

1.5.3 Saitenprellen

Wird die Saite mit wenig Kraft angezupft, so reagiert sie näherungsweise als lineares System. Dies bedeutet, dass zu verdoppelter Initial-Auslenkung auch im weiteren Schwingungsverlauf in jedem Moment die doppelte Auslenkung gehört. Natürlich kann die Auslenkung nicht beliebig groß werden, irgendwann schlägt die Saite auf den Bündeln des Griffbretts auf und erzeugt dabei einen klirrenden Ton. Dieser ist bis zu einem gewissen Grad Ausdrucksmittel und deshalb nicht generell unerwünscht.

In dem Buch "E-Gitarren" von Day/Waldenmaier findet sich die Empfehlung: *"Durch eine leichte Schrägstellung des Steges ist es möglich, die hohe E-Saite gegenüber der tiefen E-Saite etwas flacher einzustellen. Letztgenannte hat nämlich eine größere Schwingungsamplitude und benötigt mehr Platz als die hohen Saiten"*. Bei allen üblichen Saitensätzen ist aber die Quersteifigkeit der tiefen E-Saite (E_2) größer als die der hohen (E_4) – warum sollte dann die steifere Saite mehr Platz zum Schwingen brauchen? Man kann ihr diesen Platz zugestehen; die Entscheidung ist aber genau so individuell wie die Wahl der Saitendurchmessers, und nicht mit generell größerer Amplitude begründbar.

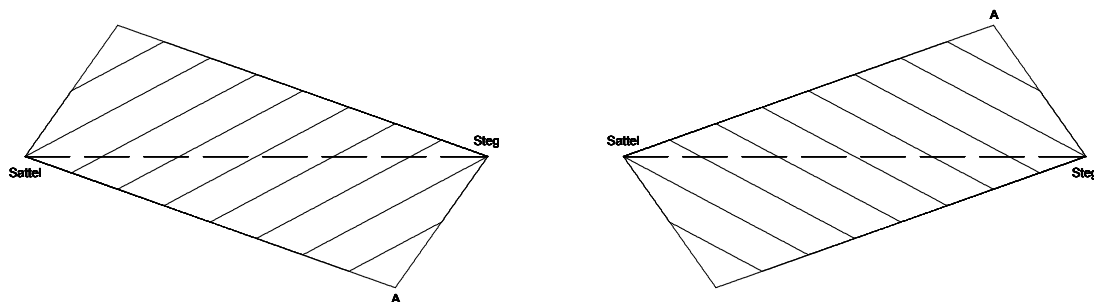


Abb. 1.31: Bei A ausgelenkte Saite (dick gezeichnet), Zwischenpositionen der Schwingung (dünn). Im linken Bild wurde die Saite gegen den Korpus gedrückt und losgelassen, im rechten Bild abgehoben und losgelassen.

Die Saite wird durch das Plektrum (Fingerkuppe, Fingernagel, ... Zähne ...) dreieckförmig ausgelenkt; nach dem Anzupfen bewegt sie sich innerhalb eines Parallelogramms – sofern man ein dispersionsfreies Modell zugrunde legt (**Abb. 1.31**). Diese parallelogrammförmige Bewegung kann sich aber nur einstellen, wenn der Saite keine Hindernisse in den Weg treten. Bündel sind potentielle Hindernisse; ihre unmittelbare Nachbarschaft bewirkt, dass die Saite nicht nur gelegentlich, sondern regelmäßig anstößt, wodurch die parallelogrammförmige Bewegung verändert wird. In **Abb. 1.32** ist ein (von der Seite betrachteter) Hals mit typischer konkaver Krümmung dargestellt. Die hierbei verwendeten Achsenrelationen gelten auch für die folgenden Abbildungen.

