

6.10 Unterschiede zum Magnet-Tonabnehmer

Gitarren mit Piezo-Tonabnehmer klingen (über Verstärker betrieben) anders als Gitarren, die einen oder mehrere Magnet-Tonabnehmer zur Schallwandlung benutzen. Hierfür sind vor allem zwei Gründe zu nennen: Der Übertragungsfrequenzgang des Tonabnehmers, und seine Positionierung. Die untere (tiefe) Übertragungs-Grenzfrequenz ist bei beiden Wandlertypen hinreichend niedrig, während die obere (hohe) **Grenzfrequenz** differiert: Um 20 kHz beim Piezo-Tonabnehmer, aber nur 2 – 5 kHz beim typischen Magnet-Tonabnehmer. Es bereitet keine besonderen Probleme, die Höhenübertragung radikal zu verändern: Ohne zusätzliche kapazitive Belastung kann auch ein Magnet-Tonabnehmer Signale bis über 15 kHz liefern, und im Gegenzug ermöglicht das Vergrößern der Stegsattelmasse beim Piezo-Tonabnehmer das Erniedrigen der oberen Grenzfrequenz. Typischerweise bietet aber der Piezo-Tonabnehmer "mehr Höhen" als der Magnet-Tonabnehmer.

Die **Position** des Magnet-Tonabnehmers ist ca. 3 – 15 cm vom Steg entfernt; die Montage *im* Steg ist ungünstig, weil hier die zu detektierende Saitenschnelle fast null ist. Hingegen kann der Piezo-Tonabnehmer nur im Steg montiert werden (sieht man von Deckensensoren ab, die an Bedeutung verloren haben). Nach der Theorie der linearen, zeitinvarianten Systeme [6] kann jedes Saiten-Anregungssignal als Summe überlagerter Impulse interpretiert werden. Jeder dieser Impulse läuft als Welle die Saite entlang (Kap. 2) und wird an Steg und Sattel reflektiert. Bei *einem* Umlauf (1 Periode) kommt er folglich *zweimal* an der Position des Magnet-Tonabnehmers vorbei. Die dazwischenliegende Laufzeit ergibt sich aus dem zweifachen Tonabnehmer/Steg-Abstand, dividiert durch die Transversalwellen-Phasengeschwindigkeit*. Weil die (vom Magnet-Tonabnehmer erfasste Transversalschnelle) am Steg gegenphasig reflektiert wird, bewirkt die Zweifachabtastrung eine Filterung mit Sinus-Betrags-Frequenzgang (Kammfilter):

$$\underline{H} = 1 - e^{-2j\omega\tau} = (e^{j\omega\tau} - e^{-j\omega\tau}) \cdot e^{-j\omega\tau} \rightarrow |\underline{H}| = 2 \sin(\omega\tau) \quad \text{Kammfilter}$$

In dieser Gleichung steht τ für die einfache Laufzeit zwischen Tonabnehmer und Steg. Vernachlässigt man Dispersionseffekte, ergeben sich die Kammfilter-Nullstellen bei ganzzahligen Vielfachen von $f_0 = f_G \cdot M/d$, mit f_G = Saitengrundfrequenz, M = Mensur, d = Abstand zwischen Tonabnehmer und Steg (**Abb. 6.28**). Wegen dispersiver Ausbreitung der Transversalwellen erfolgt eine Nullstellen-Spreizung zu hohen Frequenzen hin (Kap. 1.3).

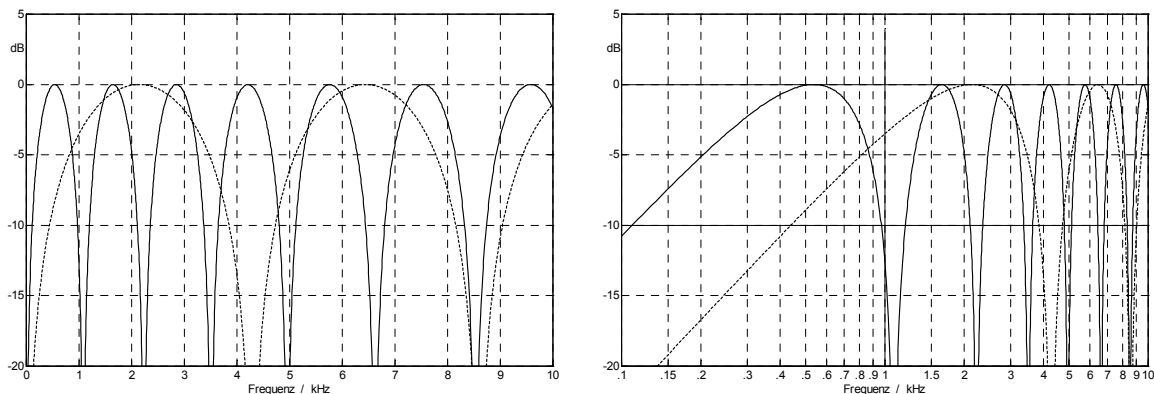


Abb. 6.28: Normierte Kammfilterfrequenzgänge. E₂-Saite (—), E₄-Saite (----); $d = 5$ cm, $M = 65$ cm.

* Man könnte auch den zweifachen Tonabnehmer/Sattel-Abstand verwenden; das zunächst andersartige Ergebnis lässt sich zu einem äquivalenten Modell umformen.

