

SPECIAL

FIDELITY

YOUR EQUIPMENT. YOUR MUSIC.



Hans M. Strassner (HMS) im Gespräch mit FIDELITY
Alles Voodoo oder was?



Alles Voodoo oder was? – Vol.1 KABEL, NETZFILTER & ZUBEHÖR

004 Die HMS Elektronik GmbH trägt als Handelsregistereintrag den Untertitel „Messtechnik für Forschung und Industrie“. Was ist darunter zu verstehen?

004 Im Zusammenhang mit HiFi-Kabeln fiel der Name HMS erstmals 1993/94 in einem Testbericht, der für Furore sorgte. Wie kam HMS eigentlich dazu, Kabel zu fertigen?

005 Inzwischen umfasst das HMS-Programm ja die gesamte Palette vom Lautsprecherkabel bis hin zu Netzkabeln und einer Reihe von Netzfiltern ...

005 Was sagen Sie Ihren Kunden zu den klanglichen Einflüssen von Netzkabeln? Denn die spielen doch bei der Übertragung des Musiksignals offenbar keine Rolle?

006 Ein Differenzausgleich zwischen zwei Komponenten kann nur über die Wicklungskapazitäten der Transformatoren für die hochfrequenten Anteile der Differenzspannung erfolgen, denn die Primärwicklungen der Transformatoren sind ja galvanisch von der Sekundarseite isoliert ...

006 Dann sollten XLR-Verbinder dieses Problem (Spannungsabfall addiert sich zum Nutzsignal) nicht haben?

007 Störungen durch Differenzspannungen sind also keinesfalls Voodoo! Folgt man der Erklärung bis hierher, muss man zu dem Schluss kommen, dass dies speziell auf die Hochstrom-Verbraucher wie Vollverstärker und Endstufen zutrifft?

Alles Voodoo oder was? – Vol.2 BRUMMSCHLEIFEN UND NETZVERKABELUNG

008 Ist es nicht ratsam, erst die Netzverkabelung zu optimieren, bevor man Filter gegen Brummschleifen oder Ausgleichsströme einsetzt?

010 Die Messwerte sprechen wohl auch für sich. Wie hat HMS ein derart durchschlagend verbessertes Ergebnis erzielen können?

011 Wie kommt ein Übergangswiderstands-Messwert zustande, der 100 bis 1000 Mal höher liegt als der zu erwartende?

012 Heutzutage sind rhodiumbelegte Kontakte in aller Munde. Was kann HMS hierzu sagen?

013 Sie wollten noch auf die Netzverkabelung im Haus eingehen ...

Alles Voodoo oder was? – Vol.3 ELEKTROSMOG UND HOCHFREQUENZBELASTUNGEN IM STROMNETZ

015 Sie haben eindeutig klären und auch erklären können, dass ein verlustarmes Komponenten-Netzkabel kein Voodoo ist, sondern schlicht ein Muss. Was ist aber mit netzleitungsgebundenen Störungen durch andere Verbraucher, etwa das berühmte „Kühlschranksnacken“?

016 Gibt es eigentlich eine Erklärung für das Phänomen, dass manche Anlagen je nach „Tagesform“ besser oder schlechter zu klingen scheinen?

017 Wie kommt es zu der Empfindlichkeit von Audiogeräten gegen Hochfrequenz? Die allermeisten Geräte haben doch nur Bandbreiten von vielleicht 100 kHz, verstärken höherfrequente Signale also gar nicht mehr ...

017 Da das 230-Volt-Netz einen sicher nicht unerheblichen Teil zur Hochfrequenzbelastung beiträgt, dürfte Netzfilterung wohl ein probates Gegenmittel sein ...

018 In den Energia-Netzfiltern verwendet HMS passive Filterkomponenten und teilweise spezielle Trenntransformatoren. Was ist denn mit den ebenfalls im Markt

befindlichen aktiven Netzsynthesizern, die den Netzsinus neu generieren?

019 Zwei Steckplätze des HMS-Spitzenproduktes „Energia Definitiva“ sind mit „Low-C“ gekennzeichnet. Was verbirgt sich denn dahinter?

019 Im Zusammenhang mit den Koppelkapazitätswerten der Transformatoren, die auch für das sogenannte „Ausphasen“ verantwortlich sind, erwähnten Sie eine Methode des Ausphasens, bei der man ohne Messgeräte auskommt ...

020 In welcher Reihenfolge würden Sie unseren Lesern empfehlen vorzugehen, um den Störeinfluss des Stromnetzes zu minimieren?



Dieses HMS-SPECIAL ist im Original erschienen als dreiteilige Serie in FIDELITY Nr. 9 (Ausgabe 5/2013), FIDELITY Nr. 10 (Ausgabe 6/2013) und FIDELITY Nr. 11 (Ausgabe 1/2014)

Alles Voodoo oder was? – Vol.1

• • •

KABEL, NETZFILTER & ZUBEHÖR

FIDELITY bat Hans M. Strassner, Chef der HMS Elektronik GmbH, zu einem ausführlichen Interview. Der Ingenieur für technische Physik hat sich nicht nur durch seine Produkte, sondern auch durch Vorträge und Veröffentlichungen zum Thema Kabel und Co. einen Namen gemacht und versteht es, komplexe Zusammenhänge auch für den Nichtfachmann verständlich darzustellen. So wurde aus dem ursprünglichen Interview eine hochinteressante, umfangreiche Technikstrecke. Sie ist im Original in FIDELITY Nr. 9, 10 und 11 erschienen (Ausgaben 5/2013, 6/2013 und 1/2014).

FIDELITY im Gespräch mit Hans M. Strassner • Bild & Diagramme: HMS

Herr Strassner, die HMS Elektronik GmbH trägt als Handelsregistereintrag den Untertitel „Messtechnik für Forschung und Industrie“. Was ist darunter zu verstehen?

Bei Gründung der HMS Elektronik 1975 erhielten wir die Vertriebsrechte eines führenden US-Herstellers in der Lock-in-Verstärkertechnologie – eine Gerätetechnik, mit der kleinste und von daher immer stark gestörte periodische Signale messbar werden. Darunter sind Signale im Pico-volt- und Femtoampere-Bereich zu verstehen. In Zahlen ausgedrückt sind das (notiert auf Papier) 0,000.000.000.001 Volt bzw. 0,000.000.000.000.001 Ampere. Derartig kleine Signale sind typisch für die Grundlagenforschung in sehr vielen Fachbereichen wie etwa Kern- und Atomphysik, Optik, Biologie, Medizintechnik bis hin zu Astrophysik. Für die damals aufkommende Entwicklung von Glasfaser-Lichtwellenleitern entwickelte und fertigte HMS eine abgestrippte Version der ansonsten komplexen Laborgeräte für elektrooptische Dämpfungsmessungen im industriellen Produktionseinsatz. Diese industrieanwendungstauglichen Lock-in-Verstärkersysteme wurden durch unseren US-Partner weltweit mit vertrieben.

Im Zusammenhang mit HiFi-Kabeln fiel der Name HMS erstmals 1993/94 in einem Test-

bericht, der für Furore sorgte. Wie kamen Sie eigentlich dazu, Kabel zu fertigen?

Stimmt, dieser Testbericht hat vieles losgetreten. Bei uns stand das Telefon für Tage nicht still. Wie es dazu kam, ist tatsächlich erklärungsbedürftig und in der Rückschau schon fast skurril. Der damalige US-Präsident Reagan kündigte ein Programm an, das unter dem Spitznamen „Star Wars – Laserkanonen im All“ lief. Unser US-Partner hatte mit seiner Abteilung „Space“ bereits Hubble und viele andere, auch militärische Satelliten mit Steuerungsplattformen zur Ausrichtung im All ausgerüstet. Hier stand also ein Großauftrag ins Haus – mit der Folge, dass sich unser Partner auf „Space“ konzentrierte und die Messtechniksparte verkaufte. Keine gute Entscheidung für HMS, wir verloren damit unseren weltweiten Vertrieb.

Kurz darauf – und das ist wohl die positive Folge der „Star Wars“-Drohung – kam die Wiedervereinigung. Für viele Anbieter von Forschungsgeräten und auch für uns brachen harte Zeiten an. Die Forschungsgelder wurden eingefroren und für die Sanierung der Gebäude der Ost-Universitäten eingesetzt. Finanziert wurden nur noch Sonderforschungsbereiche. Hierzu gehörte das Anfang der 90er Jahre stark beforschte Thema Supraleitung. HMS hatte einen solchen Messplatz entwickelt und im Angebot. Neben der hochempfindlichen

Elektronik – es mussten Widerstandsänderungen von einem Nano-Ohm in stark störendem Umfeld gemessen werden – gehörten auch extrem verlustarme Verbindungskabel dazu, die immun gegen starke Magnetfelder sind. Die gab es nirgendwo zu kaufen, also war Eigenherstellung angesagt. Ein solches Kabel schickten wir als Lautsprecherkabel konfektioniert an den Redakteur eines Fachverlages (*stereoplay*), der heute übrigens auch für FIDELITY schreibt. Der dann folgende Testbericht hat uns bestätigt, das gewünschte zweite Standbein gefunden zu haben. Noch dazu auf einem Gebiet, das ich als Jugendlicher intensiv als Hobby verfolgte.

Inzwischen umfasst das HMS-Programm ja die gesamte Palette vom Lautsprecherkabel bis hin zu Netzkabeln und einer Reihe von Netzfiltern ...

Ja, bei deren Entwicklung konnten wir natürlich von unserer Arbeit im Forschungsbereich profitieren. Technische Anforderungen wie etwa Verlustarmut, Einstreufestigkeit oder Netzstörungen sind hier ebenfalls wichtige Themen. Und dass die Anwendung unserer Erfahrungen in besonders klangneutralen HiFi-Produkten mündet, wurde ja hinlänglich bewiesen und hat mit Voodoo rein gar nichts zu tun.

Was sagen Sie Ihren Kunden zu den klanglichen Einflüssen von Netzkabeln? Denn die spielen doch bei der Übertragung des Musiksignals offenbar keine Rolle?