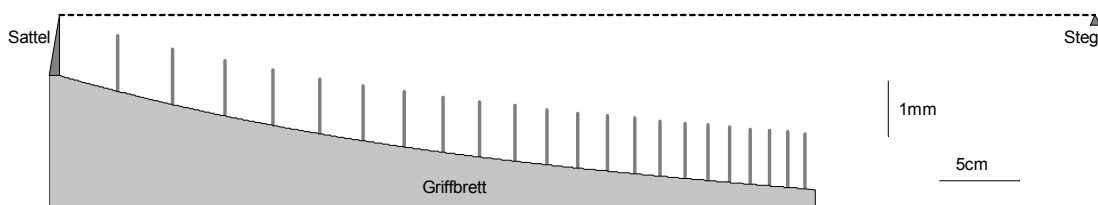


Abb. 1.32: Griffbrettgeometrie in stark verzerrtem Maßstab, Unterkante einer nicht ausgelenkten Saite (gestrichelt). Die Bündel werden durch die starke Vergrößerung der vertikalen Dimension zu Strichen verzerrt.

Wenn die bei A heruntergedrückte Saite (**Abb. 1.33**) keinen Kontakt mit den Bündeln hat, kann sie im dispersionsfreien Modellfall ungehindert ausschlagen. Die hochgehobene Saite prallt hingegen schon nach weniger als einer halben Schwingungsperiode auf den 10. Bund, ihre Schwingungsform wird komplett zerstört.

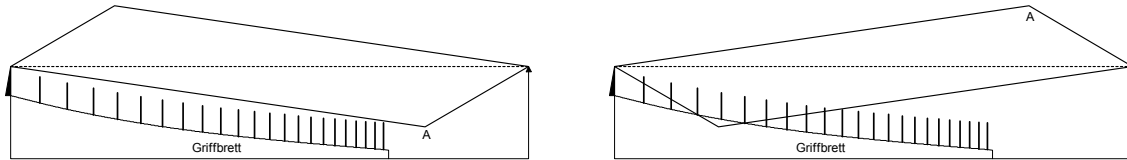


Abb. 1.33: Saitenparallelogramm. Im linken Bild wurde die Saite heruntergedrückt und losgelassen (ungehinderte Schwingung), im rechten Bild hochgehoben und losgelassen (Prellen am 10. Bund).

Der versierte Gitarrist variiert seinen Anschlag nach Bedarf und gestaltet den Klang des angeschlagenen Tones durch Verändern der Anschlagstärke und -richtung: Sowohl Drücken als auch Abheben der Saite kommt vor. Insbesondere bei dünnen Saitensätzen oder flacher Saitenlage ist aber noch ein weiteres Schwingungsmuster möglich, das entsteht, wenn die Saite beim Drücken Kontakt mit dem letzten Bund bekommt (**Abb.1.34**). Sobald die Saite (bei A) losgelassen wird, breitet sich nach beiden Seiten eine Querwelle aus, die zuerst am letzten Bund und dann am Steg eine Reflexion erfährt; als Konsequenz entsteht eine zum Sattel laufende Spitze, die dort reflektiert wird und auf den ersten Bund prallt (rechtes Bild).

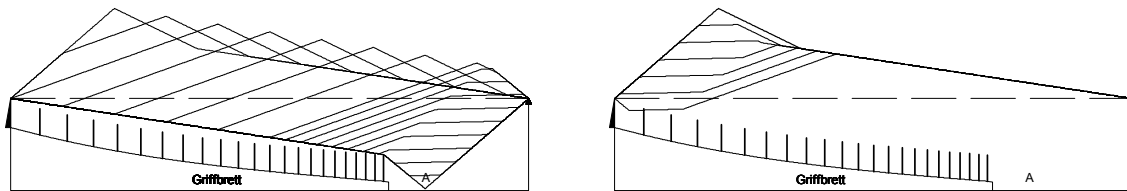


Abb. 1.34: Saitenauslenkung zu verschiedenen Zeitpunkten. Das linke Bild zeigt die erste Halbperiode, das rechte den folgenden Verlauf mit Prellen am ersten Bund. Anzupfen bei A mit Griffbrettkontakt. Die Zeitintervalle sind so gewählt, dass zu Beginn und nach $t = T/2$ die Auflösung verbessert wird. Ohne Dispersion.

