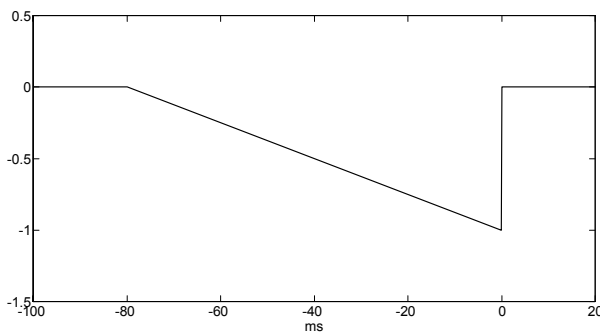


1.5.2 Plektrum-Einfluss

Die Auswirkungen des Anzupfvorganges auf den Klang lassen sich am einfachsten im Frequenzbereich diskutieren (**Abb. 1.27**). Der im Bild dargestellte Kraftimpuls dauert willkürliche $T = 80$ ms lang, \hat{F} ist der (hier negative) Maximalwert. F_S beschreibt das zu diesem Sägezahnimpuls gehörende Spektrum, F_δ gehört zum zeitlich differenzierten Sägezahnimpuls. In dem für die Gitarre wichtigen Spektralbereich macht es keinen großen Unterschied, ob der Impuls (wie im Beispiel) bei -80 ms beginnt, oder wesentlich früher; wichtig ist nur der Sprung bei $t = 0$. Deshalb ist von **Sprunganregung** die Rede, obwohl streng genommen ein Impuls vorliegt. Den mathematisch exakten Grenzfall erhält man, wenn T gegen ∞ geht; hierfür entfällt der erste Bruch in der Spektralfunktion, und für F_S bleibt mit $1/j\omega$ ein reines (Rechteck-) Sprungspektrum übrig. Das zeitliche Differential dieses idealen Sprunges ist der **Dirac-Impuls**, zu dem ein konstantes (weißes) Spektrum F_δ gehört. In der Systemtheorie wird meist mit (Dirac-) Impulsanregung und Impulsantwort gearbeitet, etwas praxisnäher sind (Rechteck-) Sprunganregung und Sprungantwort. Sieht man von der nicht wirklich existierenden Frequenz $f = 0$ ab, so sind beide Beschreibungen gleichwertig und umrechenbar.



$$F_S(j\omega) = \hat{F} \left(\frac{1 - \exp(j\omega T)}{\omega^2 T} - \frac{1}{j\omega} \right)$$

$$F_\delta(j\omega) = \hat{F} \left(j \frac{1 - \exp(j\omega T)}{\omega T} - 1 \right)$$

Abb. 1.27: Sägezahnimpuls: Zeit- und Spektralfunktion.

Weil der beim Anzupfen tatsächlich auftretende Kraftverlauf sich nicht wie in **Abb. 1.27** dargestellt verhält, wird ein **Plektrumfilter** definiert, das aus dem theoretischen Rechtecksprung den tatsächlichen Kraftverlauf formt. Der Betragsfrequenzgang dieses Plektrumfilters beschreibt den Einfluss des Anzupfvorganges auf den Klang.

Die folgenden Abbildungen zeigen Auswertungen von der erwähnten Ovation-Gitarre. Die tiefe E-Saite wurde mit einem dünnen Nylon-Plektrum (Meazzi 19) angezupft, das Piezosignal wurde direkt einem hochohmigen Messverstärker zugeführt und von der Dispersion durch Entfaltung mit einem inversen Allpass (Kap. 1.3.2) befreit. **Abb. 1.28** zeigt zwei auf diese Weise erhaltene Zeitfunktionen. Gegenüber **Abb. 1.27** fallen mehrere Unterschiede auf: Der (betragsmäßige) Kraftanstieg erfolgt nicht linear, sondern progressiv; innerhalb der letzten Millisekunden bilden sich mehrere Spitzen aus (Slip-Stick); nach dem Sprung sind Reflexionen zu sehen, die vermutlich von Longitudinalresonanzen herrühren.

