

Die Elektrik der Fender Stratocaster, Teil 1

Von Bernd C. Meiser

Leo Fender, beheimatet im sonnigen Kalifornien/USA, war ein unermüdlicher und genialer Tüftler. Viele perfekte Gerätschaften für Gitarristen und Bassisten wurden von ihm entworfen, so auch die 1954 eingeführte Fender Stratocaster E-Gitarre. Sie wurde über die Jahrzehnte bis in die heutige Zeit hinein fast unverändert gebaut, sie ist schlicht die meist verkaufte E-Gitarre auf diesem Erdball geworden. Ein guter Grund also, sich heute einmal die elektrische Ausstattung dieser zeitlosen Gitarre näher anzusehen.

Allgemeines

Leo Fender war begeisterter Western-Swing Musik Fan, seine Gitarren sollten also auch den Sound dieses Musikstils generieren können. Es brauchte also einen knackigen, frischen höhenreichen Sound. Wie kommt dieser zustande? Schauen wir jetzt zu den elektro-physikalischen Feinheiten, damit geklärt wird, warum diese Pickups diesen Klang hervorbrachten, der zum Erfolg dieses Gitarrentyps mit beitrug.

Die drei baugleichen Tonabnehmer der Stratocaster - kurz auch Strat genannt, bestanden nur aus dem Nötigsten [Bild 1]. Jeder Saite war ein AlNiCo5 Zylindermagnet zugeordnet, der dann die metallene Saite magnetisierte. Damit die Magnete in definierter Position gehalten wurden, steckte Leo diese durch zwei passend gestanzte Vulkanfiber Platten. Gleichzeitig bildete jetzt dieses Konstrukt einen nahezu perfekten Spulenkörper; die Wicklung wird einfach direkt um die Magnete gewickelt, fertig - ein separater Spulenkörper wie bei z.B. bei Gibson oder Gretsch Pickups war so gar nicht nötig. Dieser Pickup (auch kurz PU genannt) war auch ohne separaten Spulenkörper funktionstüchtig & stabil. Zum Schutz der empfindlichen Drahtwicklung wurde der Pickup mit einer Plastikhaube versehen.

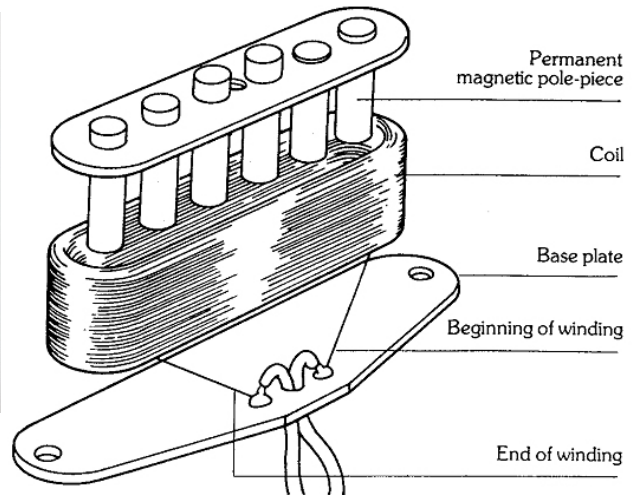
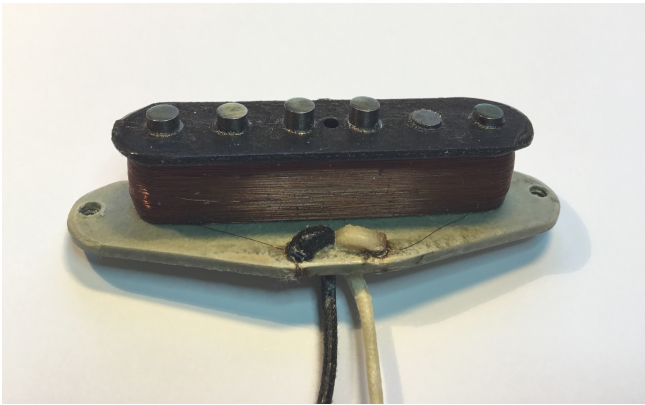