Hierbei stellt sich sofort die Frage, wie häufig dieser Fall eintritt. Eine Kontaktmessung am letzten Bund ergibt: Sehr häufig. Zum besseren Verständnis ist in **Abb. 1.35** der Zusammenhang zwischen Anzupfkraft (Querkraft) und Saiten-Anfangsauslenkung (bei A) dargestellt. Da Querkräfte häufig um 5 N betragen (selbst 10 N werden gelegentlich erreicht), wird der Kontakt zum letzten Bund häufig hergestellt.

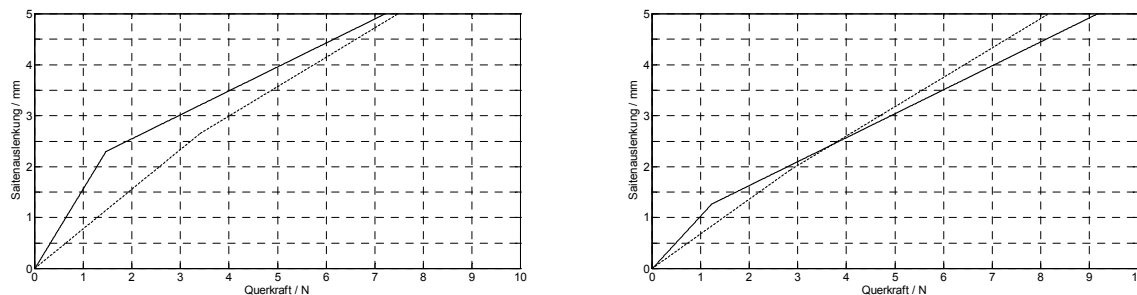


Abb. 1.35: Zusammenhang zwischen Querkraft und Saitenauslenkung, leere Saite (links), Saite am 14. Bund gegriffen (rechts); Anzupfpunkt 14 cm (—) bzw. 6 cm (---) vom Steg entfernt. 2,1 mm lichte Weite zwischen Saitenunterseite und Oberkante letzter Bund (= 22. Bund). H-Saite, 13 mil, Rechenergebnisse.

Abb. 1.35 kann entnommen werden, dass die Saite nur für schwachen Anschlag als lineares System arbeitet. Sobald die Saite beim Anschlag Kontakt mit dem letzten Bund bekommt, erfährt die Kraft/Auslenkungs-Kennlinie einen Knick, die Saitensteifigkeit steigt sprunghaft an. Diese degressive Charakteristik entspricht tendenziell einem **Kompressorverhalten**: Trotz stärkerer Anzupfkraft nimmt die Saitenauslenkung nur mehr mäßig zu. Hier steckt allerdings auch eine Quelle für Missverständnisse, denn Auslenkung ist nicht identisch mit Lautstärke! Sobald die Saite beim Anzupfen in Kontakt mit dem letzten Bund kommt, weicht ihre Schwingung von der erwähnten Parallelogrammform ab, wodurch sich Änderungen im Spektrum und damit auch im Klang ergeben.

In den folgenden Darstellungen wurde die E₄-Saite einer **Ovation**-Gitarre (EA-68) mit einem Plektrum angezupft; analysiert wurde die elektrische Spannung des in den Steg eingebauten Piezo-Tonabnehmers, also die Stegkraft. Der Anzupfort lag 125 mm vom Steg entfernt, das Plektrum wurde gegen den Gitarrenkorpus gedrückt, sodass nach dem Anzupfen eine griffbrettnormale Schwingung entstand. **Abb. 1.36** zeigt Zeitfunktion und Spektrum für den linearen Fall (kein Bundkontakt): Die Piezospannung springt zwischen 0 und 0,4 V hin und her, das Tastverhältnis ergibt sich hierfür aus der Saitenteilung (517:125, Mensur = 642 mm). Mit dem Übertragungskoeffizient 0,2 V/N (Kap. 6) erhält man die zugehörige Stegkraft zu 2 N, was in guter Übereinstimmung mit Abb. 1.35 ist. In diesem Beispiel sind 2 N die Grenze für linearen Betrieb; bei größerer Kraft schlägt die Saite auf den Bünden auf.