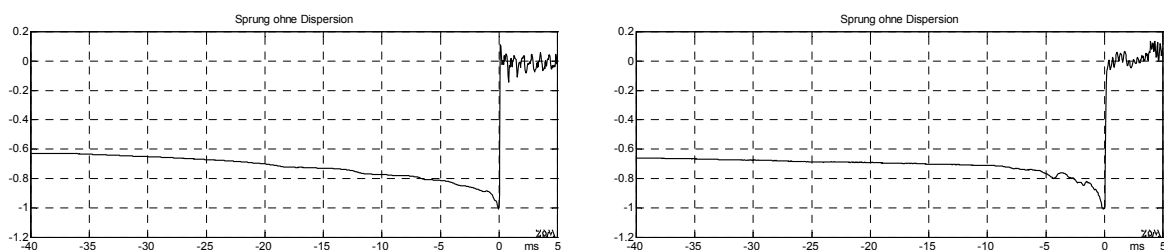


Abb. 1.28: Entfaltetes Piezosignal, zwei verschiedene Anzupfvorgänge.

In **Abb. 1.29** sind verschiedene Anzupfvorgänge gegenübergestellt. Die linke Spalte zeigt das dispersionsfreie, entfaltete Piezosignal, die rechte Spalte das zum differenzierten Piezosignal gehörende Betrags-Spektrum. Das Differenzieren erleichtert die Bewertung: Zum differenzierten idealen Rechtecksprung gehört eine konstante (weiße) Spektralfunktion.

Die erste Zeile a) zeigt einen fast perfekten Sprung. Erst ab ca. 3 kHz tritt ein Höhenabfall ein, der mit der Verrundung des Sprungs in Zusammenhang steht. Hierfür kommen mehrere Ursachen in Frage: Die Plektrumspitze ist verrundet, weswegen die Saite nicht exakt dreieckförmig ausgelenkt wird. Durch die Biegesteifigkeit der Saite wird dieser Effekt vermutlich noch vergrößert. Schon im Anregungssignal sind somit die hohen Frequenzen abgeschwächt, zusätzlich sind Saiten-Dissipationseffekte zu berücksichtigen, die sich ebenfalls im hochfrequenten Bereich auswirken.

Im Fall b) steigt die Kraft erst in den letzten Millisekunden auf ihr Betragsmaximum an. Dieser Verlauf ergibt sich bei steil stehendem Plektrum und deckenparalleler Plektrumsbewegung. Der Kraftverlauf ist impulsförmiger, im Spektrum sind die Tiefen abgeschwächt.

Die Analysen c) bis e) zeigen eine zunehmende Höhendämpfung, wie sie für ein rundes, hartes Plektrum typisch ist.

Bei den restlichen Analysen steigt die Kraft zunächst betragsmäßig an, um dann betragsmäßig durch ein Minimum zu gehen (die Kraft wirkt in negativer Richtung). Vermutlich rutscht hierbei die Saite am Plektrum entlang, bleibt kurz an der Plektrumkante hängen, um sich dann endgültig davon zu trennen.