Bild 1

Physikdetails

Ein Stück Draht hat einen (temperaturabhängigen) ohmschen Widerstand R , je länger der Draht, je größer der - spezifizieren wir etwas genauer, Gleichstromwiderstand – dieser oft von Pickup-Herstellern kurz als „DCR“ tituiert. Beim Strat PU wählte Leo Fender nach etlichem trial & error etwa 8000 Windungen eines dünnen Kupferlack Drahtes in einem Durchmesser, der auch bei den anderen am Markt befindlichen PUs (z.B. der P90 von Gibson) üblich war und zudem noch vernünftig verarbeitbar war. Das war ein Draht mit dem amerikanischen Maß AWG 42 bzw der für uns besser lesbaren metrischen Dicke von 0,063mm. Nun, bei einer Anzahl von im Mittel etwa 8000 Windungen (im Laufe der Jahrzehnte wird diese Anzahl leicht variiert) kamen dann so um die 6k Ω Gleichstromwiderstand zusammen.

Jetzt produziert aber ein Stück Draht auch eine Wechselstromwirkung, der Draht besitzt nämlich eine kleine Induktivität L , die sich durch „aufwickeln“ noch weiter verstärkt. Der gesamte Drahtwickel des Strat PU kommt final auf etwa 2,5H (Henry) – eine schon stattliche Größe (zum Vergleich: eine WahWah Spule bringt es auf 500...600mH). Diese beiden bis jetzt eingeführten elektrischen Größen (L & DCR) sind noch gut „erkennbar“.

Weniger gut bekannt ist der Fakt, dass – wenn zwischen zwei Punkten im Raum eine Potentialdifferenz $\Delta\phi$ herrscht, zwischen diesen beiden Punkten auch eine Kapazität C existiert. Nun wird dieser grundlegende physikalische Umstand auf unseren PU-Wickel angewendet. Zwischen jeder Lagenwicklung oder – wenn wir es ganz genau nehmen, selbst zwischen jeder Windung existiert eine kleinste Kapazität. Fassen wir dies alles einmal praktisch zusammen, besteht dann tatsächlich zwischen dem Wickelanfang und dessen Ende eine kleine, aber merklich existierende Kapazität – hier beim Strat PU wären dies etwa 120pF.

Magnetisches

Natürlich hat der metallene AlNiCo5 Magnet – ist jetzt kaum bekannt, auch eine Wechselstrom Wirkung in dem magnetischen Kreis, deren physikalisch Ursache jedoch schon einen tieferen Einblick in die physikalischen Geschehnisse voraussetzen würde, darauf wird jetzt verzichtet – schließlich sind wir ein Gitarrenmagazin und keine Physik-Gazette. Jedenfalls, seine dämpfende Wirkung im Ersatzschaltbild lässt sich dennoch vereinfacht mit einem hochohmigen Widerstand R_m repräsentieren, welcher der Wicklungsinduktivität L parallel geschaltet wird. Die Größe des R_m kann wegen der extrem schwierigen Zusammenhänge hier in der Festkörperphysik nicht analytisch gewonnen werden, er wird folglich experimentell zu bestimmen sein. Dieser magnetische Dämpfungswiderstand R_m beträgt bei unserem Strat PU mit sechs Zylinder Magneten etwa 800...1000k Ω – bei genauem Hinsehen ist dieser sogar komplex (frequenzabhängig).

Hinweis: Bei vielen Pickup Ersatzschaltbildern im Netz bzw in Web-Foren fehlt jener magnetische Dämpfungs-R – sicherlich aus Unkenntnis. Das führt dann zu einer riesigen Resonanzüberhöhung – die natürlich so in der Praxis nicht existiert bzw nicht auftritt. Um jetzt zu verdeutlichen, wie stark diese magnetische Dämpfung der Magnete tatsächlich ausfällt, habe ich die Grafik [Bild 2] des puren Strat PU (= ohne weitere Verkabelung) einmal ohne (blaue Kurve) und einmal mit dem korrekten Dämpfungs-R (grüne Kurve) generiert. Durch Weglassen diesen Dämpfungs-R wird die Resonanzüberhöhung um sage und schreibe etwa 13dB zu groß dargestellt. Wer also heutzutage Software-Simulationen erstellt, um Sachverhalte um die Gitarrenelektrik aufzuzeigen und zu diskutieren, bekommt ohne diesen R_m eine fehlerhafte Analyse!

