** gezogen wird (**die Kristalllänge in einem MC-Tonabnehmersystem beträgt bis zu 1.500 m**). Die Vorteile sind akustisch leicht auszumachen.

FPC könnte somit das Maß aller Dinge sein, aber neuerdings gelangt ein neuer Reinheitsgrad an Kupfer auf den Markt, es heißt **FPC-6** und hat lediglich 1% der Unreinheiten von FPC. Diese Unreinheiten in hochreinen (99.997%) Kupfer sind Silber, Eisen und Schwefel mit einigen Anteilen von Antimon, Aluminium und Arsen, FPC-6 hat einen Reinheitsgrad von 99.99997% Kupfer mit lediglich **19 ppm Sauerstoff**, 0.25 ppm Silber und weniger als 0.05 ppm von anderen Unreinheiten. **Diese Verbesserung wirkt sich dramatisch aus - und das Ohr ist das ausschließliche Messinstrument für die Grenzen solch chemischer Höchstleistungen.** Wenn Kupfer erst einmal einen solchen Gütegrad erreicht hat, ist eine weitere klangliche Verbesserung nur noch durch den Einsatz von langkristallinem, hochreinem Silber möglich. Es ist sehr teuer, aber die resultierende Transparenz, Delikatesse und Klangtreue sind unvergleichlich,

## Die Bedeutung der gesamten Lautsprecherkabel-Geometrie

Wir haben bisher die Problematik des einzelnen Leiters betrachtet. Die Anordnung einer Vielzahl von Leitern ist aber ebenfalls von Bedeutung. Wenn diese Nachbarschaft nicht - im mechanischen Sinne - gleichmäßig verläuft dann verhalten sich die elektrischen Eigenschaften des Kabels ebenso ungleichmäßig mit dem Ergebnis, dass das Signal gestört wird. Die Anordnung der Leiter kann parallel oder spiralförmig gedreht sein, wobei jede dieser Anordnungen ihre bestimmten Qualitäten hat; Parallele Konstruktionen sind gut aber teuer! Spiralen haben ein besonders gutes HF-Unterdrückungs-Vermögen und haben ein günstiges Verhältnis zwischen Induktivität und Kapazität. Ein Kabel kann zwei oder mehrere Leiter haben. Die Anordnung dieser Leiter bestimmt deren magnetisches Verhalten untereinander in Verbindung mit Kabelkapazität und Kabelinduktivität, **Manche Leute glauben, dass Kapazität und Induktivität die einzigen wichtigen Kenngrößen beim Kabeldesign sind. Dem ist natürlich nicht so!** Dennoch bestimmt das Filternetzwerk, das aus diesen passiven Werten zusammengesetzt ist, den Frequenzgang und - was viel schlimmer ist - den Phasengang des Kabels. Obwohl Induktivität und Kapazität keineswegs magische Kenngrößen des Kabels sind, achtet man bei der Entwicklung doch sehr darauf, dass beide Werte so klein wie möglich sind. Es gibt eine Theorie im Bereich des Kabeldesigns, die aussagt, dass die Impedanz des Kabels der Impedanz des Lautsprechers angepasst werden soll. Das gelingt **nicht!** Obgleich die Impedanz-Anpassung ein gültiges Konzept ist, wie die Vorlesung „Leitungstheorie“ jedem Ingenieurstudenten quälend deutlich gemacht hat, besteht doch die korrekte Anpassung darin, dass sämtliche Impedanzen (also Wirk- und Blindwiderstände) des Übertragungswegs angepasst werden. Verstärker haben keinen Ausgangswiderstand in der Größenordnung des Eingangswiderstandes eines Lautsprechers (tatsächlich versucht der Verstärker-Entwickler genau das Gegenteil zu erreichen), und Lautsprecher haben alle eine vollkommen unterschiedliche Eingangsimpedanz, die sich zudem noch über der Frequenz ändert.

### Weitere Probleme

Einige der ersten High-End-Lautsprecherkabel hatten eine Impedanz von 8 Ohm. Diese hochkapazitiven Kabel klangen gut oder

schlecht, je nachdem wie gut oder schlecht sie der gesamten Kette angepasst waren -wie eben ausgeführt. **Viele dieser Kabel hielt man jedoch für besonders hell klingend und irritierend. Es war aber nicht das Kabel, sondern der Verstärker, der durch diese schwierige Last an die Grenze des Schwingens gebracht wurde und vollkommen seinen Klang änderte.**

