

Signalverluste durch Kabel

Wir haben schon oft geschrieben, dass minderwertige Kabel einen Einfluss auf die Übertragungsqualität eines Videosignals haben. Das tritt besonders bei großen Kabellängen auf. Es ist aber auch entscheidend, ob das Signal digital oder analog übertragen wird.

Um das elektrische Verhalten von Kabeln zu verstehen, dürfen wir uns einen kleinen Rückblick in die Schulphysik und in die Elektrotechnik erlauben. Kabel verbinden nämlich nicht nur Lautsprecher und Verstärker oder Videorekorder und AV-Receiver oder dergleichen mehr. In der Elektrotechnik fasst man Kabel als elektrische Netzwerke auf, die aus ohmschen Widerständen, Spulen (Induktivitäten) und Kondensatoren (Kapazitäten) bestehen. Das Besondere daran ist, dass sich das Verhalten dieser Netzwerke ändert, wenn frequente Signale darauf geschickt werden, denn Induktivitäten und Kapazitäten sind frequenzabhängig. Und Audio- (niedrig) wie Videosignale (hoch) sind frequent. Bereits hier lässt sich andeuten, was es ausmachen kann, was hinter einer AV-Anlage für ein heterogenes Frequenzgemisch herrschen kann, hervorgerufen durch unsachgemäße Verdrahtung, den so genannten Kabelsalat. Verschärft unkontrolliert wird es, wenn die Abschirmungen ebenfalls unsachgemäß vorgenommen werden oder schlecht abgeschirmte Kabel verwendet werden. Ein Netzwerkproblem, das elektrotechnisch kaum noch zu erfassen wäre.

■ Ohmscher Widerstand

Aus vereinfachenden Gründen vernachlässigen wir jetzt das frequenzabhängige Verhalten eines Kabels und betrachten einzig den Ohmschen Widerstand, anhand dessen wir vieles für das elektrische Verhalten des Kabels verstehen können. Der Ohmsche Widerstand ist Bestandteil des Kabelnetzwerkes, und seine Veränderung wirkt

sich auf das Kabelnetzwerk und damit auf die Qualität der Signalübertragung aus. Der Ohmsche Widerstand ist in der Physik definiert als:

$$R = 1/\sigma * l/A [\Omega]$$

R = Ohmscher Widerstand
 σ = elektrische Leitfähigkeit
l = Leitungslänge
A = Leitungsquerschnitt

Aus dieser Formel wird ersichtlich, dass der Widerstand wächst, wenn die Länge des Kabels zunimmt. Erstaunlich ist, dass der Widerstand sinkt, wenn der Querschnitt zunimmt, wo man doch annehmen könnte, das mehr Material gleichzeitig auch mehr Widerstand bedeuten müsste. Dem ist physikalisch aber nicht so und das hat mit der Stromverteilung innerhalb der Leitung zu tun. Also bedeutet es umgekehrt, dass ein dünnes Kabel den Widerstand ebenfalls erhöht und damit auch den Verlust der Leitung. Bleibt noch die spezifische Leitfähigkeit. Sie ist eine Konstante und ist von Material zu Material unterschiedlich. Silber hat beispielsweise eine höhere Leitfähigkeit als Kupfer und deshalb hat das Kabel dann auch weniger Verluste.

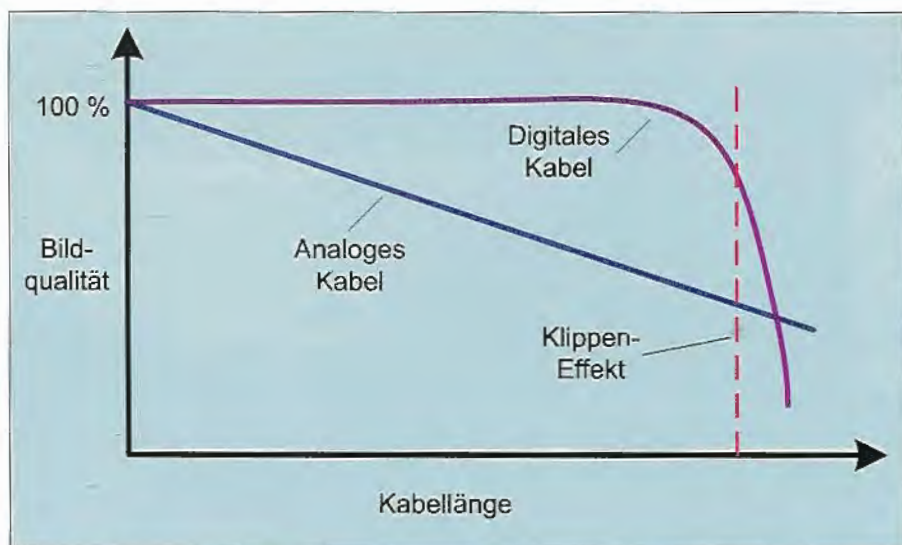
Als Ergebnis kann man vereinfacht festhalten, dass kurze dicke Silberkabel besser sind als lange dünne Kupferkabel. Das gilt, wie bereits angemerkt, bei niederfrequenten Signalen wie es beispielsweise für Lautsprecherkabel der Fall ist.

■ Analoge Signale

Besonders für analoge Signale gilt, dass sie über die Leitungslänge linear abnehmen. Berücksichtigt man noch die Frequenzabhängigkeit der Kabel, so ergeben sich drei Arten von Verlusten:

1. Amplitudenverluste.
Sie machen sich durch ein dunkleres Bild bemerkbar.
2. Hochfrequenzverluste.
Das Ergebnis ist ein weicheres Bild.
3. Niedrigfrequenzverluste.
Sie bewirken ein horizontales Verschmieren des Bildes.

