Der Lautsprecher-Phasenfrequenzgang

Manfred Zollner

Linear-zeitinvariante Systeme lassen sich durch ihren Betrags- und Phasenfrequenzgang eindeutig beschreiben. Sind sie minimalphasig, ist sogar der Betragsfrequenzgang allein ausreichend. In Lautsprechertests wird jedoch zusätzlich zum Betragsfrequenzgang häufig auch der Phasenfrequenzgang angegeben – wie wichtig ist er, welche Erkenntnisse lassen sich aus ihm gewinnen? Eigentlich keine! Es erfordert tiefgehendes Psychoakustikwissen, um aus der Phase einen Bezug zum Höreindruck herstellen zu können. Die zum Betragsfrequenzgang zwingend gehörende (minimalphasige) Phasendrehung ist sowieso unvermeidlich, darüber hinausgehende Phasendrehungen (excess phase) sind in aller Regel unhörbar.

Die Übertragungseigenschaft eines linear-zeitinvarianten Systems wird durch die (komplexe) Übertragungsfunktion $\underline{H}(j\omega)$ eindeutig beschrieben [1], die in einen Betragsfrequenzgang und einen Phasenfrequenzgang aufgeteilt werden kann. Kein reales System kann den gesamten Bereich von 0 Hz - ∞ übertragen, d.h. alle realen Systeme sind bandbegrenzt, der Betrag $H(\omega)$ ist frequenzabhängig. Damit ist auch zwangsläufig die Phase $\varphi(\omega)$ frequenzabhängig. Zu jedem vorgegebenen Betragsfrequenzgang gibt es eine minimale Phase, die nicht unterschritten werden kann. Systeme, deren Phase im ganzen Frequenzbereich dieser minimalen Phase entspricht, heißen **minimalphasig**. Ihr Phasenfrequenzgang hängt eindeutig vom Betragsfrequenzgang ab und kann aus diesem mithilfe der Hilbert-Transformation berechnet werden [2]. Falls die Phase nicht dieser Minimalphase entspricht, heißt das System **allpasshaltig**: Es enthält einen Allpass, das ist ein System, das nur die Phase, nicht den Betrag verändert.

In **Abb.1** sind drei verschiedene Phasenfrequenzgänge dargestellt. Wie sind die Unterschiede zu bewerten, was sagt die Phase aus? Da sind zunächst einmal die abrupten Sprünge – wie klingt das, wenn die Phase plötzlich von $-\pi$ auf π wechselt? Das wäre das geringste Problem: bei periodischen Funktionen kann man nach einer Periode weiterzählen, oder wieder bei null beginnen. Als Beispiel, im vertrauten Gradmaß: 340°, 350°, 360°, 370°, oder 340°, 350°, 0°, 10°. Eine vollständige Periode (Umdrehung) entspricht 360°, oder im Bogenmaß 2π. Meistens erfolgt die Skalierung aber nicht von 0 bis 2π , sondern von $-\pi$ bis π. Streng genommen gibt es damit zwei verschiedene Phasenwinkel: einen in Grad (°) skalierten, und einen als Bruchteil von π, im sog. **Bogenmaß**, skalierten. Üblicherweise wird in beiden Fällen dasselbe Formelzeichen (φ) verwendet, falls nötig, kann man unterscheiden: $\varphi^\circ = \hat{\varphi} \cdot 180^\circ / \pi$. Die Sprünge der Phasenfunktion sind also gar keine Unstetigkeit, sie sind lediglich der üblichen Darstellungsart geschuldet. Die "abgewickelte" Alternative ist in **Abb. 2** dargestellt.

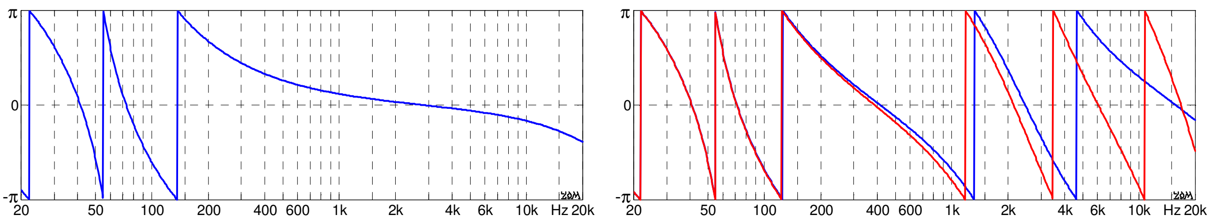

Abb. 1: Verschiedene Phasenfrequenzgänge – wie wirken sich die Unterschiede auf das Klangempfinden aus?

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