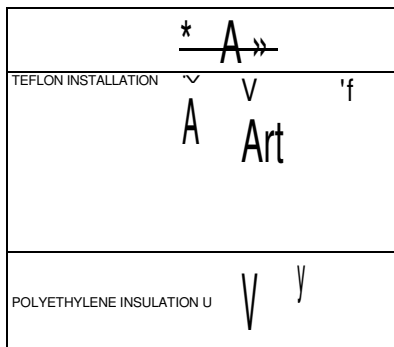
Hier ein Beispiel, was dieses Kapazitätsproblem noch heute in den Köpfen einiger „Gläubiger“ anrichtet: Viele der ersten hochkapazitiven Kabel hatten eine Litzenkonstruktion. Der Begriff Litze beschreibt normalerweise eine Anordnung von individuell isolierten (oder nicht isolierten) Leitern. Eine solche Litze kann jede beliebige elektrische Eigenschaft aufweisen, insbesondere einen hohen oder niedrigen Wert für die Kapazität. Nun gibt es tatsächlich noch Puristen, die der Ansicht sind, Litze klinge „rauh“. Diese Logik ist aber falsch, denn in Wirklichkeit klang der Verstärker so, wenn er mit bestimmten Litzen-Designs belastet wurde, im Grunde genommen ist das so, als würde man mit dem Auto zu schnell fahren, aus der Kurve fliegen und den Unfall der Farbe des Autos anlasten. Ähnliches haben wir bei dem Begriff „OFC“ erlebt. Einige dieser Kabel waren höchst mittelmäßig. Da sie aber auf den Markt gebracht wurden unter der Prämisse „OFC ist gut“, haben viele geglaubt, das Einzige, was ein Kabel zum Klangerfolg bringt, ist der geringe Sauerstoffgehalt. **Leider ist es nicht so, man sollte tatsächlich besser lernen, seinen Ohren zu vertrauen...**

### Interconnect-Design

Wenn Sie nicht den ersten Teil dieser Studie gelesen haben, dann sollten Sie das jetzt nachholen. Viele der beschriebenen Probleme existieren in Applikationen von sowohl niedrigen als auch hohen Spannungspegeln. Jedoch unterscheidet sich die Bewertung der Probleme ein wenig, in Niederspannungs-Kabeln gibt es weiterhin den Skin-Effekt, elektrische Induktion, magnetische Induktion und Materialprobleme. Der Effekt der mechanischen Modulation ist aber - proportional der geringen fließenden Energie - bedeutend reduziert. Dagegen ist jedoch das elektrische Verhalten des **Dielektrikums** (Isolierung) von weitaus größerer Bedeutung. Das dielektrische Verhalten bestimmt, wie gut oder schlecht ein bestimmtes Material elektrische Energie absorbiert oder durchlässt, und dies hat einen großen Effekt auf die Musik. Der technische Begriff „Dielektrizitätskonstante“ beschreibt leider nicht hinreichend genau reproduzierbar, was die Auswirkung auf

das Musiksinal eigentlich ausmacht. Überlegungen zu Ausbreitungsgeschwindigkeit und Dämpfungsverhalten sind da etwas hilfreicher. Das Problem des unterschiedlichen Dielektrikums besteht eigentlich darin, dass die Isolierung nächst dem Leiter wie ein Kondensator wirkt. Darin speichert diese Isolierung Energie, um sie dann wenig später wieder abzugeben. Der ideale Leiter hat daher keine andere Isolierung als ein ihn umgebendes Vakuum. Wenn aber ein festes Material zur Isolierung verwendet werden muss, soll es elektrisch "unsichtbar" sein. Je weniger Energie es aufnimmt, um so besser. Die Energie, die absorbiert wird, sollte auch absorbiert bleiben (also z.B. in Wärme umgewandelt werden), und die Energie, die wieder reflektiert wird, sollte mit so wenig Phasenverschiebung wie möglich reflektiert werden - und zwar über dem gesamten Frequenzbereich.

Die gebräuchlichsten Isolierungen sind PVC, Polyäthylen, Polypropylen und Teflon. Diese können mit Luft aufgeschäumt oder auf eine Weise am Leiter angebracht werden, die eine maximale Luftmenge mit einschließt. Sowohl das Material als auch seine Anwendung bestimmen auf dramatische Weise die Leistungsfähigkeit eines Gerätekabels. PVC



ist das einfachste Isolationsmaterial, da es am meisten absorbiert. Polyäthylen, das am häufigsten gebrauchte Material, absorbiert weniger Energie und verursacht weniger Störungen. Polypropylen ist elektrisch „härter“ und hat ein besseres akustisches Verhalten, Teflon ist das beste erhältliche Standardmaterial.

Die Kabeikapazität ist als Kenngröße wichtiger für Interconnect- als für Lautsprecherkabel. Dafür gibt es zwei Gründe: Wenn ein langes, hochkapazitives Interconnect-Kabel benutzt wird, sind viele Vorverstärker nicht mehr in der Lage, das Kabel mit Energie zu versorgen. Die resultierenden Störungen entstehen nicht im Kabel, sondern werden durch den Gebrauch dieses Kabels verursacht.