Der Betrachter erkennt oft die Fehler nicht, da er sich einerseits an das dargestellte Bild gewöhnt und andererseits kaum Vergleichsmöglichkeiten hat. Eine gute Möglichkeit wäre, die eingesetzten Kabel – soweit nicht schon geschehen – durch qualitativ hochwertige zu ersetzen und sich dann das Resultat zu be-



Das Verhalten analoger und digitaler Signale über die Kabellänge (Grafik: MediaScript Verlag)

trachten. Hör- und sehbare Unterschiede ergeben sich schon beim Austausch einzelner Kabel.

Digitale Signale

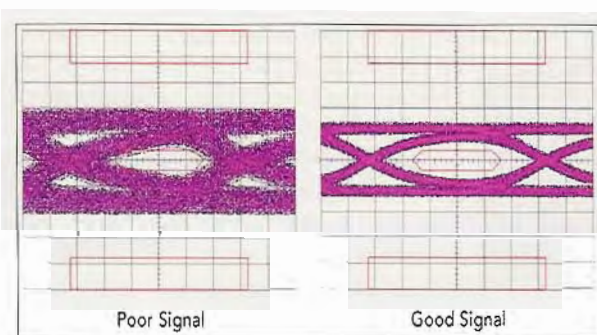
Bei digitalen Signalen verhält es sich anders. Die analogen Signale werden hier durch so genannte Analog/Digital-Wandler (A/D-Wandler) in Bitmuster umgewandelt. Diese sind verlustfreier zu übertragen, denn die Signalstruktur bleibt trotz Verlusten weitgehend erhalten. Hinzu kommt, dass die meistens in Displays eingebauten Datenkorrekturmöglichkeiten bis zu einem bestimmten Maß, dem so genannten „Klippeneffekt“ die Übertragungsfehler ausgleichen können. Erst nach der „Klippe“ fällt das Bild in sich zusammen und ist nicht mehr erkennbar.

Jetzt stellt sich die Frage, ob es sinnvoll ist, im Falle digitaler Übertragungen ebenfalls hochwertige Kabel zu verwenden. Auguren wie der Produktentwickler Xiaozheng Lu von Audioquest verweist in diesem Falle auf ein Beispiel aus der Schule. Es mag sein, dass viele Schüler eine Klassenarbeit bestehen. Aber in der Qualität der Schülerinnen und Schüler besteht schon ein Unterschied, wenn man die Arbeit mit 95 oder mit 51 von 100 möglichen Punkten besteht.

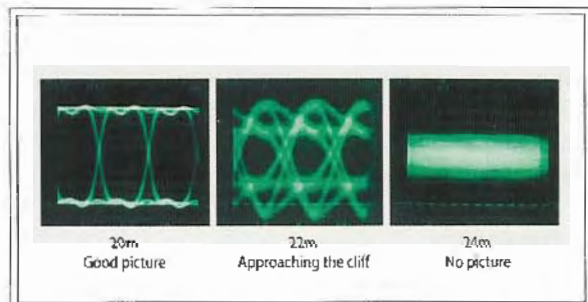
Die Tests

Am Beispiel HDMI (High Definition Multimedia Interface) sollen zwei Tests angesprochen werden, die in der Industrie Anwendung finden, um die Qualität von HDMI-Kabeln zu prüfen: der BER-Test und der Eye-Pattern-Test.

BER steht für Bit Error Rate und kennzeichnet ein äußerst genaues Verfahren, um die Anzahl der fehlerhaften Bits festzustellen. Dazu werden schlicht mit Hilfe eines Signalgenerators hohe Bitraten auf das Kabel gesendet und am Ende der Übertragung erneut gemessen und mit dem Eingangssignal verglichen. Das Resultat ergibt die echte Anzahl der fehlerhaften Bits innerhalb einer Sendeperiode. Auch hier gilt: Je höher die BER, desto schlechter das Signal.



Je schärfer das Auge, desto besser das Signal
(Grafik: Audioquest)



Mit zunehmender Leitungslänge wird das Signal schwächer, bis es die Klippe hinunterfällt und nichts mehr zu sehen ist (rechts) (Grafik: Audioquest)

Im Falle des Eye-Pattern-Tests werden die Signale auf dem Oszilloskop sichtbar gemacht. Durch eine bestimmte Überlagerung digitaler Signale ergibt sich ein Muster, das dem Aussehen eines Auges ähnlich ist. Daher stammt auch sein Name. Je schärfer und größer das Auge, desto besser ist die Signalqualität. Die Amplitude darf nicht kleiner werden als die im Bild markierte Raute, ansonsten lässt sich das Signal nicht wieder reproduzieren. Zwei Ergebnisse lassen sich aus diesem Muster ablesen. Die Höhe des Auges bestimmt die Amplitude und gibt damit Auskunft über die Stärke des Signals. Andererseits kann man mit dem Auge auch erkennen, dass die Bitmuster nicht alle gleichzeitig eintreffen, so wie sie sollten. Man nennt dies den Time-Jitter. Je größer dieser ist, desto unschärfer und breiter werden die Ränder, die Qualität des Signals sinkt.

Vereinfacht kann man sagen: Kollabiert das Signal in horizontaler oder in vertikaler Richtung verschwindet es ganz.

Die Tests geben zwei weitere Informationen: Zum einen kann man am BER-Test zwar erkennen, wie hoch die Rate der fehlerhaften Bits ist, aber nicht, wo die Störung anfällt. Beim Eye-Pattern-Test kann man nicht erkennen, wie hoch die Fehlerrate ist, aber man erkennt, wo die Fehler entstehen. RM

(Quelle: u.a. HDMI Demystified, Xiaozheng Lu, Audioquest)