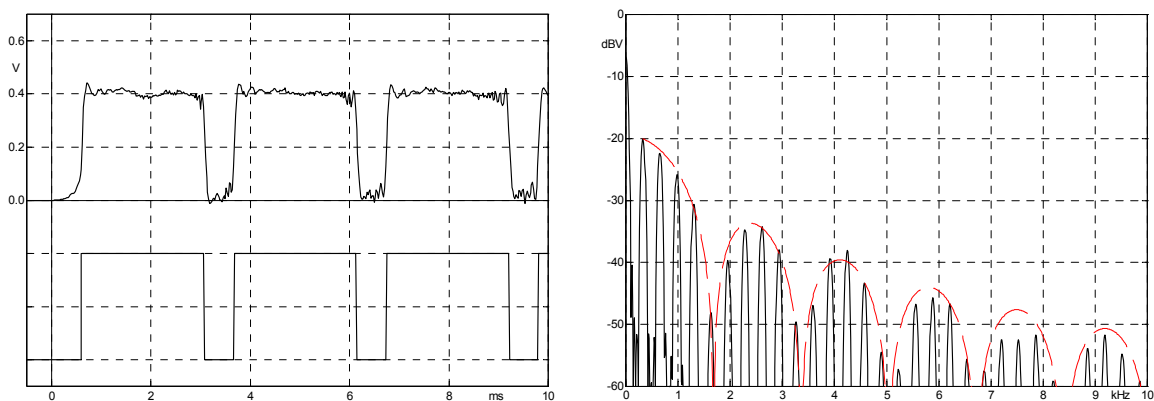


Abb. 1.36: Zeitfunktion und Spektrum des Piezosignals. In der oberen Hälfte des linken Bildes ist die gemessene Zeitfunktion dargestellt, darunter die berechnete. Das rechte Bild zeigt das gemessene Pegelspektrum, sowie die berechnete (idealisierte) Hüllkurve. Leere E₄-Saite, griffbrettnormale Schwingung.

Die in den folgenden Bildern (**Abb. 1.37**) dargestellten Auswertungen entsprechen Abb. 1.36, allerdings mit unterschiedlich starker Saitenanregung (jeweils griffbrettnormal). Für die ersten beiden Bildzeilen ist im Zeit- und Spektralbereich Proportionalität erkennbar, das Pegelspektrum wird bei stärkerem Anschlag lediglich nach oben geschoben, behält aber seine Form. Sobald die Anzupfkraft 2 N überschreitet (in den unteren beiden Bildzeilen), liegt die Saite auf dem letzten Bund auf und prellt. Zeitfunktion und Spektrum werden irregulär. Die starke Spitze in der Zeitfunktion findet ihr Pendant in der Ortsfunktion (Abb. 1.34); sie kann als Interaktion zweier Anregungen interpretiert werden:

- Saitenauslenkung, Kraftsprung bei $t = 0$ (idealisiert), und
- Gegenphasiger Kraftsprung am letzten Bund; setzt in dem Moment ein, in dem die Saite den letzten Bund verlässt ($t \approx 0,2$ ms).

