Guitar Letters II

Klangveränderungen am elektromagnetischen Tonabnehmer

Autor:	Ulf Schaedla
Mail:	Ulf.Schaedla@web.de
Datum:	29.07.2005
Version:	1.2
Status:	Veröffentlicht

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrages, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen sowie anderweitige Veröffentlichungen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes, gleich welcher Art, ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland zulässig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Nutzung dieses Werkes ist ausschließlich an einem Bildschirmarbeitsplatz für jedermann frei und kostenlos. Das Werk ist alleinig unter der Domain www.schaedla.org verfügbar. Andere Quellen gelten als nichtlizensiert und stellen eine illegale Kopie dar.

Die Wiedergabe von Marken- und Gebrauchsnamen usw. in diesem Werk berechtigen nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jederman benutzt werden dürfen. Der Autor betont ausdrücklich, daß er weder mit diesen Marken- und Gebrauchsnamen verbunden ist, noch sich diese zu Eigen macht.

Die Veröffentlichungen von Schaltungen und Verfahren erfolgen ohne Rücksicht auf bestehende Patente, da sie einzig zu Amateur- und Lehrzwecken bestimmt sind. Eine gewerbliche und kommerzielle Nutzung ist ohne die ausdrückliche und schriftliche Zustimmung des Autors und/oder der entsprechenden Rechteinhaber nicht gestattet.

Trotz sorgfältiger Überprüfung aller Inhalte, lassen sich Fehler nicht immer vermeiden. Der Autor kann deshalb weder eine Garantie auf Fehlerlosigkeit geben, noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung übernehmen. Für Hinweise auf Fehler sowie für Ergänzungs- oder Verbesserungsvorschläge ist der Autor zu jeder Zeit dankbar.

Versionsübersicht

Version	Date	Bemerkung
1.0	06.04.2005	-
1.1	07.04.2005	- Diverse Rechtschreibkorrekturen - Umstellung auf PDF 1.5 (Acrobat 6 erforderlich)
1.2	29.07.2005	- Bild der modifizierten Cimar Strat zugefügt. - Neue PAF-Bilder zugefügt. - Fehler in Bild 4-7 korrigiert. - Weitere Schaltungsbeispiele und Beschreibungen in Kapitel 4 zugefügt. - Informationen über Schalter in Kapitel 6.2 zugefügt. - Kapitel über Les Paul eingefügt.

Vorwort

Die von dem amerikanischen Hersteller „Gibson“ in der Anfangszeit des Humbuckers hergestellten Tonabnehmer genießen, ob ihres Klanges, bei vielen Musikern einen legendären Ruf. Da die Originale selten und sehr teuer sind, gibt es viele Hersteller von Austauschtonabnehmern, die Replikate anbieten. Der Preis für diese Tonabnehmer kann sich allerdings auch sehen lassen. Bis zu 150 Euro für ein Pickup sind schon ein stolzer Preis, wenn man bedenkt welcher Materialeinsatz hier eigentlich notwendig ist.

Für die Hersteller ist der Austausch eines Tonabnehmers als Mittel der Klangveränderung bei der Elektrogitarre der einzig wahre Weg und so verschweigen sie in der Regel konsequent, daß es auch anders geht. Der elektromagnetische Tonabnehmer birgt selbst keine großen Geheimnisse, sondern er ist ein simples technisches Gerät, dessen grundlegenden Eigenschaften leicht in den Griff zu bekommen sind.

Ausgehend von den alten Gibson Humbuckern wird im folgenden grob erklärt, wie der „Klang“ einer Elektrogitarre eigentlich zustande kommt. Damit wird dann sehr deutlich, wo der Einfluß des Tonabnehmers beginnt und wo er endet. Daß auf diese Weise die Legende des PAF ein wenig entmystifiziert wird, kann durchaus als Vorteil gewertet werden, denn wenn es um die Bewertung technischer Eigenschaften geht, ist für Legenden kein Platz; besonders, wenn man für sie bezahlen soll!

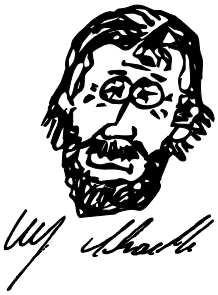
Aufgrund des Funktionsprinzips der elektromagnetischen Tonabnehmer tritt immer eine klangumformende Wirkung auf. Was für einen idealen Wandler aus der Sicht eines HiFi-Technikers als unerwünschter Nebeneffekt bezeichnet wird, ist für den Gitarristen ein Muß. Erst durch diese Klangveränderung erhalten die Instrumente eine ganz bestimmte Charakteristik. Wie dieser Effekt zustande kommt, wird hier nicht im Detail beschrieben werden. Allerdings wird ein Weg aufgezeigt, wie man mit einfachen Mitteln die im Allgemeinen als „Klang“ bezeichnete Übertragungscharakteristik eines Tonabnehmers verändern kann.

Das hier vorgestellte Verfahren zur Klangveränderung eines elektromagetischen Tonabnehmers ist nicht neu und stellt letztendlich nur die konsequente Schlußfolgerung aus den vorliegenden elektrotechnischen Verhältnissen in der Elektrogitarre dar. Es fand schon in den 70er Jahren in der „Les Paul Professional“ eine kommerzielle Anwendung. 1979 wies Helmuth Lemme in [3] deutlich auf diese Möglichkeit als Ersatz für einen Tonabnehmeraustausch hin.

Diese Arbeit richtet sich vornehmlich an den aktiven Gitarristen, der in aller Regel nicht über große Kenntnisse in Elektrotechnik verfügt. Aus diesem Grunde wurde auf Formeln grundsätzlich verzichtet. Gleichwohl kommt man nicht umhin, sich mit ein paar grundlegenden Dingen zu beschäftigen, um das Prinzip zu verstehen. Am Ende wird dann anhand einiger praktischen Beispiele gezeigt, wie die gewünschte Klangänderung preiswert vorgenommen werden kann.

Der vorliegende Artikel entstand aufgrund eines Beitrages in einem Internet-Diskussionsforum und ist Bestandteil einer größeren Publikation zum Thema Gitarrenelektronik, die sich zur Zeit in der Vorbereitung befindet.

Ellerau, den 29.07.2005



Inhaltsverzeichnis

1 Bestandsaufnahme und Zieldefinition 6
1.1 Geschichtlicher Hintergrund 6
1.2 Ausgangspunkt PAF 8
1.3 Das Spektrum der Saitenschwingung 9
1.4 Klangumformung durch Korpus und Hals 9
1.5 Übertragungscharakteristik des Tonabnehmers 10
1.6 Tonabnehmerposition und -breite 11
1.7 „Der“ PAF-Sound 13
1.8 „Höhen“ sind modern 14
2 Es geht bergab... 16
2.1 Pickup goes PAF 16
2.2 Der PAF-Emulator 17
2.3 Das Problem mit den Daten 18
2.4 Probieren geht über studieren 19
2.4.1 Jetzt mach‘ ich’s mir selbst 19
2.4.2 PAF-Emulation für Humbucker und Single-Coil 20
2.4.3 Les Paul hat es vorgemacht 21
3 Umbauarbeiten an der Gitarre 22
3.1 Bitte einen Kondensator! 22
3.2 Vorbereitungen 22
3.3 Wohin damit? 22
3.4 Ausprobieren ist schwer! 24
4 Finaler Einbau und Alternativen 25
4.1 Welcher Schalter soll es den sein? 25
4.2 Ein Schalter ist kein Schalter 25
4.3 Poti oder was? 27
4.4 Jetzt geht’s rund - Die Drehschalter-Kür 28
5 Zusammenfassung 31
6 Anhang 32
6.1 Kondensatoren 32
6.1.1 Papierkondensatoren 32
6.1.2 Ölpapierkondensatoren 32

6.1.3 Metallpapierkondensatoren 33
6.1.4 Kunststoffolienkondensatoren 33
6.1.5 Keramikkondensatoren 34
6.2 Schalter 35
6.2.1 Tonabnehmerwahl 35
6.2.2 Schiebeschalter 36
6.2.3 Kippschalter 37
6.2.4 Drehschalter 38
6.2.5 Spezialschalter 39
7 Literatur 40
7.1 Veröffentlichungen des Autors 40
7.2 Weitere Literatur 40
7.3 Informationen im Internet 40
8 Der Autor 42

1 Bestandsaufnahme und Zieldefinition

1.1 Geschichtlicher Hintergrund

Mit der Einführung des Humbuckers durch Gibson begann im Jahre 1955 ein neues Kapitel in der Geschichte der Elektrogitarre. Erstmals stand den Musikern ein brummfreies Tonabnehmerkonzept zur Verfügung. Diese Tonabnehmer bestanden prinzipiell aus einer gegenphasigen Reihenschaltung zweier Single-Coils wobei in einer Spule die Polarität der Magnete umgedreht wurde. Weitere Informationen zu diesem Thema sind in [1], [3] und [4] zu finden.

Bild 1-1: Der Gibson Humbucker

Aufgrund der Reihenschaltung der beiden Spulen addiert sich der Gleichstromwiderstand und die Induktivität. Das Ergebnis war ein sehr mittiger, weicher Klang. Die Musiker dieser Zeit waren jedoch den knackigen, transparenten und höhenbetonten Klang eines P-90 oder DeArmond gewöhnt und so fanden diese ersten Humbucker von Gibson anfänglich keine besonders große Akzeptanz. Die Leute kauften lieber Fender-Gitarren und die Gibson-Instrumente mit den neuen Tonabnehmern avacierten zum Ladenhüter.

Die ersten Gitarren mit den neuen Humbuckern wurden von Gibson bereits ausgeliefert bevor das angemeldete Patent erteilt wurde. 1956 erfolgte der Einsatz in Steel-Guitars und ab 1957 kamen die Jazz-Gitarren und Solid-Bodies dazu, zu denen auch die populäre „Les Paul“ gehörte. Im Laufe des Jahres 1957 begann Gibson damit, auf der Unterseite der Humbucker einen schwarzen Aufkleber mit der Aufschrift „patent applied for“ anzubringen. Das kann in etwa mit „Zum Patent angemeldet“ übersetzt werden. Ein solcher Tonabnehmer wird in Musikerkreisen deshalb auch als „PAF“ bezeichnet.