Die wohl am häufigsten gestellte Frage lautet sinngemäß: „Wie kann es sein, dass das letzte Stück Netzkabel als Komponenten-Anschlusskabel den Klang meiner Anlage verbessern soll, wenn doch viele Meter einer Standard-Netzleitung in der Wand vorgeschaltet bleiben?“ Nun, es erscheint zunächst auch ohne Erklärung logisch, dass eine eigene, nur für die HiFi-Anlage gelegte, querschnittstärkere Netzleitung ab Zählerkasten in der Wand positive Auswirkungen haben wird. Dennoch kann man so auch eine Enttäuschung erleben, denn der Aufwand der Nachrüstung steht in keinem guten Verhältnis zum klanglichen Zugewinn.

Wer neu baut, sollte allerdings gleich eine „HiFi-Leitung“ legen lassen; über die Leitungsqualitäten, die Sicherung und Steckdosen spreche ich später noch. Viel wichtiger ist es, mit den Komponenten-Zuleitungskabeln zu beginnen. Wie Abbildung 1 für eine einfache, nur aus CD-Player und Vollverstärker bestehende Anlage zeigt, ist die vom Zählerkasten über die Sicherung und die Leitung in der Wand bis zur 2-fach-Steckdose gelangende Netzspannung an jedem Steckplatz gleich. Instabilitäten und überlagerte Störungen wirken sich hier noch für beide Komponenten gleich aus. Gegen diese als sogenannte Gleichtaktstörung auf unsere Komponenten einwirkende Störungsart sind die Geräte innerhalb gewisser Grenzen recht unempfindlich – solange es sich nicht um Hochfrequenz handelt –, denn es entsteht keine Spannungsdifferenz zwischen ihnen. Niederfrequente, also langsame Spannungsänderungen werden von fast immer vorhandenen Spannungsstabilisatoren auf der Gleichspannungsseite unserer Komponenten ausgeregelt.

Ganz anders sieht die Situation allerdings aus, wenn man den unterschiedlichen Stromfluss zu den Komponenten auf den letzten anderthalb Metern Netzkabel von einer gemeinsamen Steckdosenleiste aus betrachtet. Der CD-Player nimmt eine geringe Leistung auf und dies auch konstant, unabhängig von der gehörten Musik. Die daraus

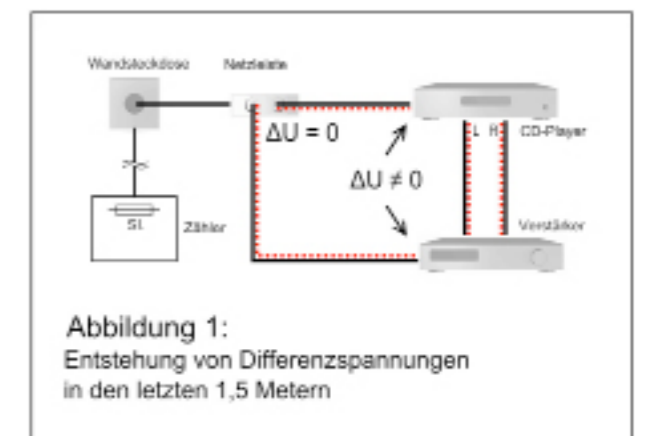


Abbildung 1:
Entstehung von Differenzspannungen
in den letzten 1,5 Metern

..... Ausgleichsstrom

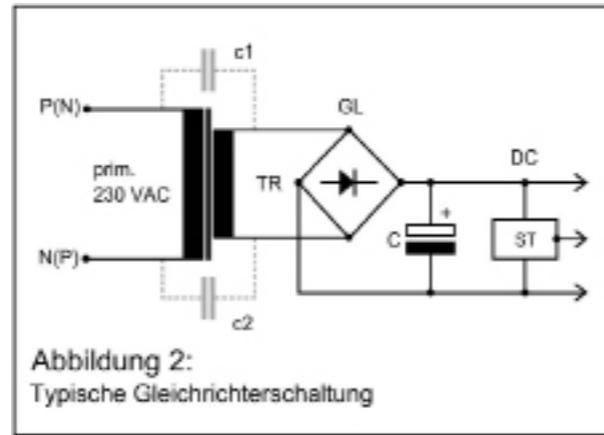
» resultierenden Spannungsabfälle am ohmschen und induktiven Widerstand der Netzleitung, den Kontaktübergangswiderständen des Schuko-steckers und des Kaltgerätesteckers sind typischerweise eher gering, sofern wir hier nur die durch die gemittelte Stromaufnahme bedingten Spannungsabfälle betrachten.

Der Vollverstärker jedoch nimmt deutlich höhere Leistung auf und dies auch noch in unmittelbarer Abhängigkeit zu der gehörten Musik und der Lautstärke. Der Spannungsabfall auf seinem Anschlusskabel mit allen Übergangswiderständen ist deutlich höher und ständig schwankend. Es entsteht eine Netzspannungsdifferenz am rückwärtigen Netzeingang beider Komponenten. Und wie das mit Differenzen so ist, versuchen diese sich auszugleichen.

Dies kann dann aber nur über die Wicklungskapazitäten der Transformatoren für die hochfrequenten Anteile der Differenzspannung erfolgen, denn die Primärwicklungen der Transformatoren sind ja galvanisch von der Sekundarseite isoliert ...

Das ist richtig. Abbildung 2 zeigt den typischen Aufbau eines Netzteiles und mit C1 und C2 die durchaus unterschiedlich großen Ersatzkapazitäten der Wicklungskapazität. Hierüber fließen die höherfrequenten Anteile der ungewollt erzeugten Differenzspannung von Masse beispielsweise über die Cinch-Signalkabel ab.

Ein Störstrom auf dem Schirm der Signalleitung? Das kann nichts Gutes bedeuten. Ganz nebenbei: Dies erklärt auch, warum die Ratschläge der Hersteller und der Fachpresse richtig sind, die Massekontakte der Cinchbuchsen und Kabelstecker sauber zu halten und auf festen Sitz zu achten. Würde man durch Verschmutzung oder zu geringen Kontaktdruck einen Übergangswiderstand von beispielsweise 100 mOhm zulassen, wäre dies für den Signalstrom wegen der Impedanzverhältnisse von typisch 1 bis 100 Ohm für die Quelle und 10 bis 100 Kiloohm für den Folgeverstärker kein ernsthaftes Problem. Das Nutzsignal würde günstigstenfalls einen Abfall von 0,001 % bis ungünstigstenfalls von 0,01 % erleiden. Ganz anders sieht es dagegen mit dem Störstrom aus. Dieser treibt mit zuneh-



TR: Transformator
C1-C2: Wicklungskapazität
GL: Brückengleichrichter
C: Ladekondensator
ST: Stabilisator

mender Frequenz immer niederohmiger werdend einen größeren Strom durch die verschmutzten Kontakte. Der entstehende Spannungsabfall am Übergangswiderstand wie auch am Kabel addiert sich unmittelbar zum Nutzsignal.

Dann sollten XLR-Verbinder dieses Problem nicht haben?

Das ist grundsätzlich richtig wegen der Gleichtaktunterdrückung dieses Verstärkertyps, die allerdings zu hohen Frequenzen hin sukzessive nachlässt.

Und noch ein Phänomen hängt mit der Trafowicklungskapazität C1/2 zusammen, nämlich das Thema „Ausphasen“ – dem Highender vielleicht bekannt. Sind C 1/2 sehr klein (< 100 pF) oder gleich groß, wird man keine klangrelevante Abhängigkeit der Netzsteckerpolung in der Verteilerleiste feststellen. Sind C1 und 2 aber sehr groß (>> 100 pF) und unterschiedlich – wie bei vielen Geräten der Fall –, sollte man auf korrektes Ausphasen keinesfalls verzichten. Über eine Empfehlung, wie man das auch ohne Messgeräte tun kann, sollten wir später noch einmal reden. Zunächst möchte ich

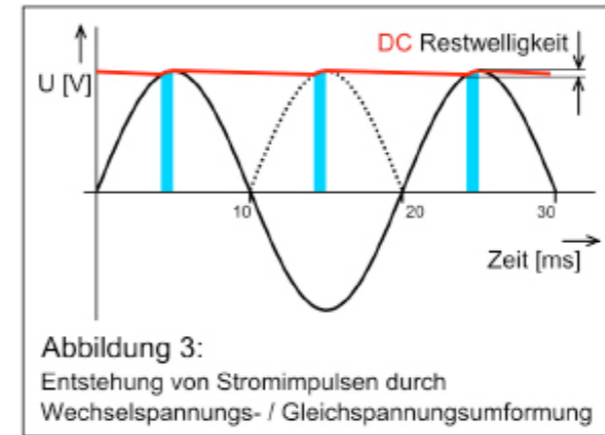


Abbildung 3:
Entstehung von Stromimpulsen durch Wechselspannungs- / Gleichspannungsumformung

noch auf einen sehr wichtigen Aspekt hinweisen, der durch die Umwandlung von Wechsel- in Gleichspannung entsteht. Die typische Anordnung im Netzteil, bestehend aus Transformator TR, Vollweggleichrichter GL und Ladekondensator C, (Abb. 2) erzeugt sehr kurze und kräftige, das Netz weit über die mittlere Stromentnahme hinaus belastende Impulse. Wie Abbildung 3 zeigt, leitet der Gleichrichter nur während eines kurzen Zeitfensters pro Halbwelle der Wechselspannung, um den Ladekondensator nachzuladen. Wählt der Konstrukteur eine besonders geringe Restwelligkeit der Gleichspannung als Ziel, muss er den Ladekondensator vergrößern.

