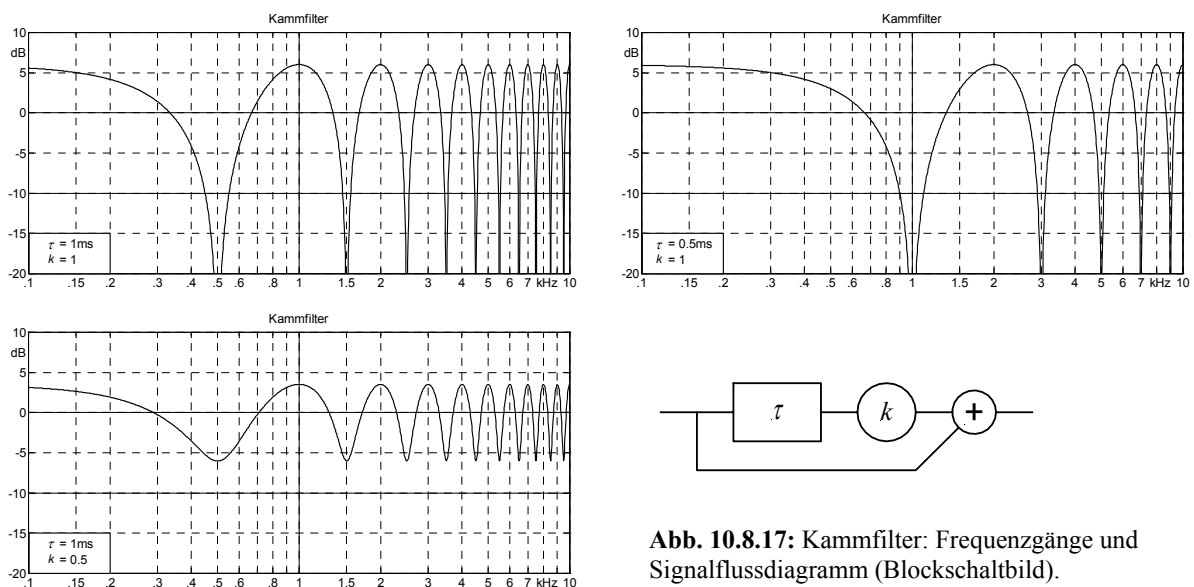


### 10.8.3 Phaser / Flanger / Chorus

Seit die erste Elektrogitarre einsatzbereit war, besteht der Wunsch nach Klangmodifikationen. Zunächst gab es nur die einfache sog. "Tonblende" (Potentiometer mit Kondensator), dann kamen aufwändigere Klangfilter hinzu, gefolgt von elektronischem Vibrato, Tremolo, Echo und Hall. Das typische Gitarren-**Echo** entsteht aus der periodischen Signalwiederholung (ca. 50 – 500 ms Verzögerungszeit), beim einfachen **Hall** kombiniert man mehrere Echofolgen unterschiedlicher Periodendauer, hochwertiger Hall entsteht in Federn (10.8.1) oder digitalen Signal-Prozessoren (im Studio auch in Hallplatten oder Hallräumen). **Phaser**, **Flanger** und **Chorus** sind elektronische Effekte, die mit einem Kurzzeit-Delay erzeugt werden. Das **Delay** ist ein lineares System, das Signale verzögert. Da die äquivalenten Bezeichnungen: Totzeitglied, Laufzeitleitung oder Verzögerungsleitung alle ziemlich ungebräuchlich sind, wird im Folgenden der genreübliche Terminus "Delay" verwendet. Ein **Kurzzeit-Delay** verzögert Signale nur um einige Millisekunden, und unterscheidet sich insofern vom Echosystem.

In Phaser, Flanger und Chorus wird zum Originalsignal das verzögerte Signal addiert, wodurch ein **Kammfilter** entsteht. Der Name leitet sich vom Betragsfrequenzgang ab, der entfernte Ähnlichkeit mit den Zinken eines Kammes hat (**Abb. 10.8.17**). Über einer linearen Frequenzachse folgen die Maxima und Minima (die Kammzinken) einander äquidistant, in der Elektroakustik ist aber – wie im Bild dargestellt – die logarithmische Frequenzachse üblich. Neben der Grundverstärkung, die eher unwichtig ist, bestimmen zwei Parameter das Filter-Verhalten: Die **Verzögerungszeit**  $\tau$  (die man natürlich auch Delay-Time nennen könnte ☺), und die **Delay-Verstärkung**  $k$ . Variation von  $\tau$  verändert die Frequenzen der Maxima und Minima, also den Abstand der Kammzinken, der Parameter  $k$  bestimmt, um wieviele dB sich das Verstärkungsmaß ändert. Bei negativem  $k$  liegt das erste Minimum bei  $f=0$ .



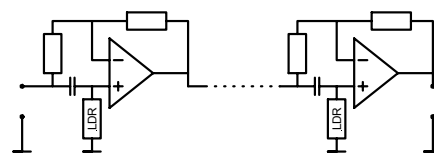
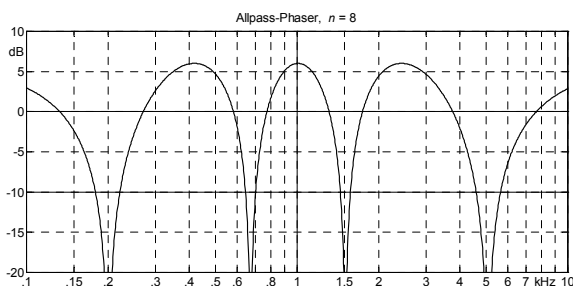
**Abb. 10.8.17:** Kammfilter: Frequenzgänge und Signalflussdiagramm (Blockschaltbild).