Bild 1-2: Rückseite eines PAF

Das Patent für den Humbucker wurde am 28. Juli 1959 in den USA unter der Nummer 2,896,491 erteilt. Gibson lieferte jedoch noch bis 1961 Humbucker mit dem alten PAF-Aufkleber. Danach wurden einige Veränderungen an den Tonabnehmern vorgenommen, die dazu führten, daß sie jetzt wesentlich höhenreicher klangen und damit eher dem Geschmack der Musiker entsprachen. Gleichzeitig mit der „Les Paul“ in ihrer ursprünglichen Form, verschwand Ende 1962 der alte Aufkleber und wurde durch einen neuen, mit einer (zunächst falschen) Patentnummer ersetzt.

Bild 1-3: Rückseite eines Gibson Humbucker ab 1962

Interessanterweise wurde dieser Aufkleber bis 1969 verwendet. Was Gibson damit erreichen wollte, ist unklar und bis heute Gegenstand vieler Spekulationen.

Nimmt man die Blechkappe eines PAF ab, so kommen die beiden Spulen zum Vorscheinen. Allein durch das Aussehen lassen sich die Tonabnehmer bestimmten Zeiträumen zuordnen. Die bis 1959 ausgelieferten Humbucker hatten zwei schwarze Wickelkörper (Double Black) oder zwei weiße (Double Cream). Zwischen 1959 und 1960 wurde je ein schwarzer und ein weißer Wickelkörper verwendet (Zebra). Diese PAFs sind also besonders selten und erzielen folglich höhere Preise. Diese gilt besonders für Zebras in denen die einstellbaren Magnetpole in der weißen Spule sitzen. Gleichwohl hat die Farbe der Wickelkörper keinerlei Einfluß auf den „Klang“ der Tonabnehmer!

Bild 1-4: Zebra, Double Black und Double Cream PAF

Als Eric Clapton und andere weiße Gitarristen in der Mitte der sechziger Jahre damit begannen, ihre Röhrenverstärker mit der „Les Paul“ zu übersteuern, wurde dieser Klang plötzlich große Mode. Vorher hatten das allenfalls einige farbige Blues-Gitaristen, wie zum Beispiel B.B. King gewagt. Viele dieser Musiker benutzten Gibson-Gitarren mit den alten PAFs und schlagartig waren die Ladenhüter von damals sehr gefragt, denn jeder wollte diesen tollen neuen Sound haben.

Bild 1-5: John Lee Hooker, Muddy Waters und B.B. King (hier mit seiner ES-355 „Lucille“)

Leider waren die „Les Pauls“ aus den späten fünfziger Jahren nur noch gebraucht erhältlich und so stiegen die Preise für die Instrumente schnell in die Höhe. Teilweise werden für diese PAFs auch heute noch astronomische Summen gezahlt. Über die Jahre wurde diesen Tonabnehmern ein legendärer Ruf verpaßt, an dem wir Gitarristen nicht ganz unschuldig sind.

Aus technischer Sicht kann man darüber nur den Kopf schütteln, denn die PAFs sind mittlerweile fast 50 Jahre alt. Ob die Isolation der Windungen nach einem so langen Zeitraum in jedem Fall noch in Ordnung ist, darf zumindest in Frage gestellt werden. Es ist also in der Therorie denkbar, daß sich die Übertragungseigenschaften der Tonabnehmer durch Windungskurzschlüsse verändert haben. Somit könnte es also möglich sein, daß ein PAF heute anders klingt als 1958. Wer also bereit ist, dieses Risiko zu tragen und einen potentiell defekten Tonabnehmer zu kaufen, der möge gerne viel Geld dafür ausgeben. Allerdings gibt es bessere Lösungen, die bei deutlich geringerem Preis ein, zumindest vergleichbares Ergebnis bringen.

1.2 Ausgangspunkt PAF

Wie klingt denn nun ein PAF? Diese Frage ist gar nicht so leicht zu beantworten, denn die Fertigung der Tonabnehmer in dieser Zeit unterlag starken Schwankungen. Da die benötigten Stückzahlen noch nicht so groß waren, wurden bei vielen Herstellern die Spulen mit der Hand gewickelt. Auch die Produktion bei Gibson war hier keine Ausnahme. Man findet PAFs mit einem Widerstand zwischen 7,5 und 10kΩ, was auf eine sehr starke Streuung beim Wickeln schließen läßt. Als später die Produktionsprozesse optimiert wurden, ersetzte man die Handarbeit durch mechanische Wickelmaschinen. In der Folge verschwanden diese Schwankungen und die Tonabnehmer hatten einheitlich einen Widerstand von 7,5 kΩ, mit einer Schwankung von knapp 250 Ω.

Bis 1961 benutzte man die gleichen Magnete wie für den P-90. Welcher AlNiCo-Grad verwendet wurde, schien dem Zufall überlassen zu sein, und so findet man PAFs mit AlNiCo 2 genauso wie die Grade 3, 4 und 5. Erst ab 1961 wurden generell AlNiCo-5 Magnete mit etwas geringeren Abmessungen eingesetzt.

Helmuth Lemme hat im Laufe der letzten Jahre eine Anzahl von PAFs untersucht und die Ergebnisse auf seiner Webseite [5] veröffentlicht. Sie bestätigen prinzipiell die starken Schwankungen der elektrischen Eigenschaften dieser Tonabnehmer, die er in drei Gruppen einteilt:

Gruppe	Resonanzfrequenz	Resonanzspitze	Bemerkung
P-490	2,00 kHz	4,40 dB	Dieser Tonabnehmer wurde von Gibson in den siebziger Jahren verwendet.
Hell	1,85 kHz	3,99 dB	
Mittel	1,72 kHz	3,45 dB	
Weich	1,60 kHz	3,17 dB	

Tabelle 1-1: Charakteristische Daten der PAF-Übertragungscharakteristik

In diesen Ergebnissen ist auch die Tatsache enthalten, daß man bei Gibson damals nicht besonders auf die Eigenschaften der Spulen geachtet hat. Um einen möglichst optimalen Humbucker-Effekt zu erhalten, ist es notwendig, zwei identische Spulen zu verwenden. Details zu diesem Thema in [1] zu finden.

Tatsächlich hat man dieser Anforderung nicht besonders viel Bedeutung beigemessen und so findet man kaum einen PAF mit annähernd gleiche Spulen. Abweichungen von bis zu 1 kΩ, zwischen beiden Spulen sind durchaus realistisch.

In der Folge hat jede Spule eine etwas andere Übertragungscharakteristik, die sich dann zu einer gesamten Charakteristik überlagert. Dadurch kann sich der Bereich der Resonanz verbreitern. In ganz extremen Fällen können sogar zwei Resonanzen existieren, aber das dürfte kaum auftreten.

Desweiteren lieferten die beiden Spulen eine unterschiedlich große Spannung. Das hatte zwei Effekte: Zum einen wurde die Nebengeräuschempfindlichkeit vergrößert, da die Kompensation der Störfelder nicht mehr vollständig war und zum anderen überwog der Klangeindruck einer der beiden Spulen. Bedenkt man, daß auch die Position des Tonabnehmers Einfluß auf seinen Klang hat und ein Humbucker nichts anderes als eine Kombination zweier einzelspuliger Tonabnehmer darstellt, so kann sich allein aus dieser Tatsache ein Klangunterschied im Vergleich zu einem Humbucker mit symmetrischen Spulen ergeben.

Gibson scheint diesen Effekten heute eine gewisse Bedeutung beizumessen, denn vor einiger Zeit wurden die sogenannten „Burstbucker“ vorgestellt, Tonabnehmer, die gezielt mit unsymmetrischen Spulen ausgerüstet werden, um den PAFs klanglich näher zu kommen. Die etwas schlechtere Brummunterdrückung nimmt man dabei billigend in Kauf.

Berücksichtigt man neben den Streuungen der Spulen auch noch die Tatsache, daß die Kapazität des Gitarrenkabels ebenfalls einen nicht unerheblichen Einfluß auf den Klang eines elektromagnetischen Tonabnehmers hat, so kann man eigentlich nur zu einem Schluß kommen:

Ergebnis:

Aufgrund der produktionsbedingten Streuungen der Tonabnehmerspulen der frühen Gibson-Humbucker sowie des Einflusses des Gitarrenkabels gibt es „den“ PAF-Sound gar nicht!

Wer auf der Jagd nach einem PAF ist, um einen diesen legendären Sounds auf seine Gitarre zu bringen, der läuft also eigentlich einem Phantom hinterher. Bevor man sich nun mit viel Geld in der Tasche auf die Pirsch begibt, um eines dieser seltenen Exemplare zu ergattern, sollte man sich klar machen, was diesen Sound eigentlich ausmacht und wie er entsteht.

1.3 Das Spektrum der Saitenschwingung

Der Tonabnehmer einer Elektrogitarre ist in erster Linie ein Wandler, der die mechanischen Schwingungen der Saite in eine äquivalente elektrische Spannungsänderung umsetzen soll. Schlägt man zum Beispiel die A-Saite (110 Hz) mit dem Plektrum bei 10% der Mensur an so ergibt sich eine bestimmte dreieckförmige Schwingung, die sich in Grund- und Obertöne zerlegen läßt:

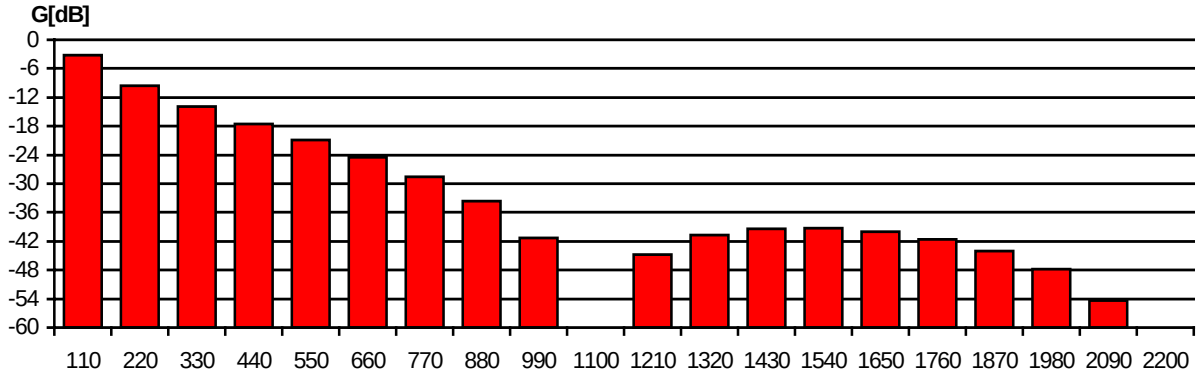


Bild 1-6: Linienspektren eine schwingenden Saite nach Anschlag bei 10% der Mensur

Man erkennt deutlich einen Abfall zu den hohen Frequenze hin. Zusätzlich treten auch noch periodische Nullstellen im Spektrum auf (1,1 kHz und 2,2 kHz). Warum das so ist, soll hier nicht weiter diskutiert werden, denn zum Verständnis ist eine gehörige Portion Mathematik erforderlich. Nehmen wir dieses „Klangspektrum“ einfach als Eingangssignal für alle weiteren Filter in Gitarre und Verstärker. Wäre der Tonabnehmer wirklich ein idealer Wandler, so würde an seinem Ausgang ein Signal mit genau dieser Amplitudenverteilung vorliegen.