Dies führt zu immer kürzeren Ladestromimpulsen, die in kürzerer Zeit die gleiche Ladungsmenge befördern müssen, das heißt, die Ladestromspitzen werden immer größer. Der nur während dieses kurzen Impulses stromliefernde Transformator (vereinfachte Darstellung) entnimmt einen entsprechend seinem Wicklungsverhältnis reduzierten Stromimpuls aus der 230-Volt-Netzleitung. Dieser erreicht aber dort noch Werte, die leicht den 10- bis 20-fachen Nennstromwert übersteigen. Ein ganz normaler 100-Watt-Verstärker erzeugt also Stromspitzen von bis zu zehn Ampere und dies periodisch mit 100 Hertz. Nimmt man diesen Wert und die Tatsache, dass es sich bei diesen Impulsen um ein sehr oberwellenreiches Signal handelt, wird klar, dass die ohmschen und

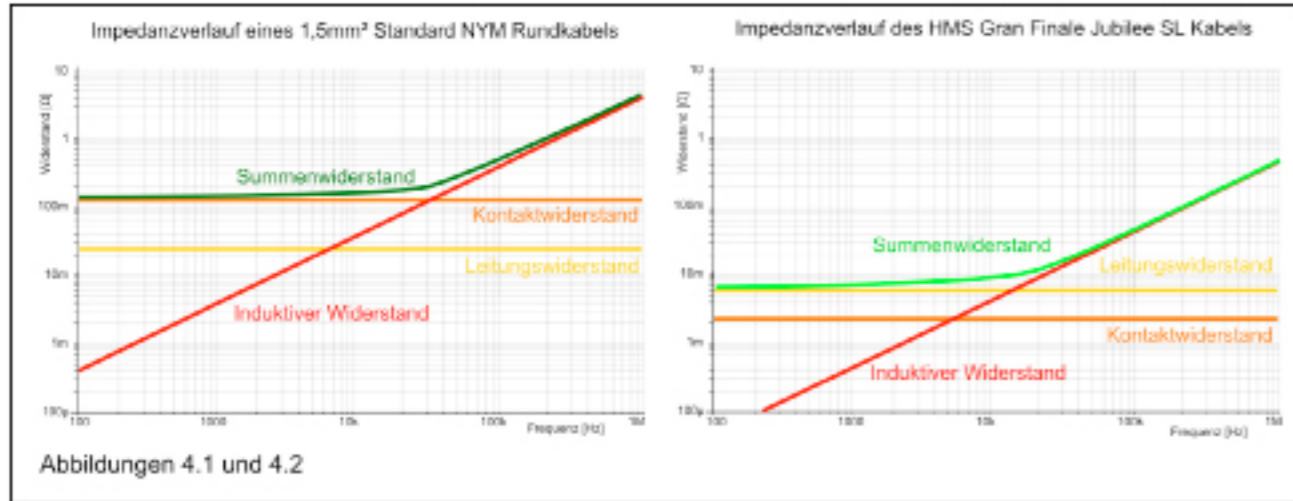
speziell induktiven Widerstände der Netzleitung und auch die Übergangswiderstände der Schuko- und Kaltgerätestecker eine entscheidende Rolle spielen. An ihnen baut sich ein Spannungsabfall proportional zum Widerstandswert auf, entsprechend dem Augenblickswert des Stromes und seines impulsbedingten, hohen Frequenzinhaltes. Die Höhe dieses Spannungsabfalls erreicht leicht mehrere Volt, wie der Impedanzverlauf zweier Kabel nach Abbildung 4 zeigt.

Übrigens lässt sich mit einem batteriebetriebenen Taschen- oder Kofferradio leicht nachweisen, dass dieser Störstrom sehr hochfrequente Anteile besitzt: Gehen Sie mit der Antenne dicht an das Netzkabel der Endstufe heran, und Sie werden im LW- und MW-Bereich die Störspannung akustisch feststellen können. Der induktive Widerstand wurde und wird meist noch unzureichend beachtet. Dies ist jedoch angesichts des impulshaften Stromflusses eindeutig ein Fehler.

Es nutzt wenig, die Querschnitte der Kabel auf Daumendicke zu vergrößern, wenn nicht gleichzeitig die Induktivität drastisch reduziert wird. Die Störung durch Differenzspannungen ist in jeder Anlagenzusammenstellung zu erwarten und unabhängig vom Einsatzort, weil selbst erzeugt. Dies erklärt, warum Netzkabel – die berühmten „letzten eineinhalb Meter“ – selbst unter sauberen Netzbedingungen und geringem Elektromog noch deutliche Verbesserungen erwarten lassen.

Also keinesfalls Voodoo! Folgt man der Erklärung bis hierher, muss man zu dem Schluss kommen, dass dies speziell auf die Hochstrom-Verbraucher wie Vollverstärker und Endstufen zutrifft?

In der Praxis zeigt sich, dass digital arbeitende Geräte wie etwa CD-/DVD-Player und alle Videokomponenten ebenso wichtig sind. Die internen Arbeitsfrequenzen dieser Geräte liegen im hohen MHz-Bereich. Natürlich versucht ein Teil dieser Frequenzen das betreffende Gerät, trotz bester Schirmung, über die Transformatorwicklungskapazitäten C1/C2 und das Netzkabel nicht nur gegen Erde fließend zu verlassen. Hat das Netzkabel eine hohe Induktivität, entsteht



Abbildungen 4.1 und 4.2

unabhängig davon, ob geschirmt oder nicht, ein hoher Spannungsabfall dieses Frequenzinhaltes. Diese hochfrequente Differenzspannung sucht ebenfalls über die Signalverbindungen fließend den Ausgleich und kann so zu intensiven Störungen Anlass geben. In einer HiFi- oder Heimkinoanlage profitieren also alle Endstufen sowie digital oder im Video- und HF-Bereich arbeitende Geräte von einem hochwertigen Netzkabel. Rein analoge Komponenten wie Vorverstärker oder Tapedecks sind unkritischer.

Die Netzkabel sollten möglichst niederinduktiv und von höherem Querschnitt sein. Drei Quadratmillimeter bei einer Induktivität von weniger als 150 nH pro Meter ist eine gute Empfehlung. Eine Schirmung ist nicht erforderlich, denn eine niederinduktive Leitung besitzt gleichzeitig auch eine niedrige Streuinduktivität. Wo wenig herausstreut, streut auch wenig ein. Ein Schirm ist leider auch nur gut für die elektrische Komponente eines nicht stromdurchflossenen Kabels. Die bei Stromfluss entstehende zusätzliche magnetische Komponente des dann elektromagnetischen Feldes kann er nicht verringern; es kann sogar zu ungewollten Schirmresonanzen mit negativen Folgen für den Klang kommen. Natürlich sollten die Netzkabellängen so kurz wie möglich und die Kontaktqualitäten zur Erzielung niedriger Übergangswiderstände so

hochwertig wie möglich gehalten werden (siehe die Messergebnisse zu Schuko-Steckern und -Dosen). Es ist weiterhin besonders wichtig, dass alle Komponenten einer Anlage aus möglichst nur einer hochwertigen Steckdosenleiste betrieben werden, bestenfalls mit integrierten, komponentenspezifisch getrennten Filtern gegen die bis jetzt noch gar nicht angesprochenen hochfrequenten Störungen aus dem Netz.

Wo dies nicht ohne Schwierigkeiten oder Kabelsalat im Wohnzimmer möglich ist, etwa bei Anschluss aktiver Lautsprecher, aktiver Subwoofer oder Projektoren, lassen sich hohe Differenzspannungen wegen der Benutzung unterschiedlicher Steckdosen im Raum nicht verhindern. Kann man die Ursache schädlicher Ausgleichsströme nicht vermeiden, lassen sich deren Auswirkung auf Ton und Bild aber noch mit anderen Mitteln unterdrücken. HMS hält ein breites Programm hochwirksamer Filter für alle Einsatzbereiche von Video-, Digital- und Audio-Filtern bereit (Silenzio SAT bis Silenzio-Audio-Mantelstromfilter, siehe auch „Konsequent gegen Brumm- und Interferenzstörungen – die HMS Silenzio-Mantelstromfilterserie“). Dies gilt auch für SAT-TV und UKW/TV über Kabelanschluss, wo Ausgleichsströme, das heißt Brummschleifen, wegen der zweiten Masse (Erde) über die Antenne praktisch unvermeidlich sind.

Alles Voodoo oder was? – Vol. 2



BRUMMSCHLEIFEN UND NETZVERKABELUNG

Herr Strassner, ist es nicht ratsam, die Netzverkabelung zu optimieren, bevor man Filter gegen Brummschleifen oder Ausgleichsströme einsetzt?

Ja, denn wenn man ein Problem vermeiden kann, ist dies meist effizienter – sprich kostengünstiger – als die Bekämpfung seiner Auswirkung. Wir konnten ja bereits die oft angezweifelte Klangbeeinträchtigungen aufzeigen (s. Vol. 1), die durch eine Differenzspannungsbildung bei Verwendung nur dreipoliger Standard-Komponentenanschlusskabel entsteht. Das von uns so benannte „Phänomen der letzten 1,5 m“ hat also eine sehr plausible Erklärung. Das Entwicklungsziel einer hochwertigen, die Differenzspannungsbildung drastisch reduzierenden Netzleitung muss also sein: möglichst kleine ohmsche Widerstände in Abstimmung mit dazu passendem, niedrigem induktivem Widerstand sowie vernachlässigbare Übergangswiderstände

der Steckverbinder (vernachlässigbar, damit ihre oft nichtlineare Wirkung ohne Einfluss bleibt).

Wir haben dieses Entwicklungsziel bei unseren Modellen Energia SL und insbesondere Gran Finale Jubilee SL im Verbund mit weichverkupferten und vergoldeten Steckern und Buchsen in den Vordergrund gestellt. Uns war gleichzeitig noch wichtig, dass die Produkte nicht zu den monströsen Kabeln zählen, die jeden Steckverbinder kurzfristig ruinieren, mitunter sogar die Komponenten glatt vom Tisch ziehen. Dafür hätte HMS wohl auch keine VDE-Zertifizierung erhalten ...