Da sehr leicht Missverständnisse entstehen können, wenn der **Übertragungskoeffizient** des Magnet-Tonabnehmers als "kammfilterartig" bezeichnet wird, nochmals zur Präzisierung: Der Schnelle→Spannungs-Übertragungskoeffizient des Magnet-Tonabnehmers hat Tiefpasscharakter, wenn mit Schnelle die örtliche Saitenschnelle über dem Tonabnehmermagnet gemeint ist. Bezüglich der Transversalwellenschnelle ergibt sich zusätzlich zur Tiefpasscharakteristik das erwähnte Kammfilter (Tiefpass und Kammfilter als Kettenschaltung), wenn als Zeitrahmen eine Schwingungsperiode betrachtet wird. Für den eingeschwingenen Zustand (sehr langes Zeitfenster, keine Dämpfung) ist diese frequenzkontinuierliche Übertragungsfunktion an den Stellen der Teiltonfrequenzen abzutasten (Frequenzdiskretisierung).

Beim **Piezo-Tonabnehmer** ist nicht die Schnelle das Wandler-Eingangssignal, sondern die Stegkraft – deren Ursache aber natürlich auch die Saitenwelle ist. Für Vergleiche mit dem Magnet-Tonabnehmer ist es zweckmäßig, für beide Wandler dieselbe Eingangsgröße zu spezifizieren, z.B. die Transversalwellenschnelle. Da der Wellenwiderstand reell ist, besteht zwischen der Schnelle einer sich ausbreitenden Welle und der zugehörigen Kraft Proportionalität. Und da die Kraftwelle am Lager gleichphasig reflektiert wird, ist die Lagerkraft ebenfalls proportional zur Transversalwellenschnelle. Daraus lässt sich folgende **Schlussfolgerung** ableiten: Ausgehend von der Transversalwellenschnelle (der Schnelle einer sich ausbreitenden Transversalwelle) überträgt der im Steg eingebaute Piezo-Tonabnehmer praktisch frequenzunabhängig; je nach elektrischem Lastwiderstand ist ggf. ein Hochpass mit ca. 200 Hz Grenzfrequenz zu berücksichtigen (Kap. 6.5). Demgegenüber erzeugt ein Magnet-Tonabnehmer eine saitenpezifische Kammfilterung. Je weiter der Tonabnehmer vom Steg entfernt ist, desto näher benachbart liegen die "Kamm-Zinken" (**Abb. 6.29**).

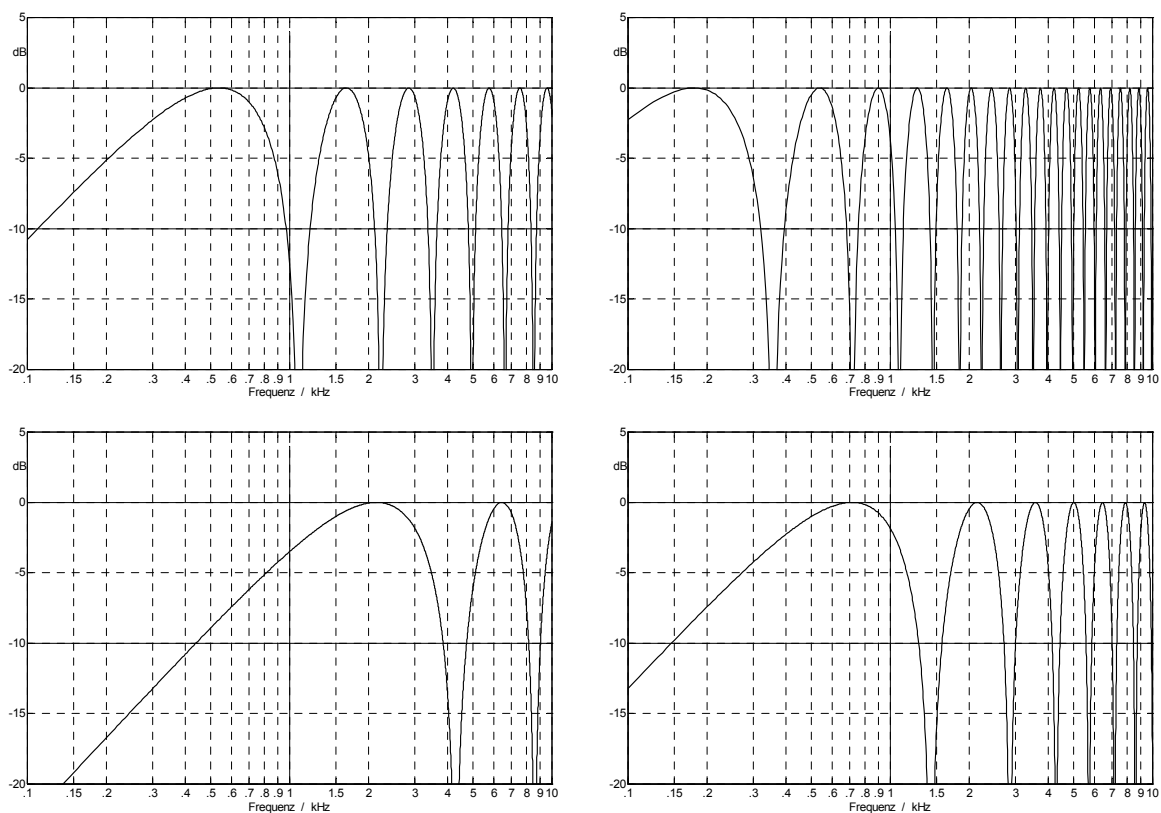


Abb. 6.29: Normierte Kammfilterfrequenzgänge. E₂-Saite (oben), E₄-Saite (unten); $M = 65$ cm. $d = 5$ cm (links), $d = 15$ cm (rechts).