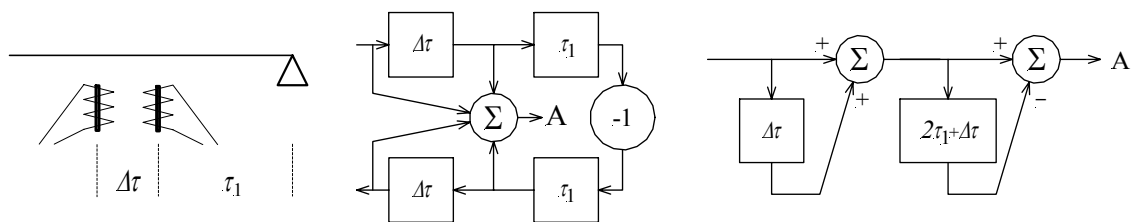


### 2.8.3 Saite mit Humbucking-Tonabnehmer

Beim brummunterdrückenden Humbucker sind zwei Spulen gegenphasig zusammengeschaltet. Damit sich ihre elektrischen Ausgangssignale verstärken, sind die Permanentfeld-Flüsse entgegengesetzt. Viele Tonabnehmer (z.B. Gibson) erzeugen das Permanentfeld mit einem unter den Spulen liegenden Balkenmagnet; über sog. *Polepieces* wird das Feld durch die Spulen geleitet. Andere Bauformen (z.B. Fender) verwenden in jeder Spule 6 Einzelmagnete; bei einer Spule ist der Nordpol oben, bei der benachbarten der Südpol. Die beiden Spulen werden zumeist gegenphasig in Reihe geschaltet, seltener auch gegenphasig parallel.

Eine die Saite entlanglaufende Welle wird vom Humbucker in zwei benachbarten Bereichen abgetastet. Beim Gibson-Humbucker beträgt der Abstand der beiden Polepieces 18 mm, es gibt aber auch ganz schmale Humbucker, die in ein Singlecoil-Gehäuse passen.