Zur Verdeutlichung habe ich hier einige Messergebnisse von Netzleitungen (Hin- und Rückleitung einer 1-m-Leitung) im Vergleich:

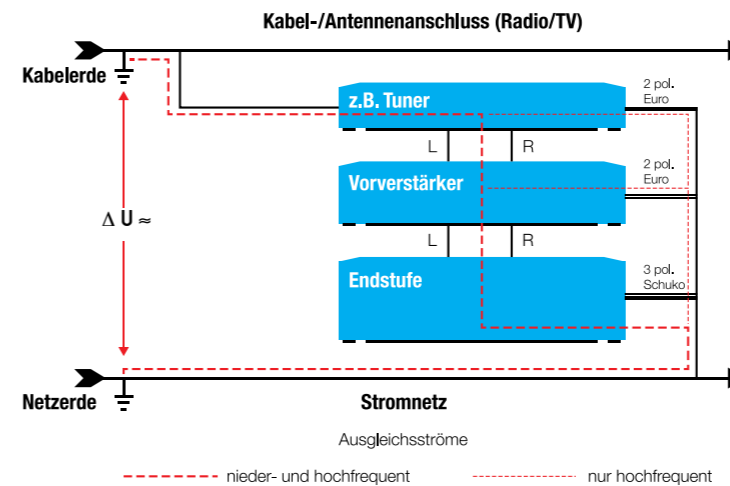
Standard-Stegleitung 1.5 qmm Volldraht für feste Verlegung nach VDE
 $R_{ohmsch} = 24 \text{ m}\Omega/\text{m}; L = 1.03\mu\text{H}/\text{m} \rightarrow R_{ind} = 65 \text{ m}\Omega/\text{m}$ (10 KHz)

Standard-Rundleitung NYM 1.5 qmm Volldraht für feste Verlegung nach VDE
 $R_{ohmsch} = 24 \text{ m}\Omega/\text{m}; L = 0.638\mu\text{H}/\text{m} \rightarrow R_{ind} = 40.07 \text{ m}\Omega/\text{m}$ (10 KHz)

Standard-Rundleitung NYM 2.5 qmm Volldraht für feste Verlegung nach VDE
 $R_{ohmsch} = 14.4 \text{ m}\Omega/\text{m}; L = 0.61\mu\text{H}/\text{m} \rightarrow R_{ind} = 38.3 \text{ m}\Omega/\text{m}$ (10 KHz)

Auch querschnittstärkere 3-polige Leitungen haben keinen signifikant niedrigeren induktiven Widerstand.

HMS Energia SL 3.0 qmm Litzenleitung für mobilen Einsatz (VDE zertifiziert)
 $R_{ohmsch} = 12 \text{ m}\Omega/\text{m}; L = 0.123\mu\text{H}/\text{m} \rightarrow R_{ind} = 7.7 \text{ m}\Omega/\text{m}$ (10 KHz)



OLE-Objekt
 Abbildung 5: Entstehung einer Brummschleife bei Kabelanschluss

» **HMS Gran Finale Jubilee SL 6.0 qmm Litzenleitung für mobilen Einsatz**
 $R_{\text{ohmsch}} = 6 \text{ m}\Omega/\text{m}$; $L = 0,075 \mu\text{H}/\text{m} \rightarrow R_{\text{ind}} = 4,7 \text{ m}\Omega/\text{m}$ (10 KHz)

Die Messergebnisse sind sehr interessant. Zunächst bestätigen sie, dass die Strecken ab Verteilerleiste zu den Komponenten wegen der Differenzspannungen wohl die kritischeren sind, denn eine 1,5-qmm-Hausverkabelung von z. B. 20 m Länge hat einen dominanten ohmschen und induktiven Widerstand ($R_{\text{ohmsch}} = 480 \text{ m}\Omega$; $R_{\text{ind}} = 800 \text{ m}\Omega$). Wäre dies nicht so, könnte der Kabelwechsel an der Anlage nur schwerlich so deutlich hörbar werden.

Es ist klar zu sehen, dass eine Querschnittsvergrößerung zwar den ohmschen Widerstand linear reduziert, nicht aber den induktiven. Leider ist dies bei allen 3-poligen Leitungen (Phase, Null, Erde) so, gleichgültig ob Volldraht oder Litze, da sich die Induktivität proportional zum Quotienten A/d (d. h. Abstand zu Durchmesser der Leitung) definiert. Ein wirklich niederinduktives Kabel hat einen völlig anderen Aufbau. Das HMS Energia SL beispielsweise ist 9-polig, das Gran Finale Jubilee SL 18-polig. Derartige Konstruktionen sind zwar für den mobilen Betrieb, also als Netzanschlusskabel, VDE-zertifizierbar, nicht aber für die feste Verlegung in der Wand. Zur Haus-Netzverkabelung komme ich später noch.

Hier einige Messwerte zu den ebenfalls wichtigen Kontaktübergangswiderständen, zunächst von Schuko-Steckern und -Dosen, wobei sich alle Messwerte auf beide Kontakte für Hin- und Rückleitung beziehen:

Standard-Wandsteckdose, ca. 10 Jahre in Gebrauch, und gebrauchter Standard-Schuko-stecker; Kontakte in beiden Fällen vernickelt
 $R_{\text{ohmsch}} = \text{instabil zwischen } 30 \text{ bis über } 100 \text{ m}\Omega$

HMS Schuko-Wandsteckdose und HMS Schuko-stecker, beide mit verkupferten und vergoldeten Kontakten
 $R_{\text{ohmsch}} = \text{ca. } 0,2 \text{ m}\Omega \text{ stabil}$

Das Ergebnis spricht für sich: Schnellmontage-Wandsteckdosen, deren Anschlüsse schraublos nur durch Federdruck kontaktiert werden und die seit

den 70er Jahren fast ausnahmslos montiert werden, sollte sich niemand mehr erlauben. Ähnlich deutliche Ergebnisse haben wir bei Kaltgerätesteckern und -buchsen festgestellt. Auch hier beziehen sich die Messwerte auf beide Kontakte für Hin- und Rückleitung:

IEC-Buchse (Messing), gebraucht, an neuem IEC-Einbaustecker (Messing vernickelt)
 $R_{\text{ohmsch}} = \text{instabil zwischen } 25 \text{ bis } 60 \text{ m}\Omega$

IEC-Buchse HMS verkupfert und vergoldet, an neuem IEC-Einbaustecker (Messing vernickelt)
 $R_{\text{ohmsch}} = 1,7 \text{ m}\Omega \text{ stabil}$

IEC-Buchse HMS und IEC-Einbaustecker HMS, beide verkupfert und vergoldet
 $R_{\text{ohmsch}} = \text{ca. } 0,7 \text{ m}\Omega \text{ stabil}$

Das spricht wohl auch für sich. Wie haben Sie ein derart durchschlagend verbessertes Ergebnis erzielen können?

Hier möchte ich ein paar Erläuterungen zum Thema Kontakte und Kontaktwerkstoffe geben. Studiert man die Datenblätter industriell gefertigter Kontakte, Relais, Schütze etc., dann fällt auf, dass auch in den größten Leistungsklassen (Motorschütze) Übergangswiderstände zwischen 2 bis 10 mΩ, bei Kleinleistungsrelais ca. 5–15 mΩ zu finden sind. Diese beachtlich hohen Werte sind keinesfalls durch die Leitereigenschaften der Kontaktoberflächenvergütungen zu erklären.

Deren Auswahl erfolgt im Wesentlichen nach den Arbeitsbedingungen des Kontaktes, wie DC oder AC und Höhe der Spannung sowie Strom, und ob induktive/kapazitive Lasten bei voller Belastung geschaltet werden müssen, Stichwort Abbrand und Funkenlöschung. (Für Kleinsignal AC u. DC – AgAu; für hohe Schaltleistung und AC – AgSnO₂; AgCdO; AgNi u. a.)

Keines der je nach Anwendung verwendeten Elemente/Legierungen ist ein so schlechter Leiter, dass eine wenige μ starke Oberflächenschicht zu solchen Übergangswiderständen führen könnte. So ist z. B. Kupfer nur ca. 6 % schlechter als der beste Leiter, Silber; Gold ist je nach Legierung nur ca.

30 % schlechter. Kontaktmessing oder Bronze sind Kupferlegierungen. Ihre Leitfähigkeiten stehen angesichts der großen Querschnitte, z. B. Schuko P u. N Pinne, außer Frage. Reinkupfer massiv wäre unsinnig, weil es zu weich und maschinell nicht verarbeitbar ist und auch sonst keine weiteren Vorteile hat.

Nein, die Gründe sind andere. Nehmen wir eine typische Kontaktkonstruktion:

Abbildung 6: typische Kontaktkonstruktion

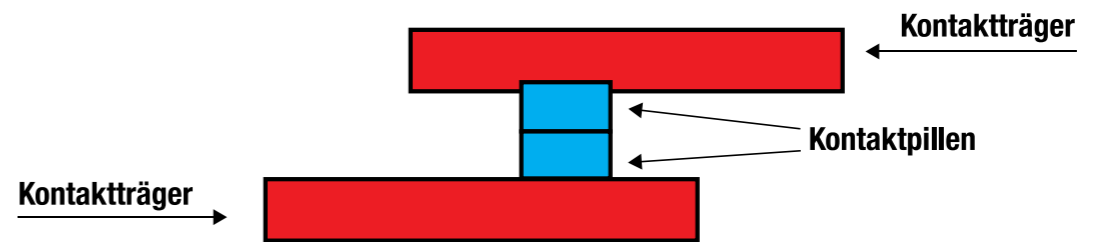
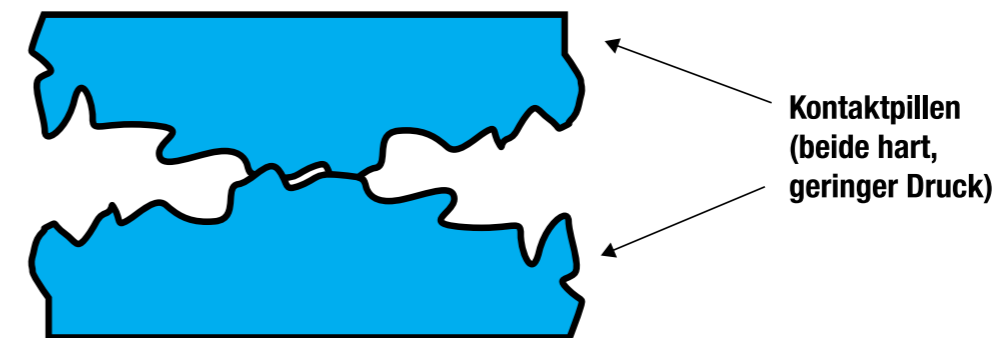


Abbildung 7.1: Kontaktzone unter Mikroskop



Zwei kreisrunde Pillen sind fest mit ihrem wesentlich stärkeren Kontaktträger vernietet oder verschweißt. Nehmen wir an, alle Teile seien Kupfer und die Kontaktträger wesentlich querschnittsstärker als die Kontaktpillen. Nehmen wir des Weiteren an, die Pillen haben nur einen Querschnitt von 1,5 qmm und je 1 mm Höhe, dann müsste sich ein

Übergangswiderstand von $R_{\text{EU}} = 12 \text{ m}\Omega/\text{m}$ $24 \mu\Omega$ messen lassen. Tatsächlich aber messen wir Werte, die 100 bis 1000 Mal höher liegen.