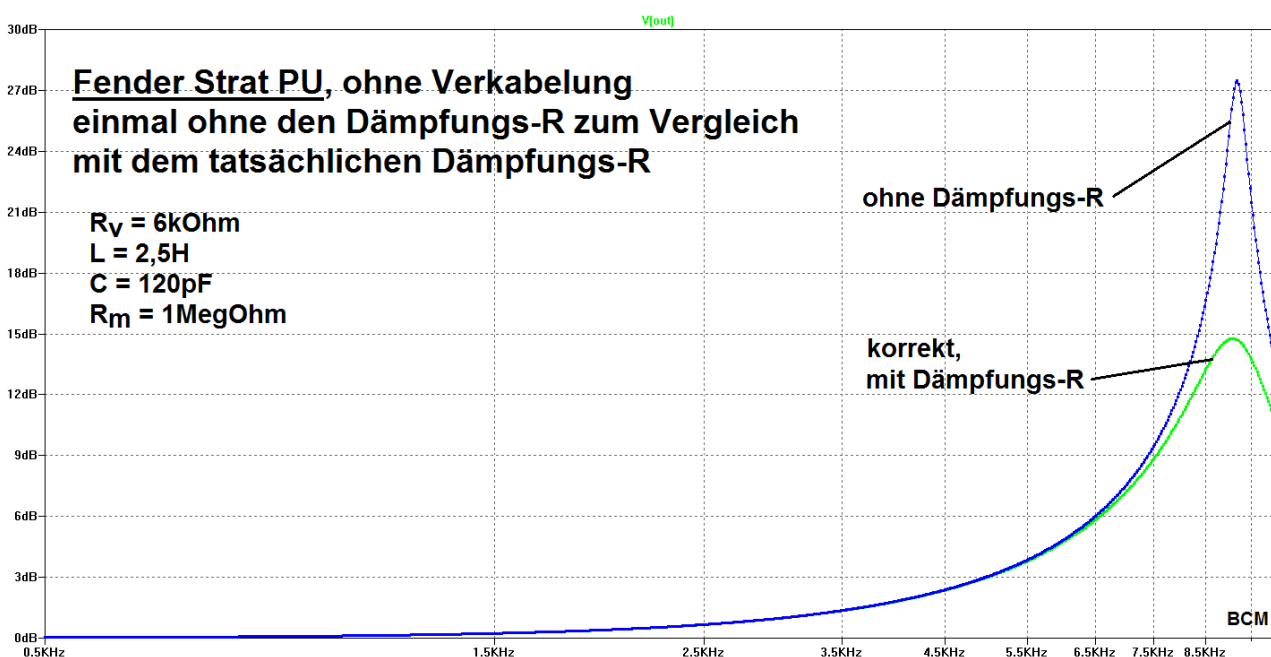


Bild 2

Frequenzgang

Jetzt haben wir vier elektrische Größen aus dem Fender Strat PU extrahiert und wollen diese jetzt auch sinnig darstellen, um das System in seiner Gesamtheit zu verstehen und später zu diskutieren [Bild 3].

Ersatzschaltbild Fender Strat PU

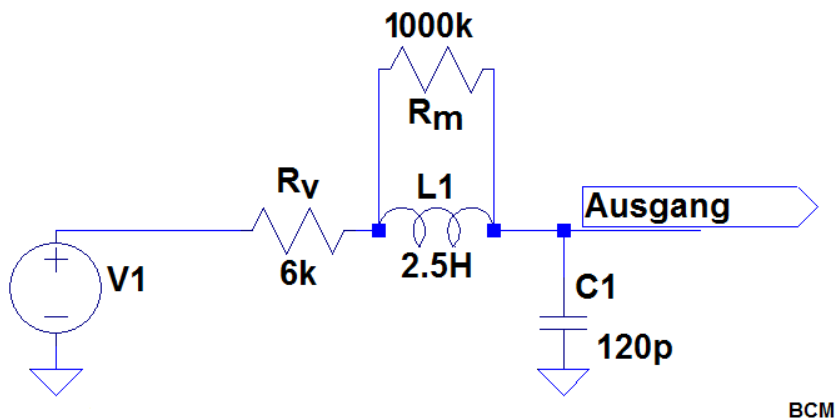


Bild 3

Es ergibt sich praktisch ein Tiefpass zweiter Ordnung. Dieses speziell hier vorliegende „System zweiter Ordnung“ bezeichnet man in technischen Disziplinen auch als „Schwingungs Differentialgleichung“ – es spielt in der E-Technik, Regelungstechnik oder Maschinenbau (z.B. schwingfähige Feder-Masse-Systeme) eine große bedeutsame Rolle. Entsprechend gut sortiert ist die Fachliteratur darüber.