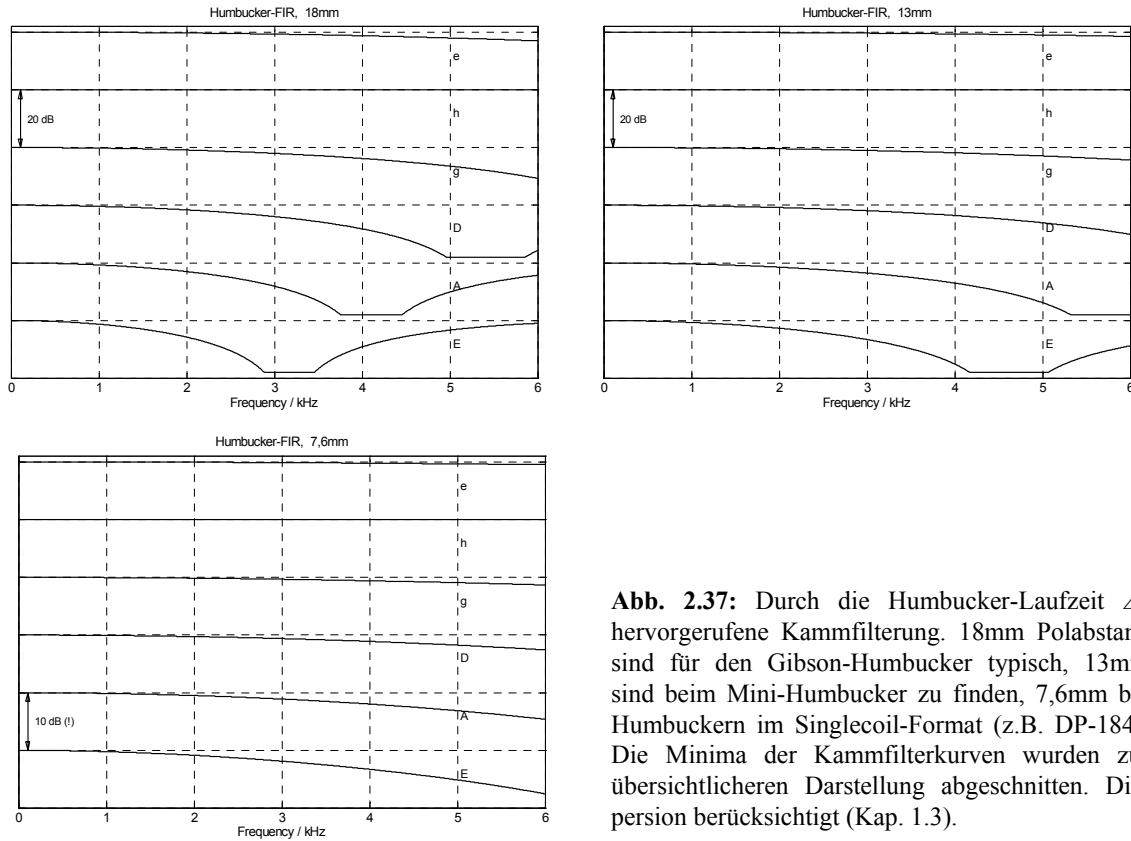


$$\underline{H}(j\omega) = 1 + e^{-j\omega\Delta\tau} - e^{-j\omega(\Delta\tau+2\tau_1)} - e^{-j2\omega(\Delta\tau+\tau_1)} = (1 + e^{-j\omega\Delta\tau}) \cdot (1 - e^{-j\omega(2\tau_1+\Delta\tau)})$$

Abb. 2.36: Signalflussdiagramm für einen Humbucking-Tonabnehmer mit zwei äquivalenten Spulen.

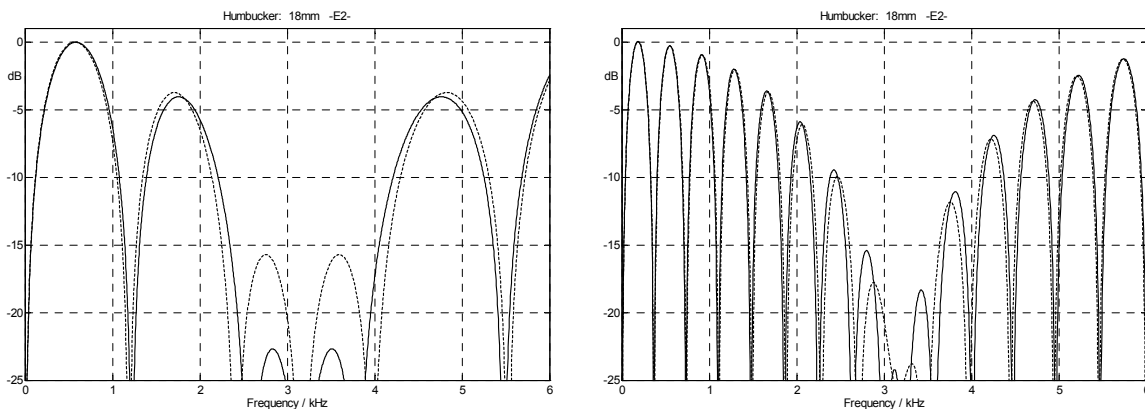
In **Abb. 2.36** ist  $\tau_1$  die (einfache) Laufzeit zwischen der stegnahen Spule und dem Steg,  $\Delta\tau$  ist die Laufzeit zwischen den beiden Spulen nach. Nach geeigneter Umformung erhält man eine einfache Kettenschaltung zweier FIR-Filter; ein Filter bildet mit gleichphasiger Überlagerung die Laufzeit  $\Delta\tau$  zwischen den Spulen nach, das andere bildet mit gegenphasiger Überlagerung die doppelte Laufzeit zwischen der Humbuckermitte und dem Steg nach. Von einem am Ort  $x$  positionierten Singlecoil unterscheidet sich ein am selben Ort positionierter Humbucker nur durch das  $\Delta\tau$ -Filter. Die Modellierung als Kettenschaltung bietet den großen Vorteil, dass die Gesamt-Übertragungsfunktion als Produkt der Einzel-Übertragungsfunktionen dargestellt werden kann. Für einen Humbucker mit 18 mm Polepiece-Abstand ergibt sich für die  $E_2$ -Saite im Bereich um 3 kHz eine zusätzliche **Auslöschung**, für die höheren Saiten liegt dieses Humbucker-Minimum bei entsprechend höheren Frequenzen. Die genaue Frequenzlage des Minimums hängt außer vom Polepiece-Abstand auch von der Dispersion ab (Kap. 1.3).