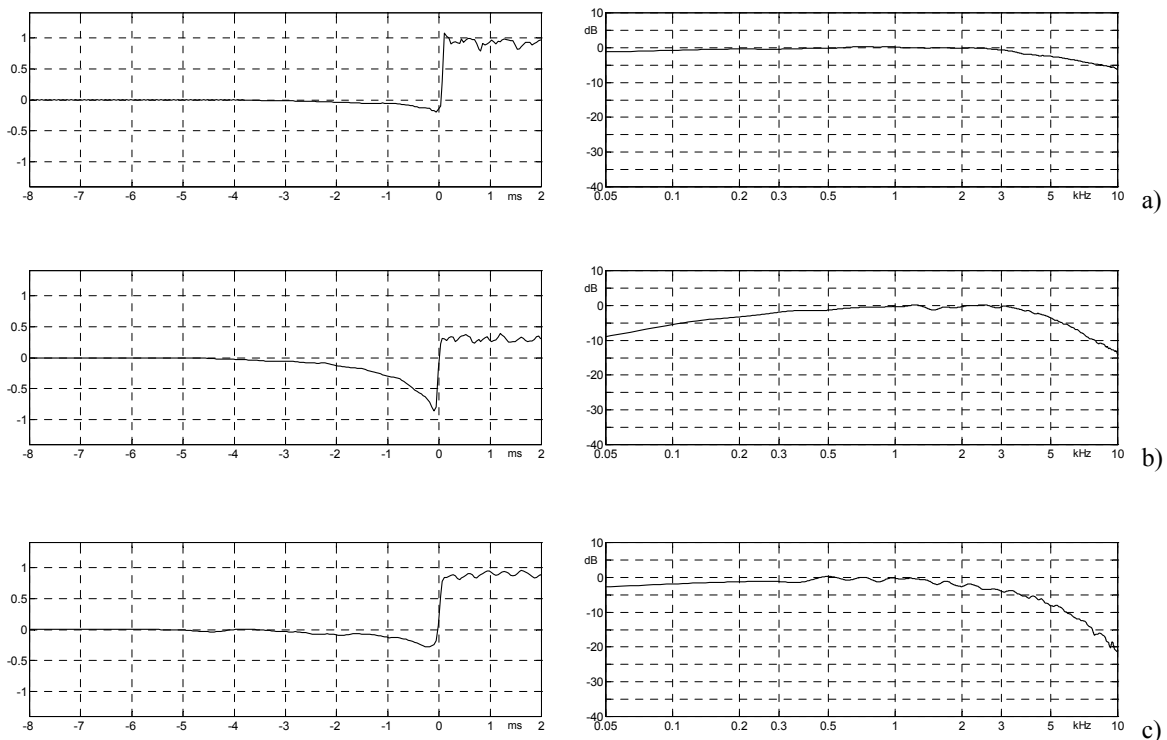


Abb. 1.29: Anregungssprung und Spektrum des differenzierten Sprungs, verschiedene Plektrumbewegungen.