Für andere „Töne“ auf anderen Saiten, egal ob gegriffen oder ungegriffen, gelten die gleichen Zusammenhänge. Lediglich die Frequenzen verschieben sich.

Natürlich ist das Spektrum in Bild 1-6 in gewisser Weise idealisiert, denn auch die Saite verfügt über Resonanzen, die vom Material, dem Aufbau und vom Alter und der Verschmutzung abhängen. In der Praxis kann die Dämpfung der hohen Frequenzen also noch weitaus stärker ausfallen. Darauf soll jetzt aber keine Rücksicht genommen werden.

1.4 Klangumformung durch Korpus und Hals

Entgegen der weit verbreiteten Meinung, spielen auch bei einer massiven Elektrogitarre die akustischen Eigenschaften von Korpus und Hals eine klangliche Rolle. Die ganz zweifelsfrei vorhandenen mechanischen Resonanzen und Antiresonanzen des gesamten Instrumentes wirken für die Harmonischen der Saitenschwingung als Dämpfung und Verstärkung. Damit wird der Klang der Saitenschwingung verändert, noch bevor der Tonabnehmer die Schwingungen überträgt. Man kann die akustischen Eigenschaften der Gitarre also auch als Filter auffassen.

Die Gibson „Les Paul“ mit ihrem massiven Mahagonikorpus und aufgesetzter Ahorndecke ist untrennbar mit dem PAF-Sound verbunden. Wer einen PAF auf einer Gitarre mit einer anderen Konstruktion oder auch nur mit anderer Materialauswahl montiert, darf also keinesfalls überrascht sein, wenn es nicht so klingt, wie erwartet. Diese materialabhängige Klangverfärbung läßt sich mit keinem Tonabnehmer nachbilden, da er nur das übertragen kann, was an Saitenschwingung tatsächlich vorhanden ist!

Die Materialabhängigkeit des Klanges ist eine weiterer Beweis dafür, daß es „den“ PAF-Sound nicht gibt, denn auch zwischen den einzelnen „Les Pauls“ bestehen Unterschiede. Holz ist eben ein natürlicher Werkstoff und es gibt keine wirklich identischen zwei Stücke Holz. Demnach ist jedes Instrument einer Baureihe eigentlich ein Unikat mit ganz eigenem Klang, der dann von den Tonabnehmern übertragen wird. Die grundsätzliche Konstruktion und Materialauswahl eines Gitarrentyps legt daher allenfalls die grobe Richtung des zu erwartenden Klanges fest.

Der Einfluß des Korpus wird in den folgenden Betrachtungen vernachlässigt, um das Verständnis zu erleichtern, was aber keinesfalls bedeutet, daß sein Einfluß nicht hörbar wäre!

1.5 Übertragungscharakteristik des Tonabnehmers

Neben seiner grundsätzlichen Aufgabe als Wandler von mechanischen in elektrische Schwingungen, wirkt der elektromagnetische Tonabnehmer immer auch als Filter. Die qualitative Übertragung der einzelnen Frequenzen sieht so aus:

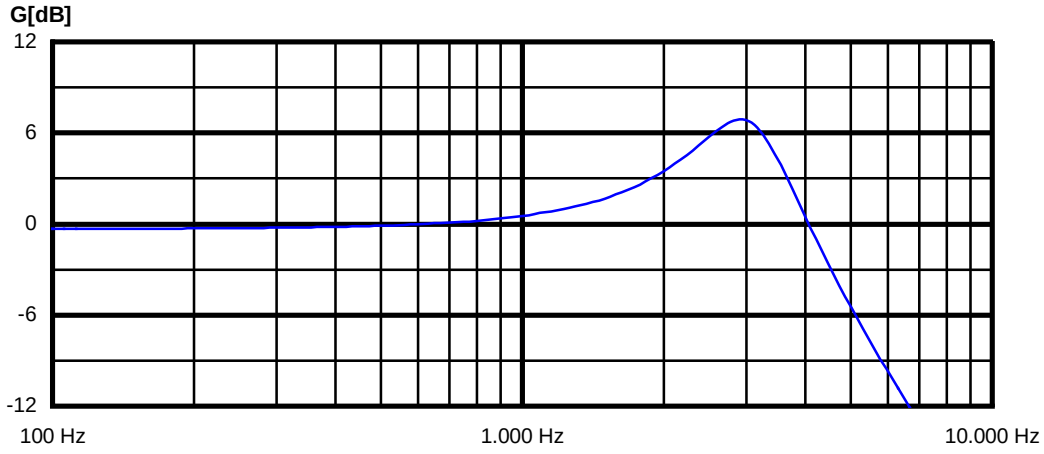


Bild 1-7: Beispiel einer Übertragungscharakteristik eines elektromagnetischen Tonabnehmers

Man erkennt, daß ein bestimmter Frequenzbereich besonders gut übertragen wird und daß tiefe Frequenzen bis 1kHz praktisch unbeeinflußt bleiben.

Die Spitze des betonten Bereiches liegt bei der sogenannten Resonanzfrequenz f_0. Wie hoch die Spitze ist, wird durch die sogenannte Güte Q beschrieben. Etwas oberhalb der Resonanzfrequenz fällt die Übertragungskurve stark ab. Diese Frequenzen werden also praktisch nicht mehr übertragen! Bei normalen E-Gitarren kann man sagen, daß diese Grenze maximal bei 4kHz liegt. Weniger kommt häufig vor, mehr ist sehr ungewöhnlich. Eine Schaltung mit einer solchen Übertragungscharakteristik nennt man einen Resonanztiefpaß 2. Ordnung.

Für den „Klang“ eines Tonabnehmers ist einzig und allein die Lage der Spitze (also f_0) und die Güte ausschlaggebend! Je größer die Resonanzfrequenz, desto mehr verschiebt sich die Betonung zu hohen Frequenzen und umgekehrt. Je größer die Güte ist, desto ausgeprägter ist die Spitze und desto mehr werden die Frequenzen um die Resonanzfrequenz herum betont.

Eine solche Übertragungscharakteristik kann man natürlich auch mit jedem Equalizer einstellen. Allerdings kann der nicht mehr im Spektrum vorhandene Frequenzen auch nicht wieder zurück bringen! Wenn der Tonabnehmer das Signal also schon bei 2 kHz bandbegrenzt, kann man gerne mit der Klangeinstellung den Bereich um 3,5 kHz anheben. Wo nichts ist...

Resonanzfrequenz und Güte werden durch die drei Kenngrößen eines elektromagnetischen Tonabnehmers beschrieben:

1. Die Induktivität L,
2. die Wicklungskapazität C_s sowie
3. den Gleichstromwiderstand R

Die Induktivität wird hauptsächlich durch die Anzahl der Windungen und das verwendete Magnetmaterial bestimmt. Dabei gilt: Je mehr Windungen, desto größer die Induktivität.

Der Gleichstromwiderstand wird durch die Anzahl der Windungen und den Durchmesser des Drahtes bestimmt. Je mehr Windungen, desto größer der Gleichstromwiderstand, je dicker der Draht, desto geringer ist sein Widerstand.

Die Wicklungskapazität C_s hängt ein wenig von der Bauform des Tonabnehmers ab, aber auch hier kann man generell sagen, daß Tonabnehmer mit mehr Windungen eine größere Wicklungskapazität haben. Von ganz entscheidender Bedeutung ist die Isolation des verwendeten Drahtes. Sie wirkt als Dielektrikum und hat somit großen Einfluß auf die resultierende Wicklungskapazität.

Je mehr Windungen ein Tonabnehmer hat, desto größer ist auch die Spannung, die er liefern kann. Die Werte, die man z.B. auf der Webseite von DiMarzio findet, sind allerdings mit Vorsicht zu genie-ssen. Da eine allgemeingültige Referenz fehlt, kann man damit allenfalls die Tonabnehmer dieses Herstellers vergleichen!

1.6 Tonabnehmerposition und -breite

Doppelspulige Tonabnehmer wie die parallelen Humbucker haben einen prinzipbedingten Nachteil: Frequenzen, deren Wellenlänge ein ganzzahliges Vielfaches des Abstandes der beiden Magnetpole sind, können nicht übertragen werden. Das nächste Bild verdeutlicht das:

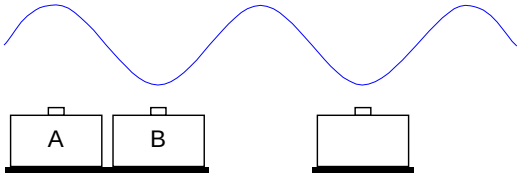


Bild 1-8: Frequenzauslöschung bei doppelspuligen Tonabnehmern

Während Spule A ein positives Signal überträgt, ist für Spule B ein negatives Signal mit gleicher Amplitude „sichtbar“. Damit wird die Summe der beiden Signale 0. Diese Frequenz und ihre Vielfachen aus dem Spektrum der Saitenschwingung werden also nicht übertragen. Ein Single-Coil „sieht“ also grundsätzlich etwas „schärfer“. In der Praxis ist dieser Übergang allerdings nicht scharf sondern fließend und so werden auch die Frequenzen in der Nähe der Auslöschungen mehr oder weniger stark gedämpft.