Wie in **Abb. 2.37** gezeigt wird, sind die Unterschiede zwischen Singlecoil und Humbucker saitenspezifisch: Bei der  $E_4$ -Saite sind nur im Höhenbereich kleinere Unterschiede zu erkennen, bei der  $E_2$ -Saite absorbiert der Humbucker den für die Brillanz wichtigen 3-kHz-Bereich. Verkleinert man den Abstand der beiden Humbucker-Spulen auf 13 mm, wie das z.B. beim **Mini-Humbucker** der Les Paul Deluxe gemacht wurde, verschieben sich alle Interferenz-Minima zu höheren Frequenzen. Ein besonders kleiner Spulenabstand (7 – 9 mm) wird beim Singlecoil-Format realisiert; trotzdem verbleibt auf den Basssaiten ein Höhenverlust.



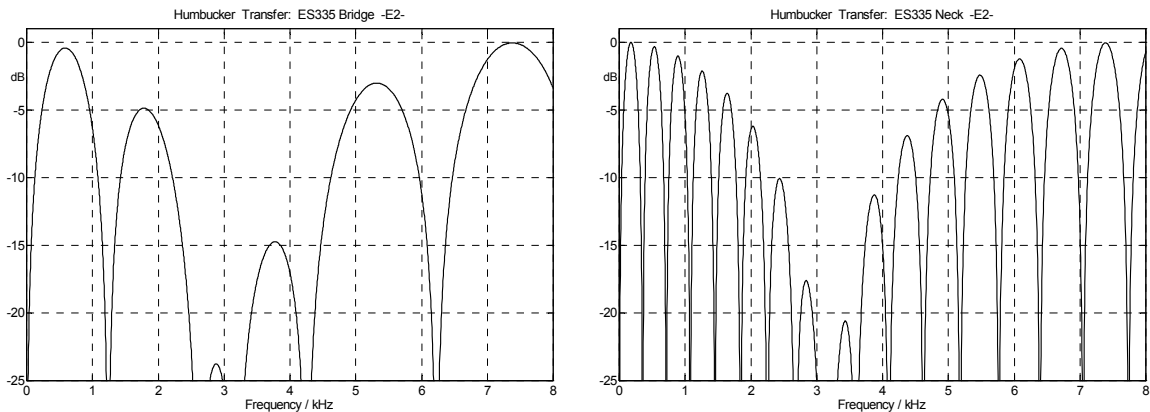
**Abb. 2.37:** Durch die Humbucker-Laufzeit  $\Delta\tau$  hervorgerufene Kammfilterung. 18mm Polabstand sind für den Gibson-Humbucker typisch, 13mm sind beim Mini-Humbucker zu finden, 7,6mm bei Humbuckern im Singlecoil-Format (z.B. DP-184). Die Minima der Kammfilterkurven wurden zur übersichtlicheren Darstellung abgeschnitten. Dispersion berücksichtigt (Kap. 1.3).

Sofern die beiden Humbucker-Spulen nicht die gleiche Empfindlichkeit aufweisen, ergeben sich vor allem im Bereich des Humbucker-Minimums Unterschiede (**Abb. 2.38**). Derartige **Unsymmetrien** haben ihre Ursache in unterschiedlichen Windungszahlen (beim *Burstbucker* absichtlich produziert) und/oder in der Feldführung: Die Polstifte heben einen anderen magnetischen Widerstand als die Justierschrauben. Da bei unterschiedlichen Spulen das SFD aus **Abb. 2.36** nicht in zwei FIR-Filter aufgetrennt werden kann, zeigt **Abb. 2.38** Frequenzgänge des gesamten Signalfussdiagramms.