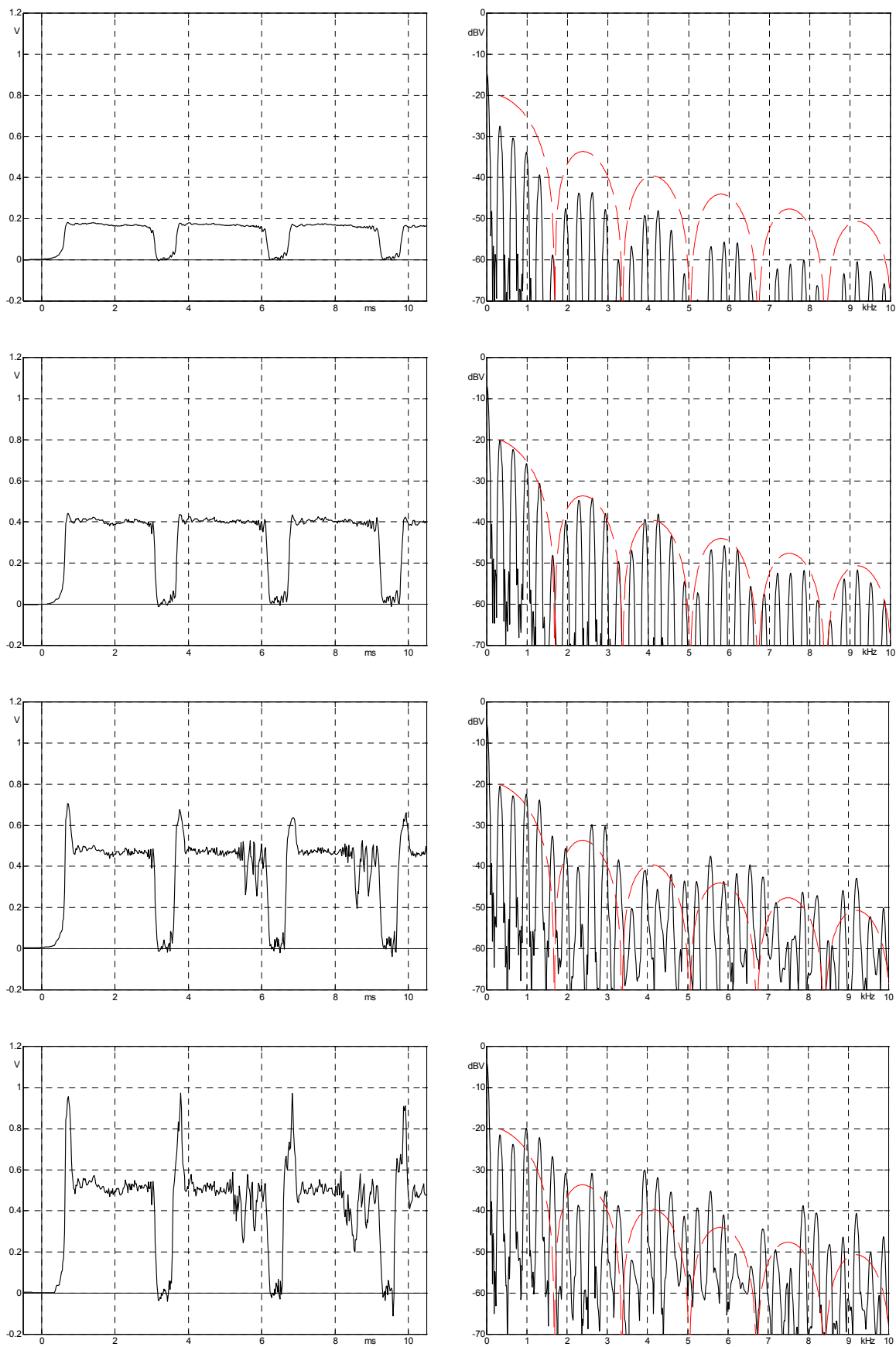


Abb. 1.37: Zeitfunktion und Spektrum der Piezovoltage, Saite unterschiedlich stark angezupft. Siehe Text.

Bei einer Akustikgitarre sind Spektralanalysen zweckmäßig, die den ganzen Hörbereich umfassen; für Piezotonabnehmer gilt Entsprechendes (Kap. 6). In **Abb. 1.38** sind drei der Schalle aus Abb. 1.37 als Terzspektren dargestellt. Das linke Bild zeigt Spektren einer schwach und mittelstark angezupften Saite, das System ist noch linear, die Spektren lediglich parallel verschoben. Starkes Anzupfen (rechtes Bild) führt nur mehr im mittleren und hohen Frequenzbereich zu einer Pegelzunahme, unterhalb von 1 kHz verringert sich sogar der Pegel. Werden andere Saiten gespielt oder die E₄-Saite an anderen Bündeln gegriffen, bleibt dieser Effekt tendenziell erhalten, die spektralen Unterschiede sind aber einzelfallspezifisch.

