

Studio- und Messmikrofone: Teil 3

Manfred Zollner

In den ersten beiden Teilen dieses Kompendiums wurde das Betriebsverhalten von dynamischen Mikrofonen und Kondensatormikrofonen anhand von Bildern beschrieben, im dritten Teil sollen auch die physikalisch/mathematischen Grundlagen beleuchtet werden. Da ist auf der einen Seite das Schallfeld mit den Gesetzen zur Wellenausbreitung, auf der anderen Seite die schwingende Membran mit angekoppelten akustischen Resonatoren. Und dann gibt es natürlich die Verkopplung zur elektrischen Spannung, den mechano-elektrischen Wandlungsprozess, der über Vierpolgleichungen und Ersatzschaltbilder beschrieben werden kann. Den Abschluss bilden Messergebnisse zu Frequenzgang und Richtcharakteristik (Teil 4) und Verzerrungen (Teil 5).

Der dritte Teil dieses Kompendiums legt den Fokus auf die analytische Beschreibung. Das Schallfeld einer **Kugelschallquelle** ist mit den Feldgrößen Schalldruck p und Schallschnelle v einfach zu beschreiben, sofern man Kugelkoordinaten verwendet – die Schnelle hat dann nur eine (radiale) Komponente. Der Schalldruck ist generell eindimensional, er ist ein Skalar [1].

$$\underline{p}(r,t) = \hat{p}_a \frac{a}{r} \cdot e^{j(\omega t - kr)} = \underline{\hat{p}}_a \frac{a}{r} \cdot e^{-jkr} \quad \underline{\hat{p}}_a = \hat{p}_a \cdot e^{j\omega t}$$

$$\underline{v}(r,t) = \underline{p}(r,t) \cdot \underline{Y}_K = \underline{p}(r,t) \cdot \frac{1 - j/k r}{Z_0} \quad k = \frac{\omega}{c} \quad Z_0 = 414 \frac{\text{Ns}}{\text{m}^3}$$

Hierbei ist \hat{p}_a die Schalldruckamplitude in der Entfernung a vom Kugelzentrum, \underline{Y}_K ist die Kugelwellen-Admittanz. Der **Gradient** eines Skalarfeldes ergibt ein räumliches Vektorfeld, das man als räumliche Ableitung interpretieren kann. In Kugelkoordinaten wird der Gradient besonders einfach, wenn das Skalarfeld (wie bei der Kugelwelle) punktsymmetrisch ist:

$$\text{grad } p = \frac{\partial p(r,t)}{\partial r} \cdot \vec{e}_r = -p(r,t) \cdot \left(\frac{1}{r} + \frac{j\omega}{c} \right) \quad c = 343 \text{ m/s}$$

Beim sog. **Druckgradient-Empfänger**, der in Wirklichkeit ein Druckdifferenz-Empfänger ist, resultiert die Membran-Antriebskraft aus dem Druckunterschied Δp , der an zwei im Abstand Δr angeordneten Punkten im Schallfeld herrscht. Dass im Mikrofon-Inneren noch Filtereffekte hinzukommen, soll vorerst ignoriert werden. Hieraus folgt:

$$\Delta p \approx \Delta r \cdot \text{grad } p = -\Delta r \cdot p(r,t) \cdot (1/r + j\omega/c)$$

Am oberen Ende des Übertragungsbereichs kommen (wegen der Laufzeit über Δr) noch Kammfiltereffekte hinzu, die zunächst aber auch vernachlässigt werden. Damit lässt sich der Antriebs-Unterschied zwischen einem Kugel- und einem Richtmikrofon auf die einfache Formel $\boxed{1/r + j\omega/c}$ reduzieren. In sehr großem Anstand zum Quellenzentrum (Fernfeld) überwiegt der zweite Term. Im Nahfeld ist tief- und mittelfrequenz mit Orts- und Frequenzabhängigkeit zu rechnen, hochfrequent verschwindet die Ortsabhängigkeit in dieser Formel.

Die restlichen Seiten sind als PDF downloadbar: www.gitec-forum.de