Durch die Breite und die Position des Tonabnehmers wird für jede Saite jeweils ein Kammfilter definiert, dem das Spektrum aus Bild 1-6 unterworfen wird. Die Auswirkungen dieser Filter sollen jetzt am Beispiel von Hals- und Stegtonabnehmer einer „Les Paul“ und einer „Stratocaster“ gezeigt werden. Der Einfluß der Frequenzauslöschungen nach Bild 1-8 ist in den folgenden Amplitdengängen noch nicht enthalten. Wir tun also so, als hätten wir zwei unterschiedlich breite Single-Coils.

Zusätzlich zum Amplitudengang wurde der Frequenzbereich der ersten 5 Harmonischen der Saitenschwingung für eine Gitarre mit 24 Bünden zur besseren Orientierung dargestellt. Dabei wird die erste Harmonische durch den blauen Balken repräsentiert.

Die Darstellung erfolgt grundsätzlich normiert als Vielfaches der Grundfrequenz der Saitenschwingung. Das bedeutet: 1 ist der Grundton, 2 die erste Oktave und so weiter. Somit sind die Darstellungen für alle Saiten und Grundfrequenzen einheitlich anwendbar. Möchte man die absoluten Frequenzen wissen, so kann leicht eine Entnormierung vorgenommen werden, indem die Grundfrequenz der Saite einfach mit der normierten Frequenz multipliziert wird.

Man vergleiche einmal in Ruhe die Bilder der „Les Paul“ mit denen der „Stratocaster“ und mache sich die Unterschiede klar.

Als erstes fallen die vielen Nullstellen im Spektrum auf. Ihre Lage ist in erster Linie von der relativen Position des Tonabnehmers abhängig. Sie ergibt sich als Quotient aus der absoluten Tonabnehmerposition und der Mensur der Gitarre. Da die relative Position für den Halstonabnehmer der Paula und der Strat in etwa identisch sind, ergibt sich auch ein ähnlicher Amplitudengang. Klanglich macht sich dieser Unterschied als Nuance bemerkbar.

Die Strat ist jedoch in der Lage mehr und stärkere hohe Frequenzen zu übertragen. So etwas wird man mit den Humbuckern einer „Les Paul“ niemals erreichen können. Hier macht sich die geringere Breite der Single-Coils bemerkbar. Geht es also darum, die Saitenschwingung so originalgetreu wie möglich zu übertragen, sind die schmalen Einzelspuler klar im Vorteil und die einzige sinnvolle Wahl!

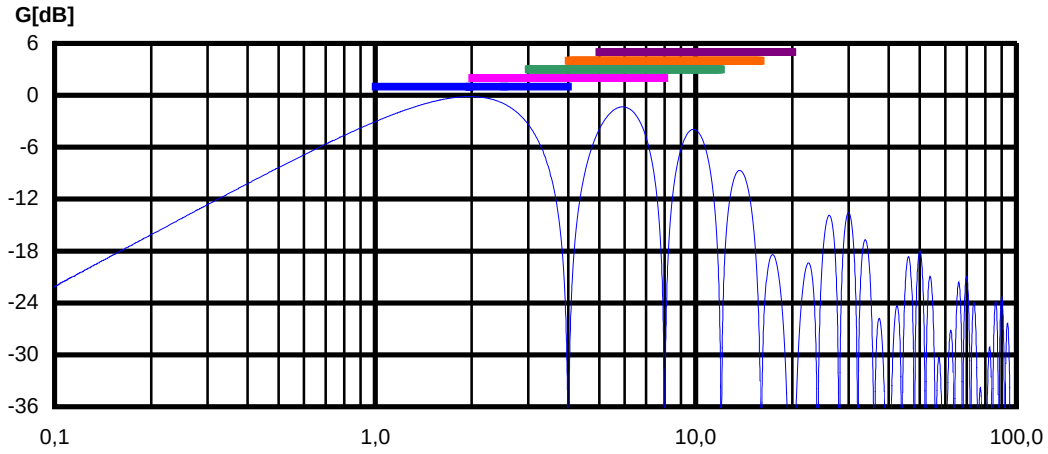


Bild 1-9: Übertragungsfunktion am Halstonabnehmer einer „Les Paul“

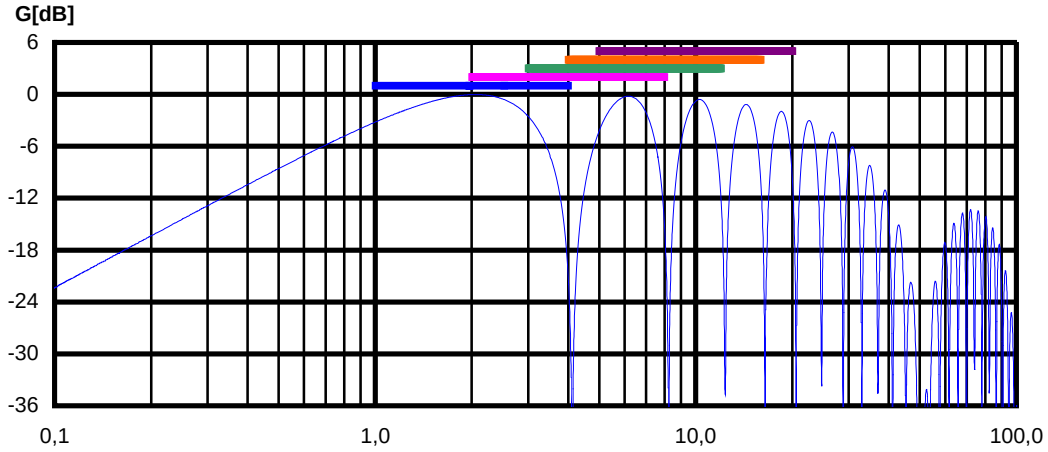


Bild 1-10: Übertragungsfunktion am Halstonabnehmer einer „Stratocaster“

Vergleicht man einmal Hals- und Stegposition für ein Instrument, so kann man feststellen, daß sich bezüglich der Grundfrequenz (1) schon ein Unterschied von gut 12 dB ergibt. Die Position liefert also den Grund, warum es am Hals immer ein wenig „voller“ klingt. Die tiefen Frequenz werden eben stärker übertragen.

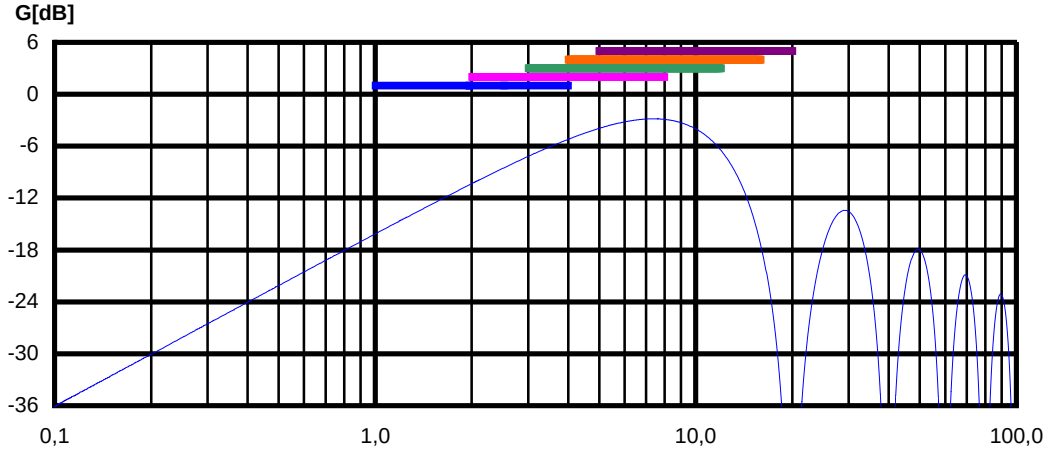


Bild 1-11: Übertragungsfunktion am Stegtonabnehmer einer „Les Paul“

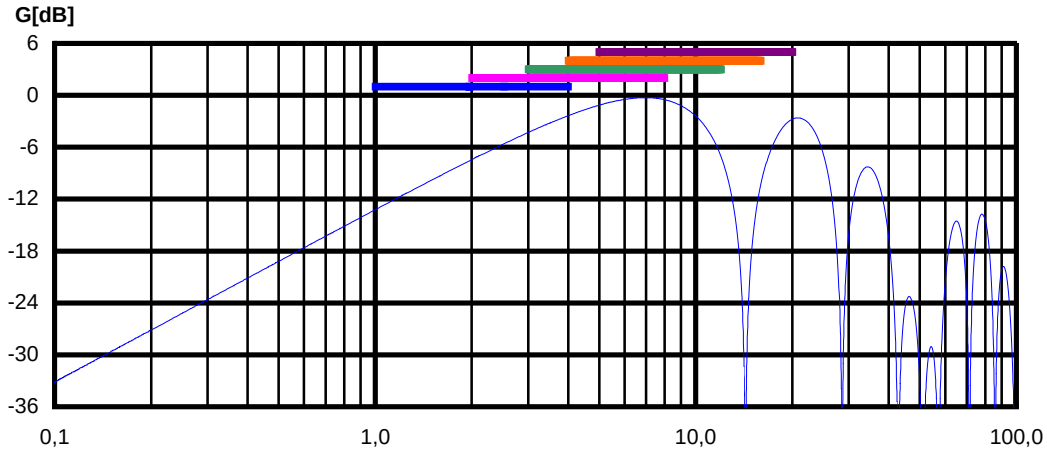


Bild 1-12: Übertragungsfunktion am Stegtonabnehmer einer „Stratocaster“

1.7 „Der“ PAF-Sound

Position und Breite eines Tonabnehmers haben mit seiner elektrischen Übertragungscharakteristik nichts zu tun. Sie definieren jeder für sich ein Filter deren Wirkungen zu einer gesamten Charakteristik kombiniert werden müssen. Sehen wir uns einmal die elektrische Übertragungscharakteristik für die PAFs aus Tabelle 1-1 an:

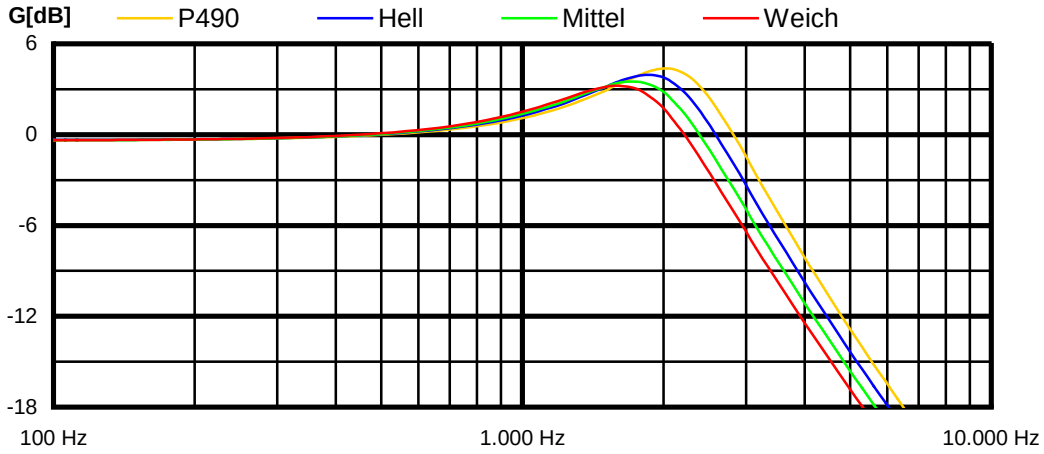


Bild 1-13: Übertragungscharakteristik der PAFs

Wie ist das ganze jetzt zu verstehen? Nun, Frequenzen bis zu 600Hz werden von den Tonabnehmern fast nicht beeinflußt. Die Übertragung ist sozusagen linear. Dann folgt ein Bereich in dem durch die Resonanz quasi eine „Verstärkung“ des Signals eintritt. Betrachten wir die rote Kurve, so sind Frequenzen zwischen 600Hz und 2,1kHz davon betroffen. Diese Frequenzen werden also betont. Töne mit noch größeren Frequenzen werden gedämpft; sie werden „leiser“.

Für unser Liniensprektrum der A-Saite bedeutet das, daß die Obertöne 10 bis 17 (1,1kHz bis 2,09kHz) im Spektrum betont werden. Höhere Obertöne werden stark gedämpft und sind somit nicht mehr hörbar. Das nächste Bild zeigt das anhand der grünen Balken sehr deutlich.

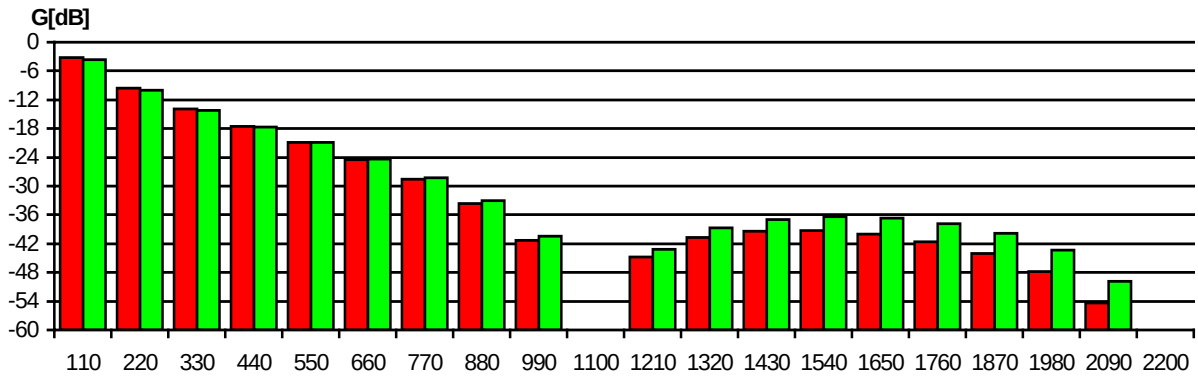


Bild 1-14: Linienspektren eine schwingenden A-Saite vor und nach dem Tonabnehmer

Das Maximum einer Übertragungskurve aus Bild 1-13 wird durch die Resonanzfrequenz und die Überhöhung der Resonanz charakterisiert. Durch diese beiden Werte wird die klangverändernde Wirkung des Tonabnehmers festgelegt. Alle passiven elektromagnetischen Tonabnehmer haben einen solchen Verlauf der Übertragungscharakteristik. Sie macht eigentlich alles aus, was im Zusammenhang mit den Eigenschaften eines Tonabnehmers als „Klang“ bezeichnet wird. Daß die Breite des Tonabnehmers sowie seine Position unter der Saite ebenfalls einen Einfluß darauf haben, soll hier nicht weiter betrachtet werden und ist im Bild auch nicht berücksichtigt worden.

Ergebnis:

Der „Klang“ der PAFs ist dadurch gekennzeichnet, daß sie Frequenzen zwischen 1kHz und 2,5kHz besonders betonen und höhere Frequenzen abschneiden.

Mit einem solchen bandbegrenzten Signal läßt sich ein Röhrenverstärker sehr gut übersteuern. Es treten dann weniger Mischprodukte auf (Summen- und Differenzfrequenzen der Harmonischen des Eingangssignals), die den resultierenden „Klang“ unrein und damit zum Geräusch machen. Es klingt dann einfach etwas voller und runder ohne zu kratzen und genau das ist es, was sich viele Gitarristen wünschen.

1.8 „Höhen“ sind modern

Die heute erhältlichen Humbucker sind in der Regel in der Lage wesentlich höhere Frequenzen zu übertragen. Der Geschmack der Gitarristen ist halt vielfältig und ändert sich im Laufe der Zeit. Für viele Musikrichtungen ist die mittige Perfomance der PAFs schlicht ungeeignet. Schauen wir uns einmal ein paar Vertreter der Humbucker an:

Tonabnehmer	Resonanzfrequenz	Resonanzspitze	Bemerkung
DiMarzio PAF	2,913 kHz	6,89 dB	
Gibson P-490	2,741 kHz	6,98 dB	
Lace Dually Gold-Gold	2,503 kHz	5,20 dB	
Aria Protomatic-V	2,209 kHz	4,79 dB	Mit seinem keramischen Magneten ist dieser Tonabnehmer ein deutlicher Beweis dafür, daß man PAF-artige „Klänge“ auch ohne AlNiCo erreichen kann.
DiMarzio Dual Sound	2,157kHz	4,48dB	
Seymour Duncan SANT- HN	2,070kHz	7,56dB	
Seymour Duncan SANT- HB	1,928kHz	6,91dB	

Tabelle 1-2: Charakteristische Daten einiger moderner Humbucker

Die Tabelle zeigt natürlich nur eine kleine Auswahl der am Markt verfügbaren Humbucker. Sie wurden lediglich gewählt, da ihre elektrischen Daten zur Verfügung stehen.

Von den eben aufgezählten Tonabnehmern beanspruchen der DiMarzio PAF und die beiden Antiquity's von Seymour Duncan für sich, ein Replikat des PAF zu sein. Allein aufgrund dieses Unterschiedes muß man eigentlich stutzig werden, drängt sich doch die Frage auf, welcher Hersteller denn wirklich das Original nachgebaut hat? Von allen aufgeführten Tonabnehmern entsprechen die Antiquity's am ehesten den Meßergebnissen aus Tabelle 1-1.

Die Übertragungscharakteristiken wurden anhand der bekannten Daten verschiedener Tonabnehmer berechnet. Als Belastung wurde eine typische Beschaltung mit Lautstärke- und Klangeinsteller berücksichtigt. Das nächste Bild zeigt das Modell:

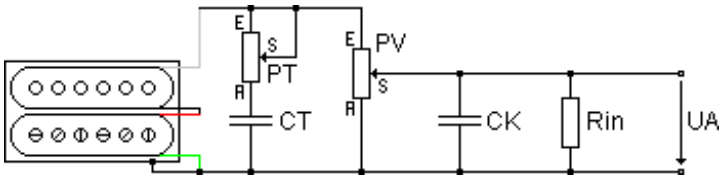


Bild 1-15: Humbucker mit typischer Beschaltung

Es gibt kaum eine Elektrogitarre, die über eine andere Beschaltung des Tonabnehmers verfügt. Auch die Werte der einzelnen Bauelemente kann man schon fast als Standard bezeichnen:

Name	Wert	Bemerkung
P_T	500 kΩ	Ein logarithmisches Potentiometer zur Einstellung des Klanges. Zusammen mit C_T ist zwischen 100% und 50% des Drehwinkels eine Dämpfung der Resonanz möglich. Zwischen 20% und 50% wirkt die Schaltung als Tiefpaß dessen Grenzfrequenz mit dem Drehwinkel verringert wird. Ab 20% bildet sich wieder eine Resonanz aus, die bei 0% voll ausgeprägt ist. Mit dem in der Gitarre verwendeten Wert von 22nF liegt diese Frequenz zwischen 400 und 900 Hz. Gitarren mit Single-Coils haben hier häufig einen Wert von 250kΩ.
C_T	22 nF	Ein Kondensator, der zusammen mit P_T die Klangeinstellung (Tone) bildet.
P_V	500 kΩ	Einstellung der Lautstärke. Auch hier wird wieder ein logarithmisches Potentiometer verwendet. Die Begründung dafür wird durch die logarithmische Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs geliefert. Ein lineares Potentiometer würde keinen gleichmäßigen Einstellbereich ergeben. Gitarren mit Single-Coils haben hier häufig einen Wert von 250kΩ.
C_K	700 pF	Dieser Kondensator ist nicht in die Gitarre eingebaut. Er steht für die Kapazität des Kabels von der Gitarre zum Verstärker oder ersten Effektgerät. Als Daumenwert kann man bei Kabeln von einer Kapazität von 100pF pro Meter ausgehen.
R_{in}	1 MΩ	Der Eingangswiderstand des Verstärkers oder ersten aktiven Effektgerätes. Der Wert ist eine gängige Größe.

Tabelle 1-3: Belastung des Tonabnehmers

Diese Annahmen kann man durchaus als typische Belastung für einen Tonabnehmer bezeichnen. Helmuth Lemme benutzte nach eigenen Angaben bei seinen Untersuchungen eine kapazitive Last von 1000pF und so erscheint eine Vergleichbarkeit durchaus gegeben.