Wie kommt das zustande?

Würde man sich den Querschnitt der Kontaktflächen hochvergrößert anschauen können, würde man deren Oberflächenrauigkeit als eine übereinander liegende „Alpenlandschaft“ zu Gesicht bekommen.

Auf der gesamten Kontaktfläche haben nur wenige Bergspitzen Kontakt miteinander, d. h. der tatsächlich leitende Querschnitt reduziert sich im Kontaktbereich dramatisch. Die Verhältnisse sind noch wesentlich größer, als es die genannten 100 bis 1000 vermuten lassen, da die eigentliche Kontaktzone ja nicht 2 mm hoch ist, sondern nur wenige μm.

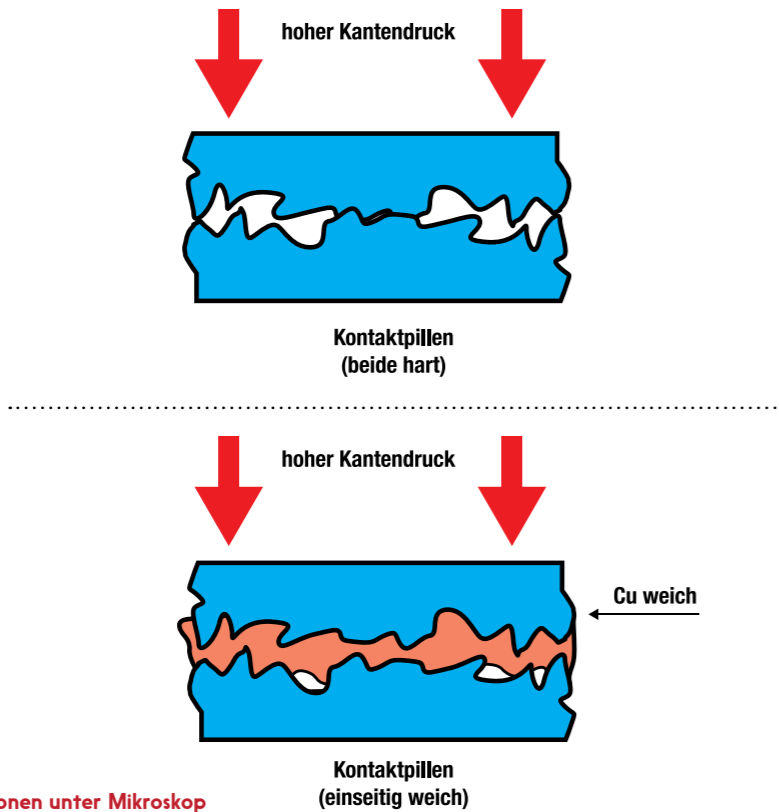


Abbildung 7.2: Kontaktzonen unter Mikroskop

Das bedeutet, der weitaus überwiegende Teil der Kontaktfläche liefert gar keinen Kontakt und ist mit Luft oder Oxidationsprodukten gefüllt.

Was ist also zu tun?

Zwei naheliegende Dinge sind da spontan zu nennen. Erstens: Wir erhöhen den Druck der Kontaktstücke aufeinander. Das wird die Spitze verformen und zu größeren Kontaktflächen führen, ist bei großer Härte der Kontaktmaterialien aber nicht sonderlich wirksam. Oder zweitens: Wir nehmen eine der beiden Kontaktpillen mit einer besonders weichen metallischen Beschichtung. Die harten Spitzen des anderen Kontaktes werden die weiche Beschichtung fließend verformen, sodass auch die Täler zwischen den Kontakten mit leitendem Metall aufgefüllt werden und an der Leitfähigkeit des Kontaktes teilhaben.

Genau so haben wir es gemacht. Unsere HMS Schukosteckdose liefert mit doppelter Federung

und langen, ermüdungsarmen Federn den hohen Kontaktdruck. Die Kontaktflächen sind galvanisch verkupfert und vergoldet. Der HMS Schukostecker ist ebenso 20 µ galvanisch verkupfert und nur zum Schutz gegen Korrosion 1 µ vergoldet. Kupfer wie auch Gold gehören, in reiner Form galvanisch abgeschieden, zu den am besten verform- und dehnbaren metallischen Elementen. Der recht dicke Auftrag weichen Kupfers ist also der Schlüssel zum Erfolg.

Bei der IEC-Kaltgerätebuchse haben wir die Kontaktfedern entsprechend gleichartig in der Oberfläche behandelt, sodass auf den mühseligen Umbau der IEC-Einbaustecker verzichtet werden kann. Denn es reicht in der Regel, wenn ein Kontaktpartner eine weiche Oberfläche präsentiert.

Heutzutage sind rhodiumbelegte Kontakte in aller Munde. Was können Sie hierzu sagen?

Aufgrund seines extrem seltenen Vorkommens ist Rhodium das teuerste Edelmetall überhaupt. Seine Leitfähigkeit entspricht nur zu ca. 40 % der des Kupfers. Wegen seiner großen Härte, seines extrem hohen Schmelzpunktes von 1964° C und einer Verdampfungstemperatur von 3727° C ist es jedoch bestens z. B. für Kontakte mit starker Funkenbildung wie etwa beim Schalten von Leistungsmotoren etc. geeignet, vergleichbar mit Platin und Wolfram.

Nur: Diese Frage stellt sich in unserer Anwendung überhaupt nicht; weder für Netz- noch für Signalkontakte. Wir brauchen vielmehr das glatte Gegenteil. Weiche Oberflächen mit bestem Korrosionsschutz, wie mit Kupfer vergoldet, sind übrigens in der gesamten Elektronik aus gleichem Grund üblich. Außerdem sind Schukostecker und -buchsen „schiebende“ Kontaktkonstruktionen, d. h. wenn es hier mal funkt, liegt die abgedampfte Stelle an der Kontaktspitze, nicht aber in der fünf bis sechs Millimeter tiefer liegenden Kontaktzone.

Ich möchte noch ein paar allgemeine Bemerkungen zu Kontakten loswerden. Wie schon die Messungen zeigten, ergeben sich teilweise sehr instabile Werte bei älteren Kontakten; dies benötigt sicher keine weitere Erklärung. Kontakte haben ganz allgemein eine selbstreinigende Wirkung durch die schleifende Bewegung der Kontaktflächen bei Bedienung. Wir haben häufiger Ärger mit heute zur Reparatur kommenden Messgeräten im fortgeschrittenen Alter. Ursache ist immer, dass die Schalter über Jahre nicht benutzt wurden und langsam vor sich hin korrodieren konnten. Silberkontakte zeigen hier eine erhöhte Anfälligkeit.

Reinigungssprays helfen nur kurzfristig und verschlimmern den Fehler meist nach kurzer Zeit, da man sie nach der Reinigung nicht vollständig entfernen kann. Besser ist eine mechanische Reinigung durch häufige Benutzung. Dies gilt sicher auch für viele Kontakte im HiFi- und Heimkino-Bereich. Korrosionshemmende Sprays sind empfehlenswert, sofern sie bei neuen/sauberen Kontakten zum Einsatz kommen.

Sie wollten noch auf die Netzverkabelung im Haus eingehen ...

Zur Haus-Netzverkabelung habe ich eine Empfehlung – als zweiten Schritt nach dem Austausch der Beipack-Netzkabel durch niederinduktive Komponentenkabel.

Zunächst ist es zweifellos besser, eine ausschließlich für die HiFi/Heimkino-Anlage benutzte Leitung zur Verfügung zu haben, um sich von Störeinflüssen anderer Verbraucher weitestgehend frei zu machen. Der Hauptanschluss ist die Zapfstelle mit der niedrigsten Impedanz, sodass Störungen weiterer angeschlossener Steigleitungen hier nahezu einen Kurzschluss erfahren.

Nun haben wir einige Male von Kunden gehört, dass sie sich etwas besonders Gutes tun wollten und einen 3-Phasen-Anschluss legen ließen: eine Phase für den CD-Player, eine für die Vorstufe und die dritte für die Endstufe. Dies ist leider die unglücklichste Lösung. Nicht nur, weil die Augenblickswerte der Spannungen sowie Störungen auf den drei Phasen garantiert unterschiedlich sind, sondern weil jetzt die lange Leitung bis zum Zähler mit in die differenzspannungsbildende Leitungslänge eingeht. Dies gilt auch für hochfrequente Einkopplungen.

Also bitte „nur“ eine Phase zu einer Steckdose. Der Elektriker kann leicht die am wenigsten belasteten wählen, dies sind meist die Schlafzimmerschlüsse.

Zur Frage der Leitung: Wie die Messergebnisse und Abb. 4.1 und 4.2 (s. Vol. 1) zeigen, ist es nicht nur eine Frage des Querschnittes. Die Induktivität spielt keine untergeordnete, wenngleich auch nicht gleichermaßen wichtige Rolle wie im Fall der letzten 1,5 m (Gleichtakt-/Differenzstörung).