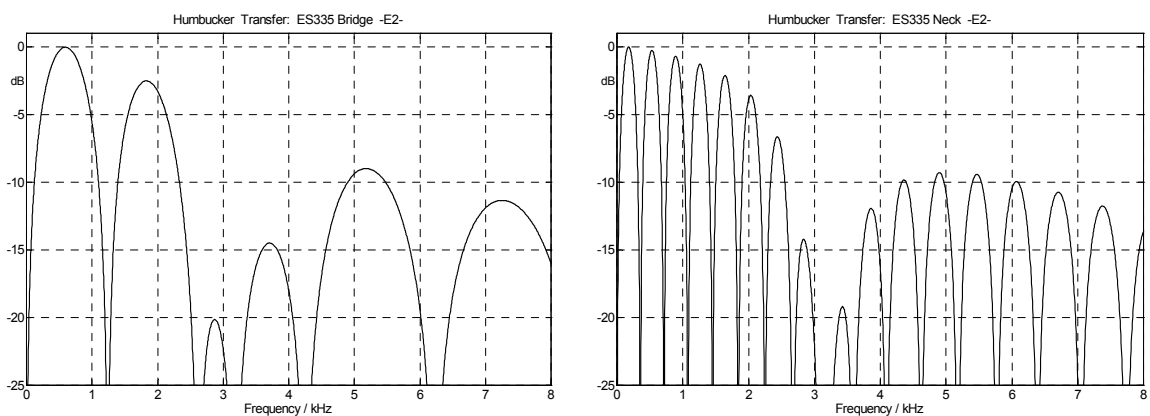


**Abb. 2.38:** Beträgsfrequenzgänge bei ungleichen Humbucker-Spulen. Linkes Bild: Steg-Humbucker (45 mm Stegabstand), rechtes Bild: Hals-Humbucker (147 mm Stegabstand). Die Empfindlichkeit der Schraubenspule ist gegenüber der Stiftspule um 1 dB vergrößert (—) bzw. um 1 dB verkleinert (---). Mit Dispersion (Kap. 1.3).

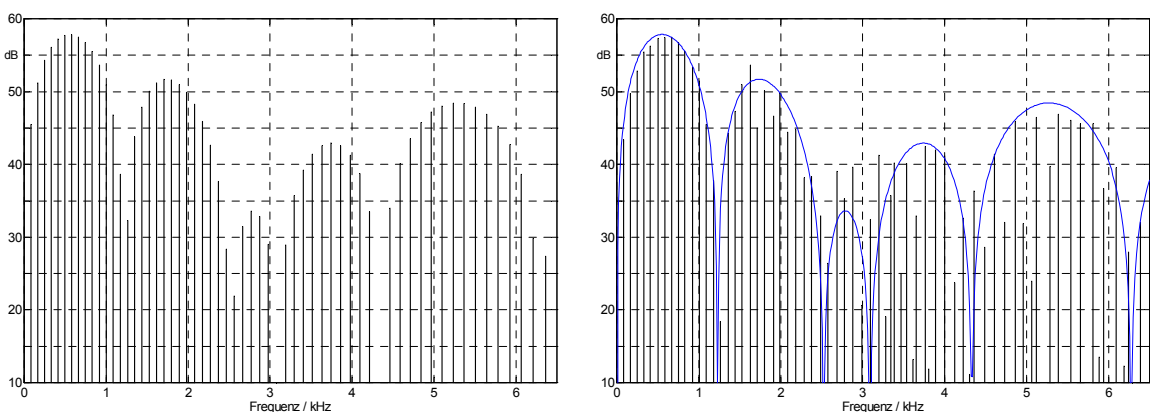
In **Abb. 2.39** ist für eine Gibson ES 335 TD (E<sub>2</sub>-Saite) die Übertragungsfunktion des in **Abb. 2.36** hergeleiteten Ersatzschaltbildes dargestellt, in **Abb. 2.40** ist die RLC-Übertragungsfunktion (Kap. 5.9) hinzugerechnet. Zum Vergleich zeigt **Abb. 2.41** eine Messung. Bei allen Bildern wurde dispersive Wellenausbreitung berücksichtigt.



**Abb. 2.39:** Gibson ES335, E<sub>2</sub>-Saite, Modell ohne RLC-Filter, Steg-Pickup (links), Hals-Pickup (rechts).



**Abb. 2.40:** ES335, Modell mit RLC-Filter und 707pF Kabel, Steg-Pickup (links), Hals-Pickup (rechts).



**Abb. 2.41:** ES335, E<sub>2</sub>-Saite, direkt am Steg angezupft, Steg-Pickup. Modellrechnung (links), Messung (rechts). Die Unterschiede widerlegen nicht die grundsätzlichen Modellannahmen, vielmehr zeigen sie, wie wichtig die (hier nicht enthaltene) Modellierung von Dehnwellen und Lagerimpedanzen ist.