Unser Strat PU besitzt also von den tiefen Frequenzen an beginnend einen zunächst linearen Frequenzgang [Bild 2], dessen Amplitude dann in den oberen Höhen schnell merklich zunimmt, dann gar in einem Punkt (hier 9kHz) ein Maximum erreicht, um danach steil abzufallen. Dieser typische Frequenzgang ist jetzt allen magnetischen Pickups gemeinsam, lediglich die Kennwerte dieser Kurve schwanken je nach PU Konstruktionsdetails.

Der aufmerksame Leser wird sich nun fragen, wie kann es in einem passiven System ohne zusätzliche Energiezufuhr von außen möglich sein, dass eine Ausgangsgröße in einem bestimmten Bereich (Resonanz) größer wird als die Eingangsgröße. Achtung: hier strickt zwischen Energiegrößen & Feldgrößen unterscheiden! Betrachten wir zunächst die Energiebilanz. Zu keinem Zeitpunkt ist hier die Ausgangsleistung größer/gleich der Eingangsleistung! Denn sonst hätten wir ja hier ein sagenumwobenes „perpetuum mobile“ vorliegen! Es findet lediglich eine Art hochohmige Transformation bei Resonanz statt, sodass es dort dann zu einer Erhöhung der Feldgröße Ausgangsspannung gegenüber dem Eingang

kommt. Das muss als wackelige Erklärung genügen. Hier werde ich die Erklärung dann auch abbrechen (müssen), denn die eigentliche Ursache ist ohne eingeübte, fundamentierte Hochschul-Mathe (z.B. Ortskurvendiskussion) nicht aufzuzeigen.