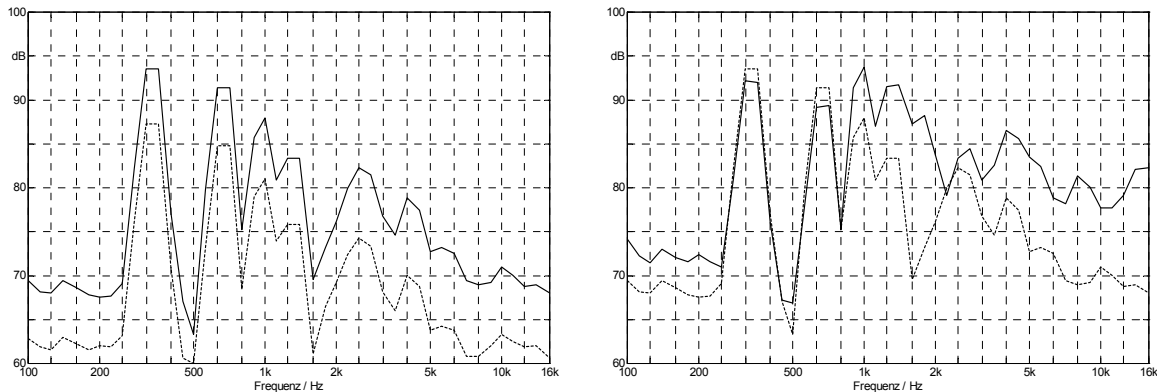


Abb. 1.38: Terzpegelspektren, leere E₄-Saite, überlappende Haupt- und Nebenterzanalyse.

Im linken Bild und bei der im rechten Bild gestrichelt gezeichneten Kurve tritt gerade noch kein Prellen auf. Starkes Anzupfen (rechtes Bild, durchgezogene Linie) führt dazu, dass die Saite am letzten Bund anliegt und prellt. Hierbei nehmen die Pegel der 1. und 2. Harmonischen sogar ab, während bei mittleren und hohen Frequenzen ein deutlicher Pegelzuwachs zu sehen ist.

Hieraus kann ein bei jeder Gitarre vorhandenes **Kompressorverhalten** abgeleitet werden: Bei leichtem Anzupfen arbeitet die Saite als lineares System, kleine Änderungen in der Anzupfstärke führen (in guter Näherung) im ganzen relevanten Frequenzbereich zu gleichartigen Pegeländerungen. Bereits bei mittelstarkem Anzupfen prellt die Saite an den Bündeln; je niedriger die Saitenlage und je dünner der Saitensatz, desto niedriger ist die Schwelle, ab der dieses Prellen einsetzt. Wird nun durch Filterung (Magnettonabnehmer) ein bestimmter Frequenzbereich hervorgehoben, so wird die Kompression unterschiedlich stark wahrgenommen. Fenderartige Singlecoil-Tonabnehmer, die den Frequenzbereich um 3 – 5 kHz betonen, werden weniger Kompression wahrnehmen lassen als Humbucker mit 2,5 kHz Resonanzfrequenz. Vielleicht nicht bei allen gespielten Tönen, aber bei dem in Abb. 1.38 gezeigten Beispiel. Komprimiert nun ein Humbucker mehr als ein Singlecoil? "Irgendwie" schon, aber nicht ursächlich. Denn Quelle der Kompression ist die Saite (und die Bündel), die in verschiedenen Frequenzlagen unterschiedlich komprimiert. Tonabnehmer und Verstärker bringen diese unterschiedliche Kompression unterschiedlich zu Gehör.

Hierzu eine Meinung aus der Zeitschrift Gitarre und Bass (02/2000): *"Was passiert, wenn ich z.B. das A auf der tiefen E-Saite über einen leicht angezerrten Amp zunächst sanft und dann immer härter anschlage? Die Strat verhält sich wesentlich dynamischer und man kann immer mehr Gas geben, bis, rein theoretisch, letztlich die Saite aufgibt und reißt. Die Les Paul zeigt einen gänzlich anderen Charakter: zunächst erzeugen die härter werdenden Anschläge auch mehr Lautstärke, doch dann kippt das Ganze um, die Töne werden nicht mehr lauter, sondern dichter – geradezu als wäre ein Kompressor/Limiter zugeschaltet worden. Wie meinen? Ja, das ist so, den Klangcharakter der Les Paul bestimmen die aus dem Verhalten der Hölzer resultierenden Informationen der Saitenschwingung, nicht die fetter klingenden Humbucker."*