Der andere Grund für die Bevorzugung eines Kabels mit niedriger Kapazität ist der, dass eine große Kabelkapazität ein elektrisches Feld zwischen dem positiven und dem nega-

tiven Leiter aufbaut, was bedeutet, dass mehr Energie in das dielektrische Material fließt.

## Wichtige Fakten über Kabel

**Faktum: Wie alle Audio-Komponenten benötigen auch Kabel eine „Einarbeitungszeit“. Kabel werden ihre klanglichen Eigenschaften verbessern, nachdem sie ca. zwei Wochen in Betrieb gewesen sind. Nach etwa dieser Zeit stabilisiert sich das elektrische Verhalten der Dielektrika, ein Effekt, der bei den elektrischen Komponenten der Anlage ebenso auftritt.**

**Faktum: Alle Kabel sind richtungsabhängig im Gebrauch.** Das gilt vom einfachsten Kupferkabel aus dem Baumarkt bis zum teuersten Silberleiter, Normalerweise sind Kabel so markiert, dass man sie in der optimalen Stromflussrichtung einsetzen kann. Sollte das nicht der Fall sein, hilft nur eins: Probehören! Der Unterschied wird klar in Erscheinung treten. In einer bestimmten Richtung eingesetzt klingt das Kabel entspannter, angenehmer und glaubwürdiger. Bis ins Letzte ist dieses Phänomen noch nicht geklärt. Soviel weiß man aber jetzt schon, dass nämlich beim Ziehen eines Drahtes die Kristallstruktur unsymmetrisch wird und dadurch zu einem unterschiedlichen, richtungsabhängigen elektrischen Verhalten führt.

**Faktum: Viele der besseren Lautsprecher können per „Biwiring“ betrieben werden. Ein dafür geeigneter Lautsprecher hat getrennte Eingänge für Tieftöner und Mittel-/Hochtöner. Biwiring setzt man ein, damit die durch das Teflon-Signal im Kabel verursachten Störungen stark verringert werden. In einem Biwire-Betrieb trägt dasjenige Kabel, das zum Hoch-töner führt, nicht mehr die Last des Magnetfeldes, das mit tiefen Frequenzen in Zusammenhang steht. Es ist wichtig, dass man den Vorteil des Biwiring ausnutzt, wenn der Lautsprecherhersteller die Möglichkeit dazu gegeben hat. Übrigens: Wenn Sie die grässlichen Jumper benutzen, die mitunter zum Biwire-Lautsprecher gehören, kann es sein, dass der Lautsprecher schlechter klingt, als wenn er nur einen Eingang hätte.**

**Faktum: Wenn Sie sich für den Biwire-Betrieb entschieden haben, müssen die verwendeten Kabel entweder gleich sein oder aber ein identisches Design aufweisen. Wenn die Kabel eine unterschiedliche Phasenverschiebung verursachen, wird die Integrität und Kohärenz der Lautsprecher verletzt.**

## Kabelverbindungen

Was wäre ein hochwertiges Lautsprecherkabel ohne die passenden Verbindungen?

Banale Frage!

Dennoch können Kabel notfalls durch stabile Klemmschrauben genügend leitfähig mit Verstärker und Lautsprecher verbunden werden. Oberhalb dieses Durchmessers muss aber etwas professioneller vorgegangen werden.

Die beste Verbindung zum Lautsprecher ist immer noch der Kabelschuh oder ein hochwertiger Crimp-Stecker.

Diese sollten unter genügend (was in diesem Falle wirklich sehr viel ist!) Druck mit dem Kabel verbunden werden, so dass eine **gasdichte Verbindung** zwischen Leiter und Anschlussmaterial entstehen kann.

***Vermeiden sollte man das Anlöten. Selbst das beste für Audio-Zwecke optimierte Lötzinn bringt so viele Verunreinigungen in den Übertragungsweg, dass der Aufwand für das Kabel in Frage gestellt wird.***

Kabelschuhe sind nicht unbedingt die schönste Lösung, dafür klingen sie aber hervorragend!

Die Oberfläche ist matt vergoldet, was ein klarer Hinweis darauf ist, dass sich keine Nickelschicht darunter befindet, die den Hochglanz des Goldes überhaupt erst ermöglicht.

Gold hat keine besonders gut klingenden Eigenschaften (und Nickel klingt grauenhaft!).

**Der einzige Vorteil von Gold ist die Korrosionsbeständigkeit!**

## Chemische Reinigung

Von Zeit zu Zeit sollten Sie alle Anschlüsse Ihrer HiFi-Kette reinigen. Auch dieser geringe Aufwand ist deutlich hörbar. Theoretisch wäre eine frisch gefeilte Oberfläche optimal sauber (und optimal