

Körperschall in Kontakten

1. Jeder elektrische Kontakt bedingt einen Übergangswiderstand.
2. Dieser Widerstand ist umgekehrt proportional zur Summe aller Berührungs(teil-)flächen.
3. Die Qualität des Kontakts wird zum einen durch die Größe des Übergangswiderstands bestimmt: sie muss zum einen klein sein gegen Quell-, Leitungs- und Lastwiderstände, eine Forderung, die zu erfüllen i.a. keine Probleme macht, zum anderen durch die Konstanz des Übergangswiderstands: Er muss kurz (μs)-, mittel (ms)- und langfristig (s) konstant sein, um eine Modulation des zu übertragenden Signals zu vermeiden. Diese Forderung ist für Hifi-Anwendungen nur durch gezielte Maßnahmen erreichbar.
 - a. Verhinderung der Einkopplung mechanischer Schwingungen sowohl von durch die Anlage selbst erzeugtem Schall als auch von Trittschall etc. (z.B. gedämpfte Montage der Kontaktelemente mit Körperschall-Absorbern).
 - b. Hinreichend hoher Anfangskontaktdruck möglichst mit Druckreserve (wie z.B. mittels des Elastomerdämpfers im Kabelschuh WBT-0661/-0681 oder die Druckspindel im Bananenstecker WBT-0610 oder des frei drehbare Dämpfungsring in den Polklemmen WBT-0705 und WBT-0710).

Mechanische (Körperschall!) Belastung eines Kontakts moduliert Größe und Zahl der leitenden Berührungspunkte einer Kontaktfläche und damit hörbar den Übergangswiderstand. Dieser Modulationsvorgang ist breitbandig nichtlinear, d.h. diese Verzerrungen sind nicht reparabel.

Eine exzessive Erhöhung des Kontaktdrucks bis über die elastische Verformung der Kontaktmaterialien bringt zwar persönliche Befriedigung des Monteurs aber keine Verbesserung der Kontakt Konstanz.

Zur Veranschaulichung: Jeder weiß oder kann sich vorstellen, mit welcher großer Kraft die Schrauben und Muttern z.B. einer Brücke oder Lokomotive festgezogen werden. Und dennoch würde sich ein Teil der Verschraubungen unweigerlich früher oder später wieder lösen wenn sie nicht gesichert sind. Warum aber lösen sie sich wie von Geisterhand? Es sind auch hier – wie bei jedem Lautsprecher – Einwirkungen von Körper- und Umgebungsschall, die Kontakte bzw. Muttern und Schrauben vibrieren lassen, was zu Schwankungen des Übergangswidertands mit den beschriebenen Folgen führt.

Wirksame Abhilfe kann daher nur noch die Verhinderung der Einkopplung mechanischer Schwingungen bzw. Schwingungsdämpfung im Verbindungsbereich bringen.

Vor einer vereinfachten Modellrechnung der Auswirkung von mechanischen Schwingungen im Kontaktbereich einer Steckverbindung, sollen qualitativ einige Präventivmaßnahmen anhand nachstehender stark vereinfachender Skizze erörtert werden.

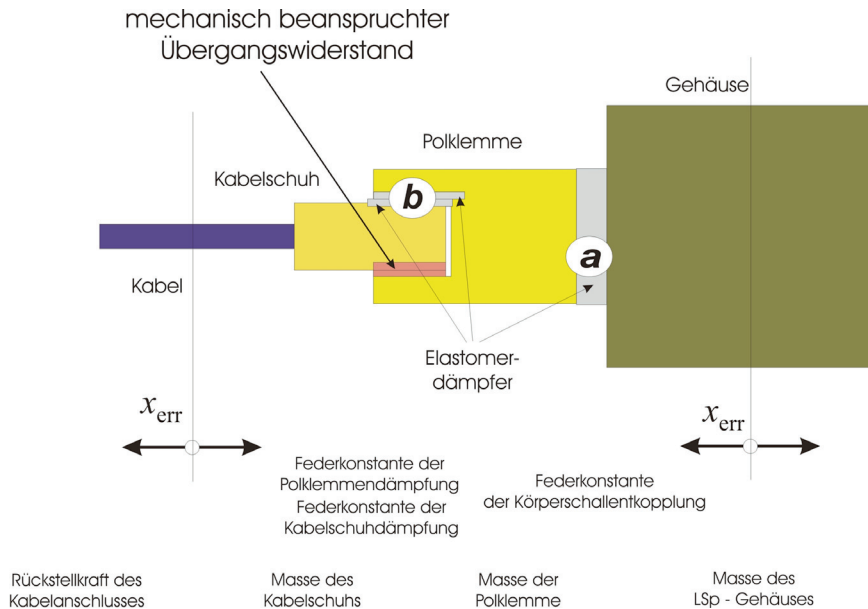


Abb. 1
Vereinfachte Darstellung des Aufbaus einer Lautsprecher-Verbindung

Die wesentlichen Wege, auf denen Körperschall in den Kontaktbereich eindringen kann sind die Anschlusskabel (je flexibler, desto geringer ist deren Einfluss) einerseits und auf der anderen Seite das Gehäuse (Lautsprecher bzw. Verstärker). Beide Bereiche sind in der o.a. Skizze mit x_{err} gekennzeichnet, was auf mögliche, mechanisch erzwungene Auslenkung hinweisen soll.