Da es keine VDE-gemäße, niederinduktive Leitung für feste Verlegung gibt und wir unsere Energia SL nicht empfehlen dürfen, weil die vielpoligen Litzenleitungen nur für mobilen Einsatz zulässig sind, empfehlen wir folgende Lösung: Nehmen Sie so viele NYM-Standard-1,5-qmm-Volldraht-Rundleitungen parallel, wie Sie durch die vorhandenen Leerrohre bekommen. Lassen Sie diese vom Elektriker im Zählerkasten gemeinsam – also alle blauen Drähte auf null, alle braunen auf eine Phase und alle gelb/grünen auf Erde – auflegen. Der Vorteil dieser Lösung ist, dass das

» Material VDE-gemäß, preiswert, leicht beschaffbar und, weil nicht so störrisch wie große Querschnitte, auch leichter verlegbar ist. Und auch der Elektriker wird dabei nicht die Stirn runzeln. Dazu hat es noch einen technischen Vorteil: Neben dem großen erreichbaren Summen-Querschnitt reduziert sich die Induktivität bei zwei Leitungen auf etwas weniger als die Hälfte, bei vier Leitungen auf weniger als ein Viertel (weil sie eng zusammenliegen). Dies kann mit keiner querschnittsgleichen 3-adrigen Leitung erreicht werden. Mit geschirmten Leitungen sollte man ebenso verfahren. Der Schirm ist allerdings nur am Verteiler auf Erde zu legen.

Geschirmte Leitungen sind allerdings nicht so leicht beschaffbar und, weil viel steifer, auch schwerer verlegbar. Die niedrigere Induktivität der ungeschirmten Mehrfachleitung macht einen Schirm jedoch nahezu überflüssig, denn niedrige Induktivität heißt ja niedrige Streuinduktivität. Und wie gesagt: Wo wenig rausstreut, streut auch wenig rein. Wir haben sehr gute Erfahrungen mit ungeschirmten Leitungen, die aus drei oder vier 1,5-qmm-NYM-Rundleitungen bestehen.

Und noch etwas – Ihr Elektriker sollte auch die Sicherung wechseln, wie die folgenden Messergebnisse belegen:

Messergebnisse zu Sicherungen:

16 Amp. Netzautomat gebraucht

$R_{\text{ohmsch}} = 20 \text{ m}\Omega$ instabil, nach mehrfachem Schalten abfallend auf $R = 10 \text{ m}\Omega$; recht stabil.

Induktivität $L = 0,8 \mu\text{H} \approx R_{\text{ind}} = 50,2 \text{ m}\Omega$ (10 kHz)

16 Amp. Schmelzsicherung, träge

$R_{\text{ohmsch}} = 6,5 \text{ m}\Omega$ kalt (kleiner Strom) $L = 0,05 \mu\text{H}$, vernachlässigbar klein

$10 \text{ m}\Omega$ warm (größerer Strom)

Die 16-Ampere-träge-Schraubsicherung ist dem 16-Ampere-Automaten klar überlegen. Der induktive Widerstand entfällt praktisch vollständig, da dieser Sicherungstyp nicht über eine Magnetspule, sondern über einen Schmelzdraht auslöst. Eine

25-Ampere-Version hätte einen noch niedrigeren Widerstand des Schmelzdrahtes, ist aber wegen der auf 16 Ampere maximaler Strombelastung begrenzten Zulassung des Schukosystems nicht VDE-gemäß.

Wichtig ist die Konstanz des Widerstandes auf niedrigem Niveau. Die wird durch den hohen Kontaktdruck einer Schraubsicherung am besten und langfristigsten garantiert. Sicherungen mit Federdruckkontakten, in letzter Zeit auch in versilberter oder vergoldeter Ausführung erhältlich, sind zwar teuer, aber ebenfalls zu empfehlen.

Gleiches gilt für den Ersatz der Feinsicherung in audiophiler Ausführung in dem Sicherungshalter der Geräterückwand. Achten Sie aber unbedingt auf die gleiche Abschaltstromstärke und das z. B. träge (T) Abschaltverhalten, damit ein vollwertiger Schutz Ihrer Komponenten erhalten bleibt.

Alles Voodoo oder was? – Vol. 3

• • •

ELEKTROSMOG UND HOCHFREQUENZBELASTUNGEN IM STROMNETZ

Herr Strassner, Sie haben eindeutig klären und auch erklären können, dass ein verlustarmes Komponenten-Netzkabel kein Voodoo ist, sondern schlicht ein Muss. Was ist aber mit netzleitungsgebundenen Störungen durch andere Verbraucher, etwa das berühmte „Kühlschrankschnacken“?

Die Hochfrequenzbelastung des Netzes ist der zweite Teil der Netzproblematik. Lassen Sie mich hierzu eine kleine Geschichte erzählen.

Noch als Jungspund hatte ich eines der damals ersten Taschenradios geschenkt bekommen. Ausgerüstet mit einer kleinen Teleskopantenne und – wie später klar wurde – auch mit einer integrierten Ferritpeilantenne war es empfangsbereit für Lang- und Mittelwelle. Mir fiel schnell auf, dass das Berühren der Stabantenne den eingestellten Sender lauter spielen ließ. Auch die Berührung von Mutters gusseisernem Herd hatte ein solches Ergebnis. Dann – wir wohnten im ersten Stock und Mutter war nicht im Haus – die Berührung des Wandsteckdosen-Erdkontaktes: toll laut! Das Ergebnis ermunterte mich, den Versuch an der Kellersteckdose zu wiederholen. Doch am Erdkontakt im Keller war es deutlich leiser, praktisch kein Empfang mehr. Dann in eines der runden Steckdosenlöcher – Riesenschreck! Radio kaputt! Danach hatte ich einen ernsthaften Erklärungsnotstand, wusste aber nun, dass das Radio mit drei OC70-Transistoren aufgebaut war und ich die Berührung der runden Steckdosenkontakte zukünftig vermeiden sollte!

Dieses frühjugendliche Experiment sagt uns in heutiger Deutung allerdings mehr. Der aus dem Keller kommende Erddraht und damit auch die Phasen- und Nullleitung wirken trotz der Verlegung im Mauerwerk als recht effektive Antenne, und

zwar um so effektiver, je länger und höher raus. Oder zusammengefasst: Jedes Stück Draht, jeder metallischer Gegenstand, so wie er aus der Erde herauschaut oder frei in Luft schwebt, wirkt wie eine Antenne, gewollt oder ungewollt. Denken Sie dabei auch an die Wurfantenne Ihres Radioweckers oder an die Stummelantenne auf Ihrem Autodach. Und zwar nicht nur für die zahllosen Radio-, TV- und Handy-Aussendungen, sondern auch für die zahllosen elektromagnetischen Wellen, z. B. die durch Funken erzeugten Störungen, etwa unser Kühlschrankschalter.

Der Begriff „Funk“, wie er z. B. im Wort „Rundfunksender“ enthalten ist, stammt übrigens aus der Zeit um 1900, als es noch keine Röhren gab. Damals wurden Schwingkreise und Antennen durch Funkeninduktoren angeregt – ähnlich wie bei einer alten Türklingel. Unser Leben ist heutzutage geprägt vom elektrischen Strom aus der Steckdose und aus Batterien, vom elektrischen Dosenöffner bis zum Handy. Kaum auszudenken, wenn der mal länger ausfällt – aber auch fast selbstverständlich, dass trotz EMV-Richtlinien und CE-Verordnungen Störungen der elektronisch betriebenen Geräte untereinander möglich, ja fast an der Tagesordnung sind.

Bis jetzt reden wir von netzleitungsgebundenen Störungen. Über die nicht leitungsgebundenen, durch elektromagnetische Einstrahlung auf die als Antenne wirkende Verkabelung unserer HiFi-Anlage werden wir sicher zu einem späteren Zeitpunkt noch reden.

Das missglückte Taschenradio-Experiment lehrt uns aber insbesondere, dass Erdung nicht das ist, was der Begriff suggeriert, was wir davon erwarten. Die Erdleitung selbst wirkt wie eine Antenne. Sie liefert Störspannungen, kann aber solche, die durch

den Verbraucher erzeugt werden, nur sehr begrenzt ableiten. Sie ist nur für tiefe Frequenzen wie z. B. der 50-Hz-Netzfrequenz wirksam, wegen ihrer Induktivität aber nicht für hohe Frequenzen. Nach der „absoluten Erde“ brauchen wir also nicht zu suchen – sie gibt es in der Praxis nicht. Auch eine im Garten vergrabene Platte gehört nicht dazu; da hilft auch tägliches Wässern nicht viel ...

Richtig ist jedoch, dass der glückliche Highender aus dem Glottertal mit einem Hörraum im Souterrain deutlich besser dran ist als der unglückliche Highender in Berlin-Mitte im fünften Stock mit freiem Blick auf den Fernsehturm und die nächsten Handy-Masten. Dennoch tun beide gut daran, die Erdung ihrer Komponenten über möglichst kurze und hochwertige Netzkabel – und/oder auch Erdleitungen auf einen zentralen Punkt gebracht – mit der Schuko-Erdung nur einer Wandsteckdose zu verbinden. Dies garantiert, dass alle Komponenten auf dem gleichen, wenn auch gestörten Erdpotenzial liegen und sich keine unnötigen Differenzspannungen zwischen ihnen aufbauen, denn die Differenzen sind die Störursache. Doppelerdung ist dringend zu vermeiden. Antennenanlagen mit ihrer zusätzlichen Masse/Erdleitung sind ein typischer Grund für die dann entstehenden Brummschleifen (siehe auch Abb. 5 auf Seite 009; Anm. d. Red.).

Haben Sie eigentlich eine Erklärung für das Phänomen, dass manche Anlagen je nach „Tagesform“ besser oder schlechter zu klingen scheinen?