Anhand dieses Models kann man für die Tonabnehmer aus Tabelle 1-2 die Übertragungscharakteristiken unter Belastung berechnen. Sie sind im nächsten Bild dargestellt:

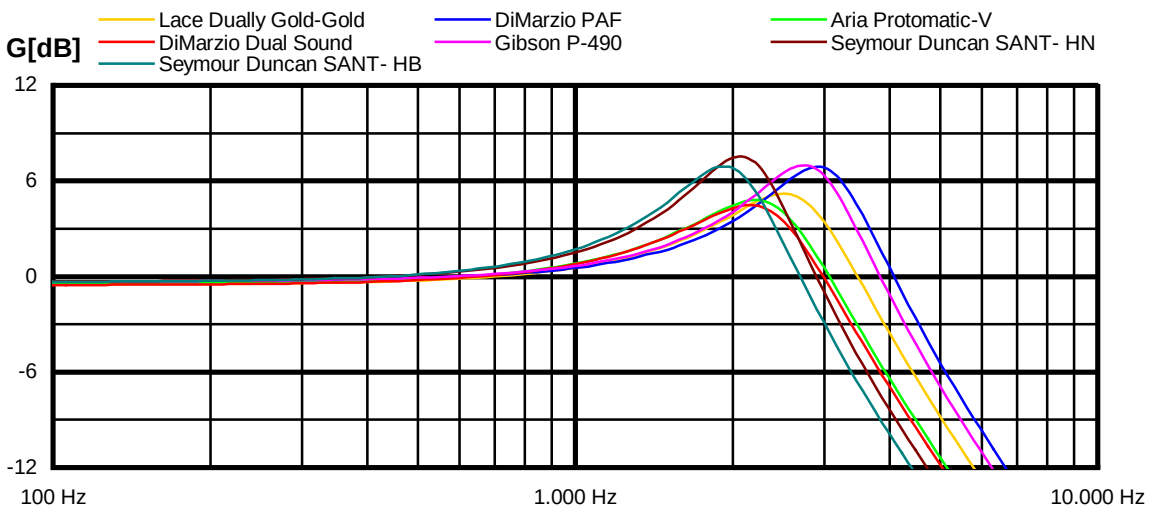


Bild 1-16: Übertragungscharakteristik einiger moderner Humbucker unter typischer Belastung

Was muß man jetzt tun, wenn man einen dieser modernen Humbucker oder gar einen Single-Coil sein eigen nennt und man doch lieber einen PAF hätte?

2 Es geht bergab...

Die Antwort auf die eben gestellte Frage ist in der Theorie ganz einfach: Man muß die Filtercharakteristik seines Tonabnehmers (oder besser gesagt der gesamten Klangkette bis zum Verstärker) so verändern, daß sie mit der resultierenden Charakteristik des gewünschten PAF's übereinstimmt.

Das bedeutet, die Resonanzfrequenz muß nach unten, hin zu tieferen Frequenzen, verschoben werden. Dafür gibt es zwei technische Lösungen:

1. Man kauft einen neuen Tonabnehmer mit einer größeren Induktivität. Dann verringert sich die Resonanzfrequenz und der Pegel auf dem Bankkonto. Das ist die bei weitem bekannteste Variante und die Hersteller von Austauschtonabnehmern sind mit ihr sehr zufrieden.
2. Man vergrößert die Kapazität, die parallel zum Tonabnehmer liegt. Auch in diesem Fall verringert sich die Resonanzfrequenz. Geeignete Kondensatoren kann man in jedem Elektronikladen für ein paar Cent kaufen. Diese Lösung finden die Hersteller der Tonabnehmer natürlich nicht so toll, bleiben sie jetzt doch auf Ihren Produkten sitzen.

Aus technischer Sicht sind beide Lösungen gleichwertig! Der entsprechende mathematische Nachweis läßt sich leicht führen, soll hier aber nicht gezeigt werden.

2.1 Pickup goes PAF

Den „Klang“ einer „Gibson“ mit einem PAF nachzubilden ist eigentlich nicht möglich, da viele Dinge, auch außerhalb des Tonabnehmers, darauf Einfluß haben. Hier noch einmal eine kurze Auflistung:

1. Aufbau und Materialauswahl der Gitarre,
2. die Position der Tonabnehmer,
3. die Breite der Tonabnehmer,
4. die elektrische Eigenschaften des Tonabnehmers und
5. die elektrische Belastung des Tonabnehmers.

Der erste Punkt entzieht sich weitestgehend unserem Einfluß. Selbst wenn wir eine vergleichbare Gitarre haben, kann sie akustisch doch ein wenig anders klingen.

Die Position der Tonabnehmer wird vom Gitarrenbauer festgelegt. Es haben sich bestimmte Positionen etabliert, die jedoch nicht immer exakt eingehalten werden. Leichte Abweichungen können schnell „hörbare“ Folgen haben. Eine „PRS“ mit 24 Bünden kann mit ihrem Hals-Tonabnehmer nie so klingen, wie eine „Les Paul“ mit 22 Bünden. Die Begründung dafür ist ganz einfach: Um eine identische Position dieses Tonabnehmers zu realisieren, muß er am 24. Bund montiert werden. Das ist in der Regel aber nicht möglich und so haben wir hier einen signifikanten Unterschied!

Die Breite der Tonabnehmer folgt auch bestimmten Standards. Normale Humbucker orientieren sich in der Regel an den Abmessungen der Gibson Humbucker. Single-Coils halten es mit den Fender Tonabnehmern. Aber auch hier kann durch die Verwendung unterschiedlich gebauter Magnete eine andere magnetische Breite entstehen, die für einen Klangunterschied sorgen kann.

Aufbau und Materialauswahl der Gitarre sowie die mechanischen Eigenschaften der Tonabnehmer kann man in gewisser Weise durch den Kauf eines geeigneten Instrumentes sicherstellen. Die elektrischen Eigenschaften haben wir jedoch ohne großen Aufwand bei jeder Elektrogitarre unter unserer Kontrolle.

Was man also in jedem Fall machen kann, ist die elektrische Übertragungscharakteristik eines Tonabnehmers geeignet zu verändern. Auf diese Weise kann man dem „Klang“ eines PAF schon recht nahe kommen. Man erzeugt sozusagen eine funktionale Nachbildung des PAF, eine sogenannte Emulation.

Klar ist jedoch, daß man aus einer Gitarre mit Single-Coils nie eine „Les Paul“ machen kann. Dazu sind die Unterschiede zu groß. Aber auch hier kann man den „Klang“ so zurechtformen, daß eine schöne Übersteuerung eines Röhrenverstärkers möglich ist.

2.2 Der PAF-Emulator

Versuchen wir doch einfach mal aus dem DiMarzio PAF einen „weichen“ PAF zu emulieren:

1. Man nehme einen Kondensator mit einer Kapazität von 1,8nF und schalte ihn parallel zum Tonabnehmer. Als Ergebnis erhält man dann 1,723 kHz / 8,07dB. Die Zielfrequenz ist also schon recht gut getroffen. Die Betonung dieses Frequenzbereiches ist allerdings gut 5 dB stärker.
2. Nun stelle man das Tone-Potentiometer auf 59% seines Drehwinkels (ein logarithmisches Poti vorausgesetzt) und erhält dann 1,604 kHz / 3,11dB.

Besser geht es doch gar nicht, oder? Übrigens, mit 1,2nF / 62% erhält man ziemlich genau einen „mittleren“ PAF und mit 1nF / 70% ist es dann ein „heller“ PAF.

Die Schaltung sieht dann so aus:

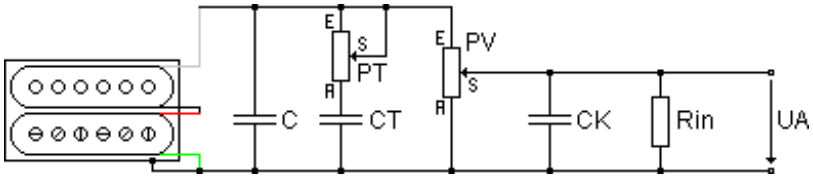


Bild 2-1: Humbucker mit typischer Beschaltung und Lastkapazität C

Unser neuer Kondensator C ist rechts neben dem Tonabnehmer zu erkennen. Vergleichen wir jetzt die Übertragungscharakteristik des „weichgemachten“ DiMarzio PAF mit dem Original:

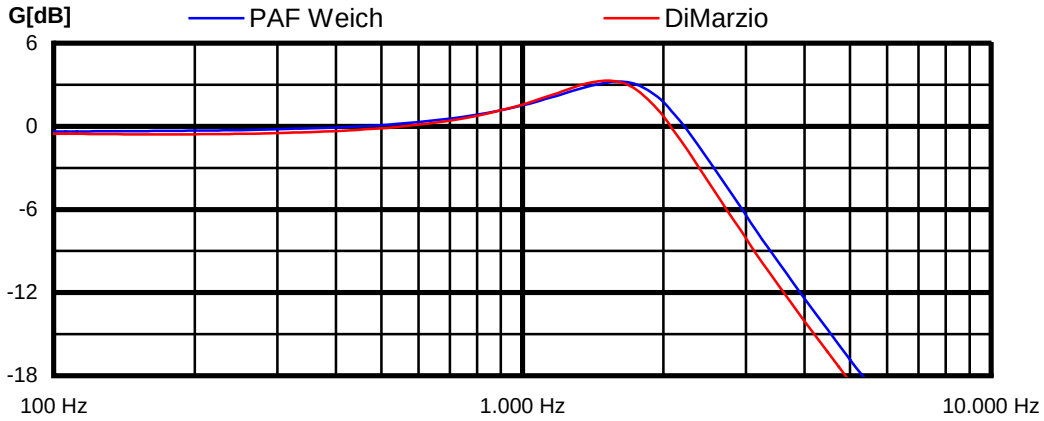


Bild 2-2: „Weicher“ PAF’s vs. DiMarzio PAF mit Zusatzkapazität

Man erkennt, daß wir unser Ziel eigentlich recht gut getroffen haben. Natürlich werden jetzt einige „Besserwisser“ mit dem Finger auf den erkennbaren Unterschied zeigen und mit einem befriedigten „Hah!“ darauf hinweisen, daß das Ergebnis nie wie ein PAF klingen kann. Dazu kann man folgendes sagen:

1. Wer sagt denn, daß es nicht einen PAF gibt, der gerade unserer Emulation entspricht? Helmuth Lemme hat keine Einzelergebnisse veröffentlicht, sondern Cluster. Das heißt, daß es eine Häufung mit einem Mittelwert von 1,6 kHz gibt. Wie groß die zweifellos vorhandene Streuung der einzelnen PAF’s ist, wurde nicht explizit dargelegt!
2. Benutze ich ein anderes Kabel, so verschiebt sich die Resonanzfrequenz. Ist das Kabel kürzer erhöht sie sich, ist es länger wird sie kleiner. Das gilt grundsätzlich für jeden passiven elektromagnetischen Tonabnehmer! Der Einfluß der Kabelkapazität ist in der Regel wesentlich größer, als der der Wicklungskapazität.
3. Wir haben jetzt einen Standardwert für den Kondensator gewählt. Natürlich kann man den Wert auch noch genauer bestimmen und damit die Kurven weiter nähern.