Um solche Auslenkungen ins Leere laufen zu lassen, d.h. keine Kräfte in den Kontaktbereich einzuleiten, kann man die ‚steife‘ mechanische Anregung durch eine ‚weiche‘ elastische Aufhängung des Kontaktbereichs (z.B. Polklemme + Kabelschuh) unterbrechen (s. Bereich **a** in o.a. Skizze). Diese Maßnahme wirkt gegen beide skizzierten Anregungen.

Eine zusätzliche Maßnahme kann darin bestehen, dass man die gegebenenfalls in den Kontaktbereich eingedrungenen mechanischen Schwingungen durch eine weitere z.B. aus Elastomeren aufgebaute Einrichtung mit Stoßdämpfereffekt unschädlich macht (s. Bereich **b** in o.a. Skizze).

Das folgende vereinfachte Modell einer Lautsprecher-Verbindung mit Steckkontakt soll formal und abstrakt darstellen, was durch einen klanglichen Vergleich sofort deutlich wird.

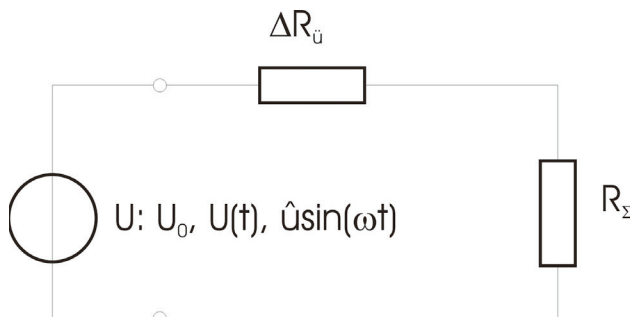


Abb. 2
abstrakte Elemente einer Lautsprecher-Verbindung

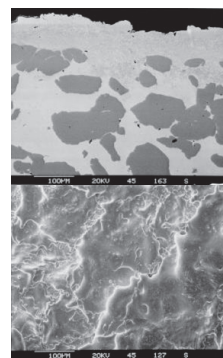


Abb. 3
Querschliff (oben) und Oberfläche eines (Leistungsschalter-) Kontakts

- U = das zu übertragende Signal;
von dem ein konstant proportionales Abbild an $R_{\text{Lautsprecher}}$ erzeugt werden soll.
- $R_i = \text{konst} \approx 0$;
- Alle Widerstände $\neq f(f, t)$.
- In $\Delta R_{\bar{u}}$ sind alle von externen Einflüssen veränderbaren Teile des Stromkreises zusammengefasst.

Externe Einflüsse: Temperatur, Korrosion, mechanische Erschütterungen, mechanischer Verschleiß erzeugen ein $\Delta R_{\bar{u}}(t)$.

$$i = \frac{U}{\sum R} = \frac{U}{R_{\Sigma} + \Delta R_{\bar{u}}} = \frac{U}{\underbrace{R_{\Sigma}}_{i_0} \left(1 + \frac{\Delta R_{\bar{u}}}{R_{\Sigma}}\right)} = i_0 \frac{1}{\left(1 + \frac{\Delta R_{\bar{u}}}{R_{\Sigma}}\right)}$$

d.h. wenn der Steckerwiderstand = konst. $\rightarrow \Delta R_{\bar{u}} = 0$ ist, dann ist $i = i_0$
sonst aber:

$$i = i_0 \cdot \frac{1}{1 + \frac{\Delta R_{\bar{u}}}{R_{\Sigma}}} = i_0 \cdot \left(1 - \left(\frac{\Delta R_{\bar{u}}}{R_{\Sigma}}\right) + \left(\frac{\Delta R_{\bar{u}}}{R_{\Sigma}}\right)^2 - \left(\frac{\Delta R_{\bar{u}}}{R_{\Sigma}}\right)^3 + \dots\right)$$

für:

$$\frac{\Delta R_{\bar{u}}}{R_{\Sigma}} \ll 1 \rightarrow i \approx i_0 \left(1 - \frac{\Delta R_{\bar{u}}}{R_{\Sigma}}\right)$$

Wenn man die Widerstandsänderung $\Delta R_{\bar{u}}(t)$ als hauptsächlich durch den Schalldruck der Lautsprecher verursacht annimmt wird aus $\Delta R_{\bar{u}} = f(i_0)$

$$i \approx i_0 \left(1 - \frac{\Delta R_{\bar{u}}(i_0)}{R_{\Sigma}}\right)$$

der extrem nichtlineare Charakter der durch $\Delta R_{\bar{u}}$ verursachten Verzerrungen erkennbar.

Zu Veranschaulichung:

Ein $\frac{1}{2}$ LSB eines 16 bit DAW entspricht

$$0,5 \cdot \frac{1}{2^{16}} u_{ss \max} = \frac{1}{131.072} u_{ss \max}$$

d.h. damit $\frac{\Delta R_{\bar{u}}}{R_{\Sigma}}$ kleiner $\frac{1}{2}$ LSB bleibt, muss für einen Lautsprecherwiderstand von 8Ω

$$\Delta R_{\bar{u}} < \frac{8}{131072} = 0,061 \text{ m}\Omega \text{ bleiben.}$$

In dB ausgedrückt könnte man damit ein SNR von 96 dB erreichen.



In analogen Kategorien sind aber SNR - Werte von 100 dB bis 120 dB keine utopischen Forderungen, was zu $\Delta R_{\text{ü}}$ -Werten von kleiner als $8 \mu\Omega$ führen müsste.

Fazit:

Vor dem Hintergrund eines meist recht hohen Geräteaufwandes ist es sinnvoll, dem Bereich „Kontaktproblematik“ die angemessene Aufmerksamkeit zu schenken.