Der G&B-Autor war so vorsichtig (?), nicht noch hinzuzufügen "womit gezeigt ist, dass Mahagoni stärker komprimiert als Erle". Allerdings folgert er: "*Jetzt wird auch verständlich, warum aus einer Strat trotz Humbucker niemals eine Les Paul werden kann. Man kann den Ton höchstens wärmer und fetter machen, doch die typische Kompression wird nicht erreicht.*" Leider berichtet er nicht, aufgrund welcher Versuche oder Modelle diese letzte Vermutung zustande kam.

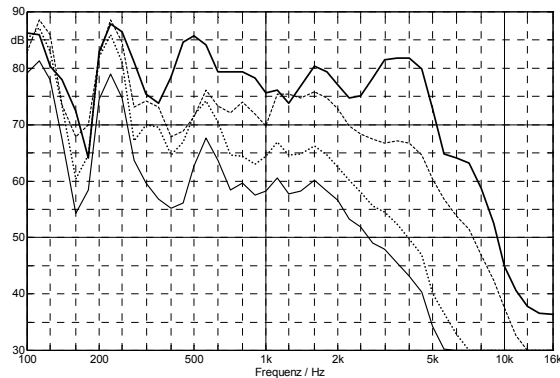


Abb. 1.39: Terzpegelspektrum, Stratocaster, Hals-Tonabnehmer, am 5. Bund gegriffene E₂-Saite (42mil). Schwach bis sehr stark angezupft. Abstand zwischen Plektrum und Steg: 13cm. Lichte Weite der leeren E₂-Saite zum letzten Bund: 2,3 mm.

Wie **Abb. 1.39** entnommen werden kann, komprimiert auch eine **Stratocaster** im Bereich der tiefen Teiltöne. Während der Pegelunterschied zwischen schwachem und sehr starkem Anzupfen bei 4 kHz immerhin 39 dB beträgt, sind beim Grundton nur 7 dB Pegelunterschied zu beobachten. Ein typischer Gibson-Humbucker überträgt das Spektrum der tiefen E-Saite nur bis ca. 2 kHz, und verpasst somit die Dynamik des 4-kHz-Bereichs, die der Fender-Tonabnehmer noch überträgt. Fast noch wichtiger dürfte bei dem in G&B beschriebenen Versuch aber das Verhalten des Verstärkers sein: "*Über einen leicht angezerrten Amp*". Aha! Der Gibson-Humbucker dürfte etwa doppelt so viel Spannung erzeugen wie der Fender-Singlecoil. Damit wirkt aber auch der **Verstärker** bei der Signalkompression mit; er komprimiert bzw. limitiert das lautere Signal (Les Paul) stärker.

Das bedeutet nun aber nicht, dass die Kompression nur von Saitenlage und Verstärker bestimmt wird. Beim Prellen trifft eine Metallsaite (E-Gitarre) auf einen Metallbund: Die Folge ist ein breitbandiges Prellgeräusch, dessen Spektrum bis zur oberen Frequenzgrenze des Hörbereichs reichen kann. Von besonderer Bedeutung für dieses Prellgeräusch sind Saiten- und Bundmaterialien: Stahlumspinnene Saiten (pure steel wound) erzeugen ein aggressiveres, höhenbetonteres Geräusch als nickelumspinnene Saiten (pure nickel wound). Alte Saiten, deren Umspinnungs-Zwischenräume sich mit Rost, Fett, etc. gefüllt haben, klingen stumpfer als neue Saiten. Aber auch der **Bunddraht**, auf den die Saite aufprellt (das kann im Verlauf der Schwingung jeder Bund sein), trägt mit seiner mechanischen Impedanz zum Prellgeräusch bei. Eine ausführliche Analyse der mechanischen Hals- und Korpusimpedanz erfolgt im siebten Kapitel, Saite/Bund-Kontakte werden detailliert in Kap. 7.12.2 analysiert.