Wir können also mit ruhigem Gewissen behaupten, daß wir unser Ziel erreicht haben. Erst recht, wenn wir mit dem Klang auch zufrieden sind!

Ergebnis:

Durch parallelschalten einer geeigneten Lastkapazität zu einem elektromagnetischen Tonabnehmer kann man die Übertragungscharakteristik eines anderen Tonabnehmers mit geringerer Resonanzfrequenz nachbilden.

Was man bei diesem Ergebnis jedoch nie vergessen sollte, ist die Tatsache, daß die Resonanzfrequenz nur verringert werden kann. Keinesfalls kann man mit Hilfe eines Kondensators die Resonanzfrequenz nach oben verschieben!

Mancher wird sich jetzt fragen: „Woher weiß ich denn, daß ich einen Kondensator mit 1,8nF benötige?“

Tja, liebe Gitarristen. An dieser Stelle muß man sich entscheiden. Wer den Kondensator selber bestimmen will, kommt nicht umhin, sich ein wenig mit den Grundlagen der Gitarrenelektronik zu beschäftigen und das schließt auch ein wenig Mathematik ein. Von meiner Seite aus wird es demnächst etwas mehr und vor allen Dingen sehr detailierte Informationen zu diesem Thema geben. Was dann noch fehlt, ist die Bereitschaft des Lesers, sich mit der Problematik auch auseinanderzusetzen.

Wer das nicht möchte, muß diesen Wert einfach als „gottgegeben“ hinnehmen. Basierend auf den mir zur Verfügung stehenden Daten kann ich ihn als richtig bezeichnen.

2.3 Das Problem mit den Daten

Die Hersteller der Tonabnehmer tun sich, von wenigen Ausnahmen einmal abgesehen, sehr schwer damit, die elektrischen Daten ihrer Produkte zu veröffentlichen. Die dahinter stehende Begründung ist leicht einsehbar:

Wenn man diese Daten hat, kann man mit Hilfe der entsprechenden Formeln die Produkte verschiedener Hersteller leicht vergleichen. Da hilft dann auch nicht mehr der Heiligenschein oder der tolle Name, den viele Hersteller ihren Tonabnehmern verpassen, um den Verkauf anzukurbeln. In der Folge würde man als Kunde dann natürlich versuchen, das günstigste Produkt mit den gewünschten Eigenschaften zu erwerben. Das wird ohne Frage nicht im Interesse der Hersteller sein und so verschanzt man sich sehr häufig hinter dem Begriff „Geheimhaltung“ oder reagiert auf Fragen lieber gar nicht erst.

Bei kleinen Herstellern kann man auch davon ausgehen, daß diese Daten gar nicht bekannt sind, da sie teilweise Einzelanfertigungen produzieren und weder über das notwendige Wissen noch über die technischen Geräte verfügen, um diese Daten verlässlich zu bestimmen.

Die Hersteller machen es uns also nicht leicht, den notwendigen Kondensator zu ermitteln. Da hilft dann nur eins: Entweder eine zuverlässige Datenquelle finden oder selber messen!

Da vielen Gitarristen entweder die Bereitschaft oder aber das notwendige Wissen fehlt, um sich mit der Theorie auseinanderzusetzen, soll nun ein anderer Weg eingeschlagen werden.

2.4 Probieren geht über studieren

Machen wir es doch einfach wie bei der Klangfindung am Verstärker. Wir drehen solange an den Klangeinstellern, bis wir mit dem Resultat zufrieden sind. Dieses Verfahren wird seit Jahrzehnten von den Musikern mit großem Erfolg und ohne Murren angewandt.

Statt an den Knöpfen zu drehen, drehen wir jetzt jedoch an der Kapazität der Tonabnehmerlast. Das ist zwar etwas aufwendiger, stellt aber grundsätzlich das gleiche Vorgehen dar.

2.4.1 Jetzt mach‘ ich’s mir selbst...

Wie schon erwähnt, reicht ein parallel zum Tonabnehmer geschalteter Kondensator aus, um die Resonanzfrequenz und damit den Klang hin zu tieferen Frequenzen zu verschieben. Eine mathematische Bestimmung seines Wertes anhand einer gewünschten Resonanzfrequenz ist in der Theorie zwar ganz schön, für den Musiker allerdings ein wenig praxisfremd. Schließlich geht es nicht darum, exakt die Frequenz mit soundsoviel Herz zu treffen, sondern einen Klang zu erhalten, der einem persönlich zusagt. Da die Daten unseres Tonabnehmers in der Regel auch nicht bekannt sind, kann uns die Mathematik auch nicht helfen, da einfach die notwendigen Daten fehlen.

Bei dieser Gelegenheit sollten wir uns auch gleich von dem etwas schwammigen Begriff „PAF-Sound“ trennen. Wir suchen eben eine Klangcharakteristik, die es ermöglicht, einem übersteuerten Röhrenverstärker einen vollen und runden Klang ohne kratzende Anteile zu entlocken und nicht irgend einen Namen oder? Als erfahrene Gitarristen wissen wir natürlich, daß zu viele Höhen da kontraproduktiv sind. Wer es nicht glauben mag, kann mit einem Equalizer zwischen Gitarre und Verstärker leicht ausprobieren, wie sich die hohen Frequenzen klanglich bei einer Übersteuerung auswirken.

Wir hören uns den originalen Klang unseres Tonabnehmers genau an und versuchen abzuschätzen in welchem Bereich die Resonanz wohl liegen mag. Eine Orientierungshilfe gibt die nächste Tabelle, die in ihrer Grundstruktur von Helmuth Lemme übernommen wurde:

Resonanzfrequenz	Klang	Bemerkung
unter 1kHz	Dumpf	Dieser „Klang“ wird von den meisten passiven Elektrogitarren erreicht, wenn der Klangeinsteller mehr als ein Drittel "zu" ist.
1 - 1,5kHz	Sehr weich	
1,5 - 2kHz	Warm	Hier liegen die alten PAF von Gibson.
2 - 2,5kHz	Singend	Wer viel Geld ausgeben wollte, hat sich den DiMarzio SDHP gekauft. Er liegt maximal in diesem Bereich.
2,5 - 3kHz	Brilliant	Dieses ist heute der Bereich der Gibson Les Paul.
3 - 5kHz	Metallisch	In diesem Bereich "arbeiten" die Tonabnehmer der Stratocaster und ihrer Nachbauten bei einer typischen Belastung durch Kabel und Verstärkereingang.
5 - 8kHz	Spitz	Dieser Bereich wird nur von den Strat-Pickups erreicht, wenn sie gänzlich unbelastet arbeiten.
8 - 15kHz	Glashart	
über 15 kHz	Neutral	Hier sind die niederohmigen Tonabnehmer anzusiedeln. Da die Resonanzfrequenz teilweise deutlich über dem Frequenzbereich des menschlichen Ohres liegt, wird sie nicht mehr wahrgenommen.

Tabelle 2-1: Klangempfinden und Resonanzfrequenz

Je größer die von uns vermutete Resonanzfrequenz ist, desto größer muß unser Kondensator sein, um den Bereich der PAFs zu treffen. Jetzt wäre es gut, wenn uns jemand sagen könnte, welchen Wert wir brauchen. Das soll hiermit geschehen.

2.4.2 PAF-Emulation für Humbucker und Single-Coil

Für unsere Emulation gehen wir wieder vom DiMarzio PAF aus, denn er ist gemäß seiner Daten einer der „knackigen“ Humbucker, der einen guten Anteil an hohen Frequenzen übertragen kann. Einzelspulige Tonabnehmer, wie die der Fender „Stratocaster“ haben nicht nur die unerwünschte Eigenschaft der Brummempfindlichkeit, sondern sie haben in der Regel auch eine größere Resonanzfrequenz, was sich in einem „helleren Klang“ äußert. Hier brauchen wir also etwas andere Werte für den Lastkondensator. Wir gehen von den bekannten Daten eines Tonabnehmers von Fender aus. Eine Simulation für 12 verschiedene Kondensatoren in logarithmischer Abstufung ergibt das folgende Ergebnis:

Kondensator	DiMarzio PAF		Fender Stratocaster	
	Resonanzfrequenz	Resonanzspitze	Resonanzfrequenz	Resonanzspitze
-	2,993 kHz	6,84 dB	3.748 kHz	4,76 dB
100pF	2,815 kHz	7,09 dB	3,533 kHz	5,06 dB
270pF	2,572 kHz	7,40 dB	3,239 kHz	5,47 dB
470pF	2,352 kHz	7,66 dB	2,971 kHz	5,84 dB
680pF	2,172 kHz	7,84 dB	2,749 kHz	6,12 dB
1,2nF	1,856 kHz	8,04 dB	2,358 kHz	6,56 dB
1,8nF	1,617 kHz	8,06 dB	2,059 kHz	6,79 dB
2,2nF	1,499 kHz	8,00 dB	1,912 kHz	6,86 dB
3,3nF	1,268 kHz	7,72 dB	1,622 kHz	6,85 dB
4,7nF	1,080 kHz	7,28 dB	1,385 kHz	6,65 dB
6,8nF	900 Hz	6,62 dB	1,159 kHz	6,23 dB
10nF	731 Hz	5,71 dB	946 Hz	5,55 dB

Tabelle 2-2: Verschiebung der Resonanzfrequenz durch parallelen Lastkondensator

Auch hier wurde wieder mit einer definierten Belastung des Tonabnehmers nach Tabelle 1-3 gerechnet. Allerdings wurde der Single-Coil mit den üblichen Poti-Werten von 250 kΩ simuliert.