Strat-Elektrik

Ersatzschaltbild

Stratocaster Gitarre angeschlossen

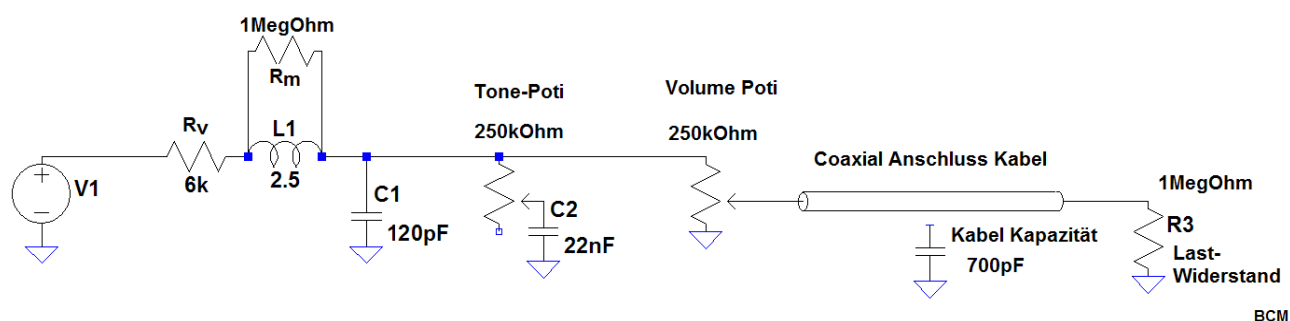
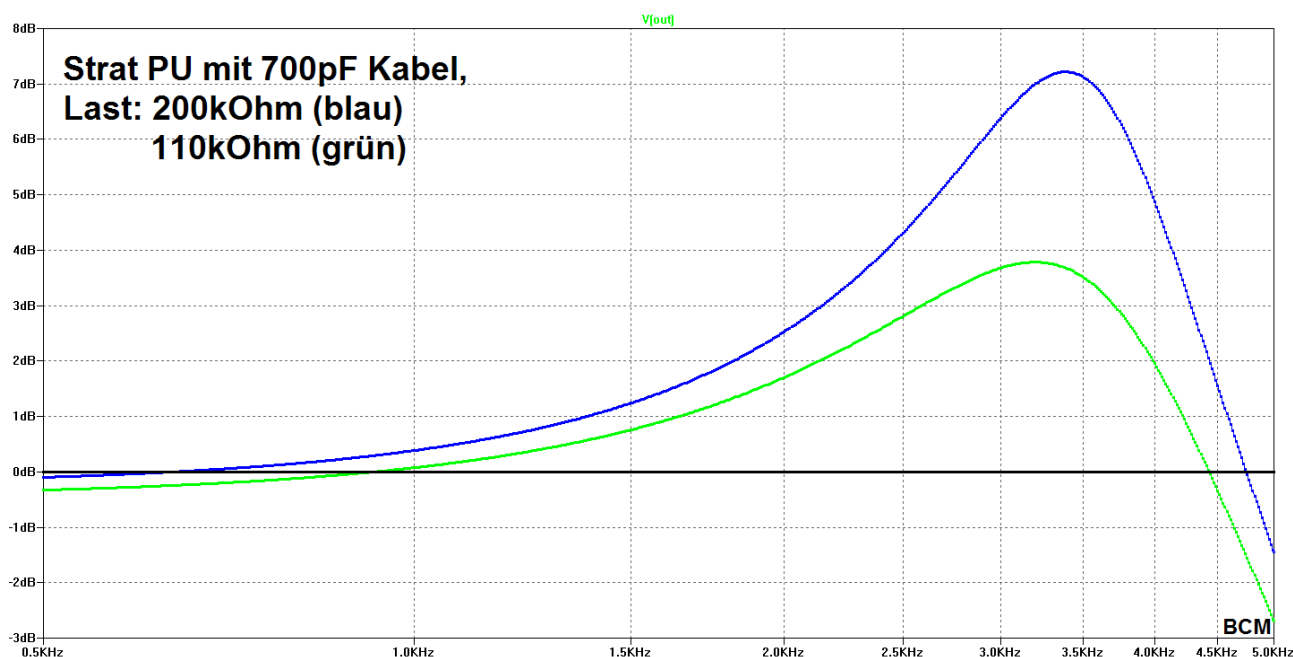


Bild 4

Von dem Strat PU gelangt das Signal über den PU-Wahlschalter dann zu dem Volume-Einsteller, um die Lautstärke der momentanen Situation anzugleichen [Bild 4]. Dieser Volume mit dem gewählten Wert von $250\text{k}\Omega$ – übrigens übernommen aus der bereits 1948 erfolgreich eingeführten Fender Telecaster E-Gitarre, da der sich dort bestens bewährt hat, bildet die erste externe Last, welche der PU sieht – wir werden aber feststellen, der PU sieht da noch mehr. Unter dieser Last bricht die Resonanzhöhe etwas zusammen. Der Leerlauf Betriebszustand des PUs von eben hat sich nun fast auf den praktischen Betriebszustand eingestellt. Nun gilt es, die Gitarre anzukabeln. Mittlerweile sollte bekannt sein, dass ein Kabel eine Kapazität besitzt, so in der Größenordnung von grob $80 \dots 120\text{pF}$ pro laufenden Meter. Das übliche $20\text{ft} = \text{etwa } 6\text{m}$ lange Kabel bringt es also auf etwa $500 \dots 700\text{pF}$. Schnell erkennt man im Ersatzschaltbild [Bild 4], dass sich dieser Wert zu den 120pF Systemkapazität des PU hinzu addiert mit einer sofort hörbaren Änderung – nämlich: Die Resonanzfrequenz rutscht von der doch hohen Leerlaufresonanz (9kHz) auf etwa $3,5\text{kHz}$ [Bild 5].