Viele unserer Kunden sind davon überzeugt, dass tatsächlich tageszeitenabhängige Spannungsschwankungen klangliche Probleme auslösen. Neulich sagte mir jemand: „Gestern Abend spielte meine Anlage noch zum Verlieben – und das lag nicht am Wein oder meiner Frau neben mir –, heute Mittag allerdings zum Verschenken.“

Doch Spannungsschwankungen sind in der Regel nicht die Ursache; die meisten Geräte sind durch interne Stabilisatoren in hohem Maße dagegen geschützt. Sehr wohl schädlich sind sehr schnelle, hochfrequente Spannungsänderungen, die der Netzspannung überlagert sind. Leitungsgebunden haben sie leichtes Spiel in Geräten, die

nicht durch Filter geschützt sind, um letztendlich wieder über die Koppelkapazitäten C1/2 der Transformatoren in unsere Elektronik einzudringen.

Da unsere Netzleitung in der Wand aber nicht nur als Empfangs-, sondern auch als Senderantenne wirkt, wird diese Störung zusätzlich abgestrahlt und addiert sich zum bereits vorhandenen, allgemein als Elektrosmog bezeichneten Störnebel. Sie hören den Kühlschrankschackser auch z. B. im Mittelwellen-Bereich eines batteriebetriebenen Kofferradios.

Zeichnet man die Empfindlichkeit verschiedener Anlagenzusammenstellung gegen diesen hochfrequenten Störnebel einmal auf, erhält man solche Kurven:

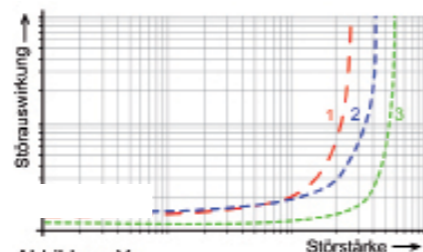


Abbildung 8: Störauswirkungen durch Elektrosmog

Abbildung Y: Auswirkung des "Störnebel" auf das Maß klangbeeinträchtigender Verzerrungsprodukte verschiedener HiFi-Anlagen

Wir erkennen, dass es völlig unnötig ist, die Störstärke zu null machen zu wollen. Jede Anlage hat eine gewisse Störungstoleranz; wird sie vor dem Abknickpunkt der jeweiligen Kurven betrieben, bleibt die Störauswirkung unauffällig. Dies wird vermutlich die Situation unseres „verliebten“ Kunden am Sonntagabend gewesen sein. Steigt der Störpegel, und häufig ist kein großer Anstieg erforderlich, werden Verzerrungsprodukte hörbar, unabhängig von der Lautstärke der Wiedergabe. Diese Erkenntnis ist die wichtigste – heißt sie doch, dass eine Maßnahme ausreichen kann, entweder auf der Netzseite oder der Signalseite zu entstören und damit zu jeder Tageszeit im horizontal verlaufenden Ast der Abbildung 8 zu bleiben. Dies herauszufinden ist eine Sache des Ausprobierens, denn die Bedingungen sind natürlich stark von Wohnlage und Umfeld abhängig. Geht es um den Kühlschrankschackser, ist jedoch Netzfilterung

ein eindeutiges Muss. In schlimmen Fällen muss auch noch im Signalbereich entstört werden, wie der Knackser im Kofferradio hörbar verdeutlicht.

Wie kommt es zu der Empfindlichkeit von Audiogeräten gegen Hochfrequenz? Die allermeisten Geräte haben doch nur Bandbreiten von vielleicht 100 kHz, verstärken höherfrequente Signale also gar nicht mehr ...

Genau das ist der Punkt. Allgemein bekannt ist, dass ein Verstärker, dem man zu viel Nutzsignal bietet, also zu laut aufdreht, dies mit Verzerrungen quittiert; wir reden dann vom Klirrfaktor. Hingegen ist nur wenigen bekannt, was passiert, wenn man einem Verstärker ein zu schnelles Signal zuführt, also z. B. die 100 MHz vom nächsten UKW-Funkturm – 1000-mal schneller als mit besagter 100 kHz Bandbreite max. linear verarbeitbar. Schauen Sie mal hier:

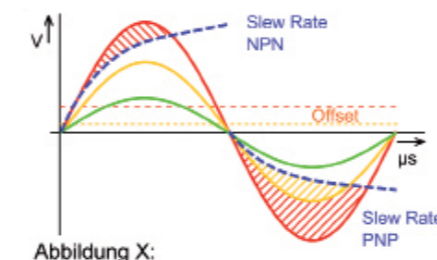


Abbildung 9: Verzerrungen durch Slew-Rate-Begrenzung

Abbildung 9 zeigt mit den blau strichlierten Kurven die maximal mögliche Steigrate (Slew Rate) des Verstärkers von Spannung oder auch Strom. Die positiv gehende blaue Kurve liegt typischerweise für Transistorverstärker höher und steiler als das negativ gehende Pendant. Dies liegt an dem unterschiedlichen Leitermechanismus der zum Einsatz kommenden NPN- und PNP-Transistoren. (Die schnelleren NPN-Typen sind elektronenleitend, die PNPs sind löcherleitend und immer langsamer. Leider hilft da auch kein Selektieren und Paaren. Wenn auch sonst alle anderen Parameter stimmen, stimmt dieser mit Sicherheit nicht; es würde im Übrigen auch nur wenig helfen).

Zu erkennen ist, dass das grüne Störsignal die begrenzenden blauen Slew-Rate-Kurven nicht berührt, das hochfrequente Signal dieser kleinen

Spannung also unverfälscht weiter verstärkt wird. Dies erklärt den langen horizontalen Verlauf der Kurvenzüge in Abbildung 8. Vergrößert sich das Störsignal wie in der gelben Kurve, wird es aber bereits im negativen Bereich an der Slew-Rate-Kurve (blau) begrenzt. Steigt die störende Spannung weiter an (rote Kurve), wird diese sowohl negativ kräftig als auch positiv begrenzt. Das Signal wird nur noch stark deformiert und asymmetrisch weiter verstärkt – Stichwort Offset.

Damit sind wir jetzt im steil ansteigenden Teil der Störauswirkung nach Abbildung 8 angekommen. Neben der Offsetbildung, die in seltenen schlimmen Fällen zur Zerstörung der Tieftöner führen kann, entstehen jetzt an der – auch für das viel größere überlagerte Audiosignal wirksamen – Nichtlinearität Mischprodukte, die sich als nicht-harmonische Verzerrungsprodukte, sogenannte TIM-Verzerrungen, im Audiosignal bemerkbar machen. Es wird so aus einem sehr guten Signal-zu-Störspannungsabstand eines Verstärkers von z. B. 120 dB (1 zu 1 000 000) mal eben hörbar schlechte 60 dB (1 zu 1000) oder sogar noch weniger. Hierzu reichen je nach Frequenz der Störung bereits Störpegel im Millivolt-Bereich. Das muss wohl die Situation unseres Kunden beim mittäglichen Hören gewesen sein.

Die Kurvenverläufe der Abbildung 8 zeigen mit 1, 2 und 3 zu erwartende Reaktionen unterschiedlich empfindlicher Anlagen. Der Kurvenzug 3 gehört zu einem sehr breitbandigen Verstärker (MHz), der aufgrund seiner deutlich höheren Slew Rate erst sehr viel später reagiert. Dies erklärt die klanglich positive Auswirkung von Verstärkern mit weit über den Hörfrequenzbereich hinaus reichenden Bandbreiten. Man könnte bei nur kurzem Nachdenken glatt das Gegenteil vermuten.

Da das 230-Volt-Netz nach dem bisher Besprochenen einen sicher nicht unerheblichen Teil zur Hochfrequenzbelastung beiträgt, dürfte Netzfilterung wohl ein probates Gegenmittel sein ...

Richtig. Hierbei ist wichtig, dass für jede Komponente ein getrenntes und auf den Strombedarf – auf die Impedanz – der anzuschließenden Komponente

» optimiertes Filter zur Verfügung steht. Verwendet man nur ein Filter direkt am Netzeingang der gemeinsamen Verteilerleiste, kommt es zu einer meist kräftigen Modulation der Netzspannung, verursacht durch die starken Stromimpulse überwiegend der Endstufe. Diese zusätzliche Störung teilt sich ungehindert den übrigen, an der gleichen Stromentnahmestelle hinter dem Filter liegenden Komponenten mit. Dies führt zu einem Dynamikverlust und unkonturierter Wiedergabe und ist sicherlich ein Grund für die unter Highendern immer noch bestehenden Vorurteile gegen Netzfilterung.

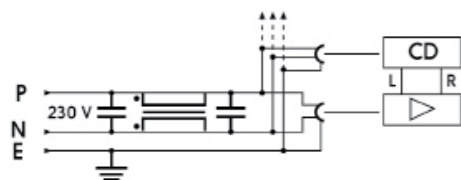


Abbildung 10.1:
Netzfilterung mit möglichem Dynamikverlust

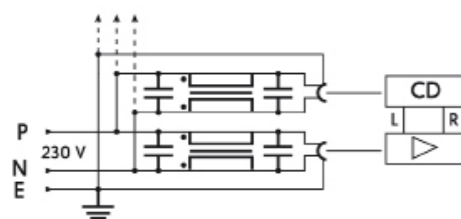


Abbildung 10.2:
Netzfilterung ohne Dynamikverlust

Mit getrennten Filtern, also schlicht „richtig gemacht“, passiert dies nicht. Es hat sogar den zusätzlichen Vorteil, dass die von den Komponenten selbst erzeugten Störungen – die bereits zu Beginn erläuterte Ursache für die störende Differenzspannung – jetzt zwei Filter durchlaufen müssen: das eigene in Rückwärtsrichtung, das der Nachbar-komponente in Vorwärtsrichtung. Hierbei entsteht neben der gewünschten Dämpfung der direkt aus dem Netz stammenden Störungen auch noch eine unterstützende, die Differenzspannung dämpfende Rückflussdämpfung.

In Ihren Energia-Netzfiltern verwenden Sie passive Filterkomponenten und teilweise spezielle Trenntransformatoren. Was ist denn mit den ebenfalls im Markt befindlichen aktiven Netzsynthesizern, die den Netzsinus neu generieren?