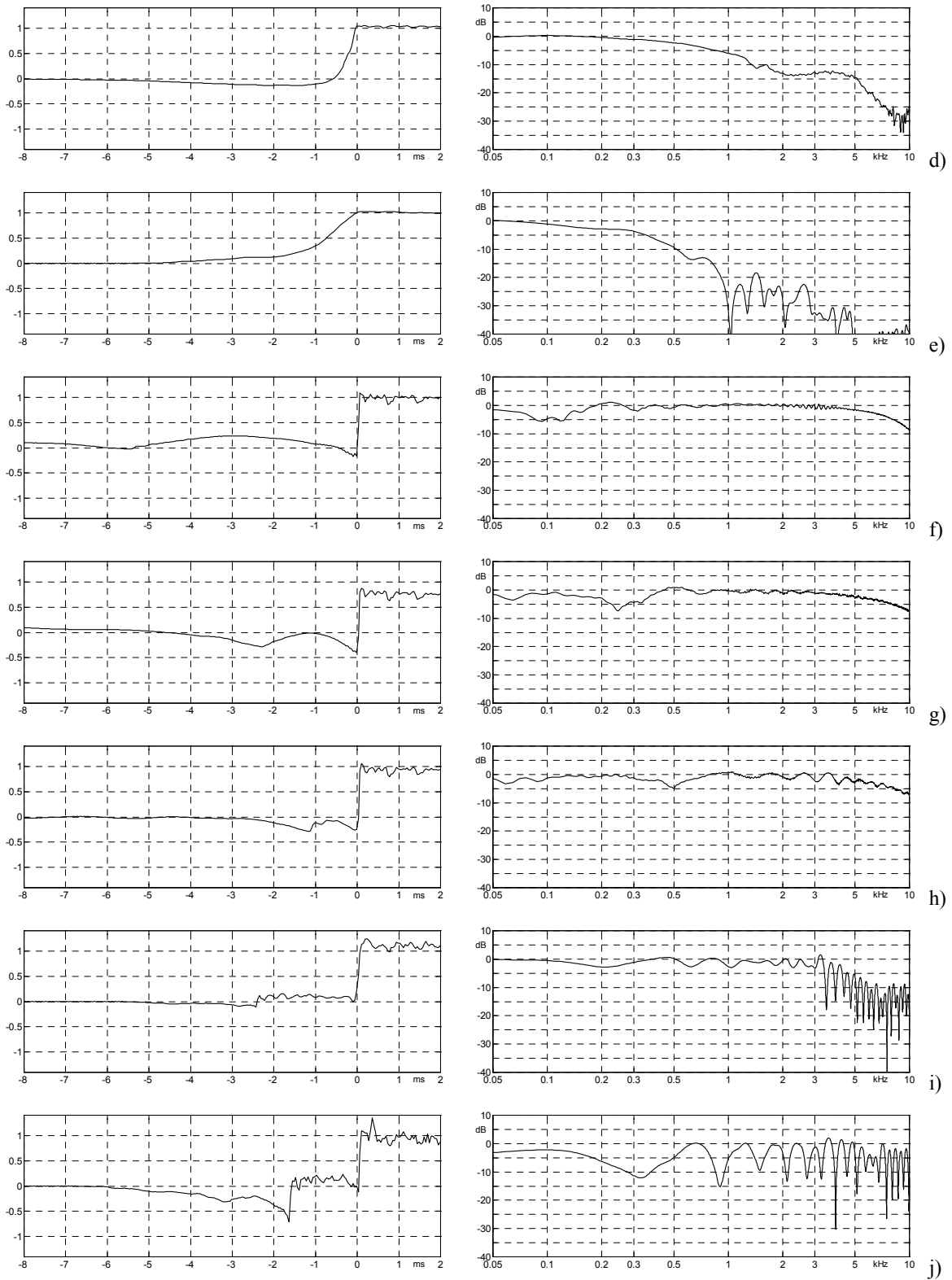


Abb. 1.29: Fortsetzung von der vorhergehenden Seite.

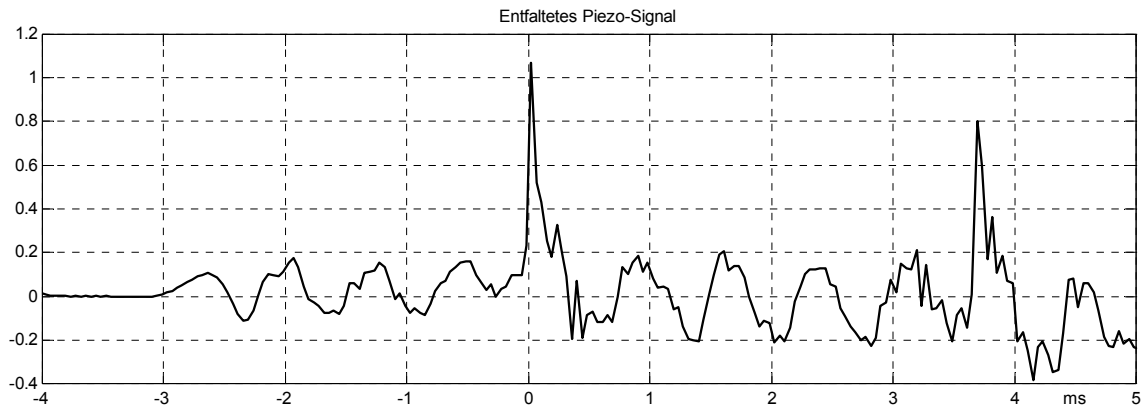


Abb. 1.30: Entfaltetes Piezosignal der in Längsrichtung angeregten (gekratzten) Saite

Abb. 1.30 dokumentiert ein interessantes Detail: Die tiefe E-Saite wurde hierbei mit einem scharfkantigen Metallplektrum in Saitenmitte in **Längsrichtung** angeregt, d.h. das Plektrum kratzt an der Saite entlang und springt von einer Windung der Umspinnung zur nächsten. Das vom Piezo übertragene Signal wurde wie bisher entfaltet, d.h. von der Dispersion befreit. Wenn das Plektrum über die Umspinnung springt, wird eine Biegewelle ausgelöst, deren erster (entfalteter) Impuls bei 0 ms dargestellt ist (der zweite kommt bei 3,7 ms). Zusätzlich wird aber auch eine **Dehnwelle** von ca. 1,4 kHz erzeugt (Kap. 1.4). Diese (nichtdispersive) Dehnwelle läuft mit wesentlich höherer Geschwindigkeit als die Transversalwelle, ihr Beginn wird durch die Entfaltung um 3 ms in die Vergangenheit geschoben. Der Entfaltungsalgorithmus trennt ja nicht nach der Wellenart, er korrigiert die Phasenlaufzeit eines jeden 1,4-kHz-Signals um -3 ms. Weitere Details zur Dehnwelle, insbesondere zur Verkopplung mit der Transversalwelle, wurden schon in Kap. 1.4 beschrieben.

Die in Abb. 1.29 und 1.30 dargestellten Anzupfvorgänge sind für Gitarren typisch, sie stellen aber nur eine relativ willkürliche Auswahl dar. Daneben gibt es eine Vielzahl weiterer Möglichkeiten zur Saitenerregung, wobei insbesondere berücksichtigt werden muss, dass neben dem Plektrum auch die Daumen- oder Zeigefingerkuppe in Kontakt mit der Saite kommen kann. Es deutet also nicht immer auf übersteigerte Eitelkeit hin, wenn ein Profigitarrist bei der Frage nach seinem Equipment an eine ausführliche Schilderung seiner custom-built Hardware ein selbstbewusstes "aber 90% vom Sound kommen aus die Finger" anhängt.