Und genau dieser Frequenzgang generiert diesen typischen Fender Strat Sound. Rutscht jetzt z.B. diese Betriebsresonanz weiter zu den Mitten hin, indem man ein Kabel benutzt mit einer höheren Kapazität z.B. ein längeres Kabel mit 10Meter, wird der dann generierte Sound fetter & wärmer. Der Physiker & Fachbuchautor Helmuth Lemme hat in seinem Buch „Elektrogitarren“ (vierte erweiterte Auflage, 1982, Seite 87) eine treffende Zusammenstellung über verschiedene PU Resonanzfrequenzen sowie die Wahrnehmung dieser mit deren Beschreibung in Worten gefertigt – siehe Tabelle 1.

Resonanzfrequenz (kHz)	Klang
unter 1 kHz	dumpf
ca. 1 – 1,5 kHz	sehr weich
ca. 1,5 – 2 kHz	warm
ca. 2 – 2,5 kHz	singend
ca. 2,5 – 3 kHz	brillant
ca. 3 – 5 kHz	grell, metallisch
ca. 5 – 8 kHz	spitz
ca. 8 – 15 kHz	glashart
über 15 kHz	neutral, farblos

Tabelle 1

Jetzt steckt aber das Gitarren-Anschlusskabel an seinem anderen Ende in dem Eingang eines Gerätes zur Weiterverarbeitung des Tonsignals, welches natürlich einen Eingangswiderstand besitzt – genauer eine Impedanz, also einen Eingangs-R plus parallel dazu wirkenden Eingangskapazität. Heut zu Tage liegt der Eingangs-R dieser Geräte bei $500\text{k}\Omega$ bis $1\text{M}\Omega$. Bei voll aufgedrehtem Volume-Einsteller liegt also dem PU als Last nicht nur das Kabel, sondern auch noch der Eingangs-R dieses nachfolgenden Gerätes an. Genau wie der Volume-Einsteller bedämpft dieser Eingangs-R die Resonanzhöhe des PU – übrigens, egal wo sich diese aktuell befindet.

Die Realität

Nachdem wir nun den PU mit dem Zusammenwirken seiner Parameter offen gelegt haben, geht es jetzt (endlich) um die Frequenzgänge des kompletten Systems, so wie des Signals Frequenzgang an das erste der Gitarre folgende Gerät via Kabel zur Weiterverarbeitung übergeben wird. Das kann jetzt ein Stimmgerät, ein FX-Pedal oder einfach der Amp sein.

[Bild 5] zeigt jetzt die Resonanzerhöhung bei 700pF Last-C – also einem durchschnittlichen Kabel, für den Strat-PU bei unterschiedlicher, aber Praxis gerechter ohmschen Belastung. Die $200\text{k}\Omega$ Last entstehen (blaue Kurve), wenn dem $250\text{k}\Omega$ Volume Poti in der Gitarre (ohne $250\text{k}\Omega$ Tone Poti) der $1\text{M}\Omega$ Eingangs-R des nachfolgenden Gerätes (z.B. ein üblicher Tube-Amp) zugeschaltet ist – also der reale Betrieb des Steg PUs der klassischen Strat. Wird hingegen der Hals PU eingeschaltet, muss noch mit der zusätzlichen Wechselstromlast des dann noch zusätzlich zugeschalteten $250\text{k}\Omega$ Tone Poti gerechnet werden, das ergibt final die $110\text{k}\Omega$ Kurve (grün). Im realen Betrieb bleibt also gar nicht mehr so viel von der ursprünglichen Resonanzüberhöhung übrig, bleibt aber immer noch gut hörbar.

In der kommenden Folge will ich mich dem Tone Poti und speziell dem Volume Poti zuwenden.

Bernd C. Meiser

Dieser Artikel wurde ursprünglich in der Zeitschrift **guitar**, Heft 237 aus dem PPVMedien Verlag veröffentlicht.

Veröffentlichung im GITEC-Forum mit freundlicher Genehmigung.

Alle Rechte liegen beim Autor

GITEC hat sich zum Ziel gesetzt, das Wissen (wie in Wissenschaft) rund um E-Gitarre, Amps und alles was dazugehört unter die Menschheit zu bringen. Sozusagen als Gegengewicht zur allgegenwärtigen Voodoo-Magic Marktschreierei. GITEC will die Magie wieder dahin bringen, wo sie hingehört: raus aus der Technik, die wir erklären können, zurück in die Köpfe und Hände der Musiker.

GITEC: Keep the magic - cut the BS