Das Kammfilter ist ein typisches **Interferenzfilter**: Die Verzögerung um eine halbe Periode führt bei einem Sinussignal zur Auslöschung (bzw. Abschwächung), Verzögerung um eine ganze Periode ergibt Verstärkung. Die Maxima und Minima wiederholen sich frequenzperiodisch: Ein Minimum entsteht auch, wenn man das Sinussignal um 1.5, 2.5, 3.5 Perioden verzögert, oder allgemein um  $n + 0.5$  (mit  $n = 0, 1, 2, \dots$ ). Ähnliches gilt für das Maximum. In der Systemtheorie wird ein derartiges Filter auch als **FIR-Filter** bezeichnet, wegen seiner (zeitlich) endlichen Impulsantwort: **Finite Impulse Response Filter**.

Das Besondere beim Phaser / Flanger / Chorus ist nun aber nicht so sehr der periodische Frequenzgang, sondern dessen zeitliche Änderung: Durch einen sehr niederfrequenten Generator (**LFO** = Low Frequency Oscillator) wird die Verzögerungszeit  $\tau$  periodisch verändert. Z.B. pendelt  $\tau$  einmal pro Sekunde zwischen 1 ms und 2 ms hin und her, wodurch jedes Minimum und Maximum als Funktion der Zeit einen bestimmten Frequenzbereich überstreicht. Streng genommen entsteht hierbei ein zeitvariantes System, dessen exakte Beschreibung nicht ganz trivial ist, die quasistationäre Näherung der sich verschiebenden Kammzinken ist für die Praxis aber ausreichend genau. Addiert man Original und Verzögerung (positives  $k$ ), so liegt das tiefstfrequente Minimum beim Kehrwert der doppelten Verzögerungszeit ( $1\text{ms} \Rightarrow 500\text{Hz}$ ). Bei einer zu kurzen Verzögerungszeit ist folglich fast kein Effekt zu hören, weil dabei nur mehr im Hochtonbereich kleine Änderungen stattfinden. Eine für den **Flanger** typische Verzögerungszeit ist etwa 1...5 ms, in Extremfällen auch mal 0.3...15 ms.

Vergrößert man die Verzögerungszeit über ca. 20 ms, entsteht eine neue Hörwahrnehmung: der **Chorus-Effekt**. In erster Näherung lassen sich also sowohl Flanger, als auch Chorus mit dem o.a. Blockschaltbild realisieren. Durch seine sehr kurze Verzögerungszeit erzeugt der Flanger relativ breite Minima im Signalspektrum, und ändert damit vor allem die Klangfarbe. Demgegenüber nähert sich die Verzögerungszeit des Chorus schon der Verschmelzungsschwelle für Echos, die bei ca. 50 ms liegt; das Gehör kann bei  $\tau = 25$  ms das verzögerte Signal zwar noch nicht als Echo erkennen, bemerkt aber bereits "einen Mitspieler". Und genau darauf kommt es beim Chorus an: Durch die leicht verzögerte Wiederholung soll Klangfülle erzeugt werden, so, als würden nicht ein, sondern zwei Instrumente spielen. Und da nicht nur im Flanger, sondern auch im Chorus die Verzögerungszeit vom LFO moduliert wird, entsteht sogar der Eindruck eines ganzen Instrumenten-Ensembles (Chorus kommt von Chor). Die einzelnen Stimmen setzen leicht zeitverzögert, und mit leicht unterschiedlicher Tonhöhe ein. Die **Tonhöhenänderung** (exakt: Frequenzänderung) ist eine Folge der zeitvarianten Verzögerungszeit  $\tau(t)$ . Während  $\tau$  zunimmt, erniedrigt sich  $f$ , nimmt  $\tau$  ab, wächst  $f$ . Die relative Verstimmung berechnet sich aus der zeitlichen Änderung der Verzögerungszeit:  $\Delta f/f = -d\tau(t)/dt$ . Als Beispiel: Wächst  $\tau$  während 0.5 s linear um 10 ms, wird die Frequenz des so verzögerten Signals um 2% erniedrigt. Eine dreieckförmige Delay-Modulation erzeugt somit zwei verschiedene (konstante) Verstimmungen, eine sinusförmige Modulation führt zu einem Hin- und Herpendeln der Tonhöhe. Bei einer dezenten Chorus-Beimischung (langsame Modulation, kleiner Frequenzhub) entsteht der gewünschte schwebende Chor-Effekt, bei extremer Einstellung wird das Jaulen der Frequenzmodulation hörbar.

Der **Phaser** ähnelt dem Flanger, verwendet zum Erzeugen der Verzögerung aber Allpässe, die ursprünglich aktiv realisiert wurden (**Abb. 10.8.18**). Verzögerungsbestimmend wirkt hier die RC-Kombination, deren Widerstand steuerbar als LDR oder FET realisiert ist. Da ein Allpass erster Ordnung die Phase nur um  $180^\circ$  dreht, müssen mehrere derartige Allpässe in Kette geschaltet werden; üblich ist  $n = 6 \dots 10$ . Im Gegensatz zum Flanger liegen beim Phaser die Minima nicht äquidistant. Es entstehen weniger Interferenzlöcher, die aber relativ breiter sind.



**Abb. 10.8.18:** Allpass-Phaser