

# Lautsprecher-Parameter: Strahlungsimpedanz

Manfred Zollner

Die Membran eines Lautsprechers wird durch die mitschwingende Luft akustisch belastet. Weil die Berechnung dieser Strahlungsimpedanz aufwändig und z.T. nur numerisch lösbar ist, existieren hierzu unterschiedliche grafische Darstellungen. Der folgende Artikel vergleicht bekannte Veröffentlichungen und bietet einfache Näherungslösungen an.

Die elementaren Lautsprecher-Parameter werden üblicherweise an einem nicht-eingebauten Lautsprecher ermittelt [6]. Schwingt die Membran, muss sie Luft bewegen, und diese mitschwingende Luft belastet die Membran. Die Berechnung dieser Belastung ist relativ einfach, wenn man die Membran als starre Kreisfläche annimmt, die in eine unendlich große Schallwand eingebaut ist [1]. Beim nicht-eingebauten Lautsprecher macht die Berechnung viel mehr Mühe, insbesondere wenn (wie bei den Akustiker-Ahnen) keine geeigneten Rechner zur Verfügung stehen. Olsen und Beranek bringen ihre Bücher in den 50er-Jahren heraus, da ist der Bipolartransistor zwar gerade erfunden, aber noch nicht als Massenware erhältlich. Es überrascht deshalb nicht, wenn alte Angaben zur Strahlungsimpedanz nicht exakt übereinstimmen.

In **Abb. 1** sind über der normierten Frequenz ( $ka$ ) Realteil  $R$  und Imaginärteil  $X$  der normierten Strahlungsimpedanz einer frei schwingenden Kreisscheibe dargestellt. Dieses Modell wird gerne verwendet, um die akustische Belastung eines nicht-eingebauten Lautsprechers nachzubilden. Die mechanische Strahlungsimpedanz (d.h. die Lautsprecherbelastung  $\underline{F}/\underline{v}$ ) ergibt sich hieraus zu:  $\underline{Z} = \underline{F}/\underline{v} = S_D \cdot Z_0 \cdot (R(\omega) + jX(\omega))$ ;  $S_D = S =$  Membranfläche,  $Z_0 = 414 \text{ Ns/m}^3$ . Die neuesten Ergebnisse sind von Mellow & Kärkkäinen (2005), Beranek (1954) liegt nahe dran, Olsen (1957) kommt vor allem beim Imaginärteil auf etwas größere Abweichungen. Sehr ähnlich sind alle drei Kurven bei niedrigen Frequenzen, also im Bereich der üblichen Lautsprecher-Resonanz. Der Imaginärteil steigt hier proportional zur Frequenz, der Realteil proportional zu  $f^4$ .  $X$  kann tieffrequent durch  $X \approx 4ka/3\pi$  angenähert werden,  $R$  durch  $R \approx 0.0299 \cdot (ka)^4$ . Diese Geraden-Näherungen sind in **Abb. 2** gestrichelt eingezeichnet.

Die Strahlungsimpedanz der eingebauten "Kolbenmembran" wird oft vereinfacht mit einer Masse und einem Widerstand nachgebildet [1]. Dies ist bei der frei schwingenden Platte wegen der  $f^4$ -Proportionalität aber nicht möglich – bei einem System erster Ordnung ( $Ws$  bzw.  $Wm$ ) kann der Realteil nur in nullter oder zweiter Potenz von  $f$  abhängen. Mit einem System zweiter Ordnung ( $Wsm$ , bzw. im elektrischen Ersatzsystem  $RLC$ ) kann jedoch bis etwa  $ka = 2$  eine brauchbare Näherung erstellt werden (**Abb. 3**). Über  $ka = 3$  wird dieses Modell jedoch schnell unbrauchbar, da sollte wieder zu einem System erster Ordnung übergegangen werden.

Die restlichen Seiten sind als PDF downloadbar: [www.gitec-forum.de](http://www.gitec-forum.de)