Wir sind alle gewöhnt, dass aus der Netzsteckdose eine sinusförmige Spannung kommt, weil ja der Generator im Kraftwerk kreisrund läuft und die Abwicklung eines Kreises einem Sinus entspricht. Da liegt die Vermutung nahe, dass ein sauberer, ungestörter Kurvenzug die Lösung aller netzbedingten Klangprobleme für uns sein muss. Ein sicherlich eingängiges Marketing-Argument, das scheinbar keiner weiteren Erklärung bedarf.

Nur, als Tesla sich vor über 100 Jahren wegen der verlustärmeren Übertragung des transformierbaren Wechselstromes gegenüber Edisons Gleichstrom durchsetzen konnte, ging es um elektrisches Licht in den Häusern. An die vielen hundert technischen Geräte der Neuzeit, die Verstärker aller Art beinhalten und nur mit Gleichspannung zu betreiben sind, konnte damals niemand denken. Auch gab es die Alternative nicht. So sind wir zu den Wechsel- in Gleichspannung umformenden Netzteilen in unseren HiFi-Geräten bis hin zu Batterieladestationen gekommen.

In dieser Umformung liegt aber ein beachtliches Problem. Gehen wir dazu noch einmal zurück zu dem zu Abbildung 2 und 3 Gesagten (siehe Seiten 006 und 007; Anm. d. Red.). Da der Konstrukteur eine möglichst glatte Gleichspannung mit geringer Restwelligkeit fordert, muss der Ladekondensator C sehr große Werte annehmen, damit er den Strombedarf der Elektronik als Speicher dienend – mit nur geringem Spannungsabfall in den Zeitabschnitten, in denen der Augenblickswert des Sinus kleiner ist als die Spannung am Ladekondensator – halten kann. Der Gleichrichter, als Ventil wirkend, schaltet die Verbindung zur Sekundärseite des Transformators also erst durch, wenn der Augenblickswert der Trafospannung größer ist als die Restspannung am Ladekondensator, und er trennt die Verbindung wieder, wenn der Sinus sein Maximum in Richtung null verlässt. Von den 10 Millisekunden einer Sinushalbwelle verbleibt also nur ein kleines Zeitfenster

zur Nachladung des von der Elektronik im Mittel verbrauchten Stromes. Dieses Zeitfenster liegt, je nach Restwelligkeit, typischerweise zwischen 5 bis 10% – d. h. in 90 bis 95% der Zeit ist die Elektronik gar nicht zum Netztransformator durchverbunden.

Wie wichtig kann es also sein, dass diese 90 bis 95% des Kurvenverlaufes rein sinusförmig sind? Höchst wahrscheinlich ist, dass die für die Nachladung verbleibenden 5 bis 10% der Zeit – durch den harschen, weil 10 bis 20-mal größeren Ladestromimpuls im Vergleich zur mittleren Stromaufnahme – die Sinusform der Spannung stark verbeulen werden. So niederimpedant kann kein praktikabel aufgebauter Sinusgenerator-Verstärker sein. Das deckt sich auch mit der Erfahrung mit diesen Geräten; Endstufen sollten hieraus nicht betrieben werden. Und vom deutlich schlechteren Wirkungsgrad (Stromverbrauch) der aktiven Lösung im Vergleich zur passiven Lösung sollten wir hier gar nicht erst reden ...

Zwei Steckplätze Ihres Spitzenproduktes „Energia Definitiva“ sind mit „Low-C“ gekennzeichnet. Was verbirgt sich denn dahinter?

Wie ich schon erläutert habe (siehe Abb. 2 auf Seite 006; Anm. d. Red.), ist die mehr oder weniger unvermeidliche Koppelkapazität C1/2 des geräte-internen Netztransformators für den Eintrag von Störungen in die Elektronik netzseitig verantwortlich. Typische Ringkerntransformatoren haben – neben ansonsten sehr positiven Eigenschaften wie kleinsten Streufeldern, geringem Leistungsgewicht und Volumen – leider recht große Koppelkapazitäten bis in den 1nF-Bereich. Wir verwenden Spezialtransformatoren mit kleinsten Koppelkapazitätswerten und zusätzlicher Schirmung, sodass diese Steckplätze für die höchstempfindlichen Komponenten, beispielsweise Phono-Vorverstärker und digitale Quellen, besonders geeignet sind.

Im Zusammenhang mit den Koppelkapazitätswerten der Transformatoren, die auch für das sogenannte „Ausphasen“ verantwortlich sind, erwähnten Sie eine Methode des Ausphasens, bei der man ohne Messgeräte auskommt ...

Ja, richtig – das Messen mit einem Voltmeter bei abgetrennten Geräteerden wollen wir hier nicht propagieren. Das ist nicht ungefährlich und von daher nur Kunden mit 230-Volt-Erfahrung vorbehalten. Aber auch bei den batteriebetriebenen Ausphasungshilfen gibt es eine Einschränkung, denn sie liefern nur zuverlässige Ergebnisse im Zusammenhang mit Geräten, die mit keiner Stand-by-Schaltung ausgestattet sind.

Eine einfache, risikolose und sicher funktionierende Methode ist es, die richtige Ausphasung durch schlichtes Hören, durch intensives Zuhören herauszufinden. Dabei sollte man wie folgt vorgehen: Besteht Ihre HiFi-Anlage aus vielen Einzelkomponenten, nehmen Sie zunächst z. B. nur CD-Player, Vorverstärker und Stereo-Endstufe. Trennen Sie alle weiteren Signalquellen vom Vorverstärker und auch vom Netz. Stecken Sie hiernach die Netzverbindungen einfach so, wie sie Ihnen in die Hände kommen, in die gemeinsame Netzverteilerleiste ein.

Hören Sie sich jetzt ein Musikstück an, das Ihnen speziell geeignet erscheint und in dem etwa Klavier oder Geige, aber auch Blasinstrumente und Stimmen vorkommen. Meist reichen schon 20 oder 30 Sekunden für einen ersten Eindruck. Schalten Sie jetzt die Endstufen ab, aber – ganz wichtig! – ohne die Lautstärke am Vorverstärker zu verändern. Drehen Sie jetzt den Netzstecker der Endstufe in der Verteilerleiste um und hören Sie erneut dieselbe Musikpassage. Wenn sie Ihnen so besser gefällt, markieren Sie die Steckerposition in der Leiste, z. B. mit Nagellack. Verfahren Sie danach in gleicher Weise mit dem Netzstecker des Vorverstärkers und des CD-Players.

Es mag sein, dass Sie hierbei etwa bei der Endstufe große Unterschiede heraushören können, kleinere Unterschiede beim CD-Player und womöglich gar keine bei der Vorstufe. Das sollte Sie nicht verunsichern. Erfahrungsgemäß sind rund 60% der Komponenten deutlich empfindlich, ca. 20% weniger deutlich und weitere ca. 20% gar nicht, d. h. auch per Messung nicht nachweisbar empfindlich.

Nachdem Sie die Netzkabel am Schukostecker markiert haben, sollten Sie diese nicht mehr von Komponente zu Komponente vertauschen.

» Ebenfalls markiert werden muss jetzt die Verteilerleistenseite und der Schukostecker in der Wandsteckdose. Alsdann können Sie alle weiteren Quellengeräte nacheinander anschließen und mit deren Netzstecker in gleicher Weise verfahren.

Und: Trauen Sie Ihren Ohren! Wo kein Unterschied zu hören ist, da ist auch keiner. In der Summe wird sich der kleine Aufwand klanglich mit Sicherheit lohnen.

Und in welcher Reihenfolge würden Sie unseren Lesern empfehlen vorzugehen, um den Störeinfluss des Stromnetzes zu minimieren?

1. Das Ausphasen wie soeben beschrieben bedarf keiner Investition und sollte als Erstes erfolgen.
2. Der Austausch der Schuko-Wandsteckdose durch unsere verkupfert/vergoldete HMS-Steckdose und der Ersatz des Sicherungsautomaten gegen eine Schmelzsicherung sind verhältnismäßig kleine Investitionen.
3. Hiernach oder parallel dazu empfiehlt sich der Austausch der Komponenten-Netzkabel durch z. B. HMS Energia SL/OV oder Gran Finale Jubilee SL – zumindest für die Endstufe und den CD-Player.
4. Tauschen Sie die normale Verteilerleiste gegen eine gefilterte Netzleiste, etwa die HMS-Produkte Energia, Energia RC oder – für den kräftigeren Geldbeutel – Energia Definitiva als Netzfilter-Verteiler.
5. Wegen des meist großen Aufwandes und der im Vergleich zu Punkt 1. bis 4. nicht gar so zwingenden Verbesserung kommt die optimierte Hausnetz-Verkabelung erst an fünfter Stelle. Wer allerdings keinen Vermieter fragen muss, sondern vielleicht selbst gerade neu baut oder renoviert, sollte diese Maßnahme sofort mit einplanen.

Unsere Kabelempfehlung hierfür kann ich nur noch einmal wiederholen: Nehmen Sie so viele Standard-1,5-qmm-Volldraht-Rundleitungen (NYM) parallel, wie Sie sie durch die vorhandenen Leerrohre bekommen. Lassen Sie diese vom Elektriker im Zählerkasten gemeinsam auflegen: alle blauen Drähte auf Null, alle braunen auf eine Phase und alle gelb/grünen auf Erde. Diese Lösung ist VDE-

gemäß, preiswert, leicht beschaffbar und – weil nicht so störrisch wie große Querschnitte – auch leicht verlegbar. Und sie wird beim Elektriker kein übertriebenes Stirnrunzeln verursachen (*siehe auch Seiten 013 und 014; Anm. d. Red.*).

Mir ist schon klar, das dies alles ein „dickes Pfund Technik“ und vielleicht nicht unbedingt allgemein verständlich ist. Ich bin aber gerne bereit, Fragen der FIDELITY-Leser am Telefon gezielt und verständlich zu beantworten. Meine Durchwahl ist 02171 734007.

Herr Strassner, wir danken Ihnen herzlich für das aufschlussreiche und informative Gespräch.

HMS – Hans M. Strassner
Am Arenzberg 42,
51381 Leverkusen
Hotline 02171 734007
www.hmselektronik.com