Tabelle 2-2 kann man jetzt drei Dinge entnehmen:

1. Wählen wir einen Kondensator zwischen 100 pF und 10 nF, so wird die Resonanzfrequenz für die meisten Tonabnehmer innerhalb eines sinnvollen Bereiches liegen.
2. Werte zwischen 680 pF und 2,2 nF führen für den Humbucker zu dem gewünschten Klangbereich der PAF’s.
3. Der Single-Coil benötigt eine Lastkapazität von 1,8 nF bis 3,3 nF, um die gewünschte Übertragungscharakteristik zu erhalten.

Diese Werte sind nur als Richtgröße zu verstehen. Bei anderen Tonabnehmern und bei der Verwendung eines anderen Kabels ergeben sich immer Abweichungen. Der Kapazitätsbereich ist jedoch so groß, daß man immer ein sinnvolles klangliches Ergebnis erhält. Das letzte Wort in dieser Sache sollte sowieso unser Ohr „sprechen“ und wenn uns 1,2 nF nicht zusagt, dann ist 1,5 nF vielleicht doch besser. Wer weiß? Probieren wir es doch einfach aus!

2.4.3 Les Paul hat es vorgemacht

Wer jetzt auf die Idee kommt, sich nicht bloß mit einem Kondensator zu bescheiden, sondern gleich mehrere zu verwenden, der schafft sich damit eine sehr variable Klangeinstellung. Neben der notwendigen Anzahl von Kondensatoren wird dann nur noch ein geeigneter Schalter benötigt. Zusammen mit dem schon vorhandenen Klangeinsteller, der sogenannten „Tonblende“, ergibt sich dann quasi eine zweidimensionale Klangeinstellung, die eine große klangliche Flexibilität ermöglicht.

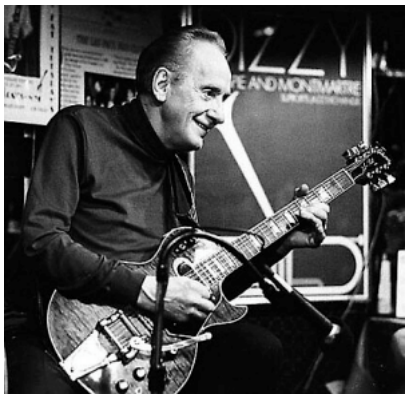


Bild 2-3: Les Paul (Lester William Polfus)

Genau das wußte auch schon der amerikanische Gitarrist Les Paul zu schätzen und so baute er geeignete Schalter und Kondensatoren in seiner mit niederohmige Tonabnehmern bestückte Gibson „Les Paul“ ein und konnte so eine klangliche Vielfalt erzeugen, die mit keiner herkömmlichen Elektrogitarre möglich war.

Gibson selbst verwertet diese Erkenntnis in den 70er Jahren in der „Les Paul Professional“, der „Les Paul Recording“ und einigen anderen Instrumenten. Leider blieb dieser progressiven Entwicklung der notwendige kommerzielle Erfolg verwehrt, und so wurde die Produktion nach wenigen Jahren eingestellt, ein Schicksal, welches auch den Kopien aus dem Hause Ibanez beschieden wurde. Hier galt dann wohl: „Mitgegangen, mitgefangen!“

Tatsächlich bedeutete die Verwendung niederohmiger Tonabnehmer, die von der Firma „Dirtywork Studios“ entwickelt wurden, in Kombination mit verschiedenen Lastkondensatoren einen entscheidenden Fortschritt in der Entwicklungsgeschichte der Elektrogitarre, aber wie so häufig, war die Zeit dafür wohl noch nicht reif! Gitarristen waren auch damals schon ein sehr konservatives Völkchen.

Bild 2-4: Les Paul 2003

Heute wird dieses Konzept zu Teilen in den aktiven Tonabnehmern von EMG, einem Nachfolger von „Dirtyworks“, und anderen Herstellern verwendet. Statt eines Drehschalter beschränkt man sich hier jedoch in der Regel auf eine feste Lastkapazität um die gewünschten Übertragungseigenschaften eines passiven Tonabnehmers zu erhalten. Der in Les Pauls Gitarre benötigte Übertrager zur Erhöhung der geringen Ausgangsspannung wird dabei durch einen kleinen Verstärker ersetzt, der technisch die besseren Eigenschaften aufweist.

Daß die grundsätzliche Idee indes nicht schlecht ist, mag die Tatsache beweisen, daß Les Paul auch heute noch mit dieser Gitarre arbeitet, ein Faktum, welches uns allen und besonders den Vertretern der Tonabnehmeraustausch-Doktrin zu denken geben sollte!

Wie es damals im Inneren einer „Les Paul Professional“ aussah, zeigt das nächste Bild:

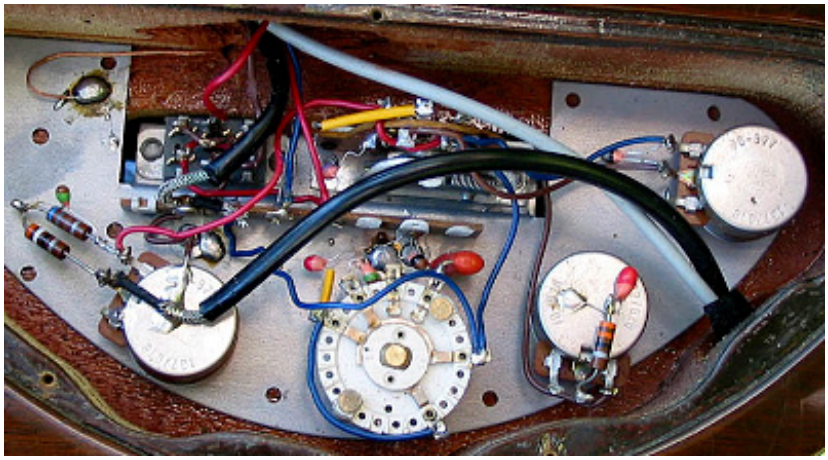


Bild 2-5: Blick in das E-Fach einer „Les Paul Professional“

Deutlich ist in der Mitte der Drehschalter mit den verschiedenen Kondensatoren zu erkennen.

3 Umbauarbeiten an der Gitarre

3.1 Bitte einen Kondensator!

Mit diesen Worten steht der bastelfreudige Gitarrist dann in einem Elektronikladen seiner Wahl und wird von dem freundlich lächelnden Verkäufer sogleich in das nächste Problem gestürzt: „Welcher Typ soll es denn sein?“, so lautet die Gegenfrage, gefolgt von einer langen Liste von Namen, mit denen unser armer Gitarrist natürlich gar nichts anfangen kann.

Damit wir uns diese Blöße der Unwissenheit nicht geben müssen, sind im Anhang ein paar weiterführende Informationen zum Thema Kondensator enthalten.

Für die Anwendung im Audiobereich sind im allgemeinen Folienkondensatoren eine gute Wahl. Es gibt sie in verschiedenen Ausführungen. Sehr gut eigenen sich MKT-Kondensatoren. Sind sie nicht erhältlich, kann auch Polypropylen eingesetzt werden. Allerdings sind MKT-Kondensatoren mit Kapazitäten unter 1 nF in der Regel nicht verfügbar. Hier muß man dann auf Polypropylen oder Polystyrol (Styroflex) ausweichen.

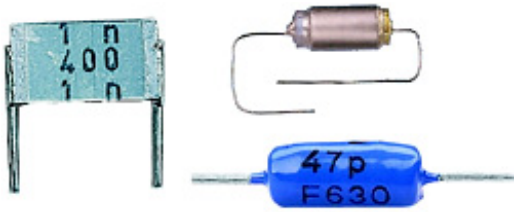


Bild 3-1: MKT- (links), Styroflex- (oben) und Polypropylen-Kondensator (rechts)

Von keramischen Kondensatoren oder Elektrolytkondensatoren (Elko’s) ist aus klanglichen Gründen abzuraten!

Da wir nicht genau wissen, welcher Kapazitätswert tatsächlich benötigt wird, sind wir großzügig und bescheren dem Verkäufer das Geschäft seines Lebens, indem wir alle Werte zwischen 100 pF und 1 nF als Styroflex-Kondensator erstehen (100, 120, 150, 220, 330, 470, 560, 680, 820). Das Gleiche gilt für den Bereich von 1 nF bis 10 nF. Bei einem Preis von 20 bis 30 Cent pro Bauteil wird er uns auf ewig dankbar sein!

Je mehr Zwischenwerte uns für unser Experiment zur Verfügung stehen, desto genauer können wir später unseren Wunsch-Sound einstellen.

3.2 Vorbereitungen

Bevor man damit beginnt, an der Elektronik der Gitarre Veränderungen vorzunehmen, sollte man sich einen Überblick über die vorliegenden Verhältnisse verschaffen. Wer vorschnell handelt und den Kondensator einfach so irgendwo, quasi „auf die Schnelle“ einbaut, darf sich nicht wundern, wenn das Ergebnis nicht seinen Vorstellungen entspricht.

Was man zur Verfügung haben sollte, ist ein Schaltbild oder einen Verdrahtungsplan (Wiring-Diagram). Im Internet gibt es diverse Quellen, wo solche Pläne verfügbar sind. Eine gute Auswahl ist in [8] zu finden. Die Pläne für Fender-Gitarren sind im Internet unter [7] erhältlich. Im Grunde genommen bietet heute fast jeder Hersteller solche Pläne kostenlos an.

3.3 Wohin damit?

Jetzt ist es soweit! Der oder besser gesagt die Kondensatoren können eingebaut werden. Wir stehen jedoch schon wieder vor einer Entscheidung: Abhängig von der Schaltung in der Gitarre kann der Lastkondensator an verschiedenen Stellen eingebaut werden. Die Unterschiede sind durch die Anzahl der Lautstärke- und Klangeinsteller gegeben. Es gilt jedoch grundsätzlich, daß der Lastkondensator immer parallel zum Tonabnehmer oder zu den Tonabnehmern geschaltet werden muß!

Wir können für jeden Tonabnehmer einen eigenen Kondensator einbauen oder einen gemeinsamen für alle. Betrachten wir als erstes die „Stratocaster“ stellvertretend für alle Gitarren mit einem Lautstärkeeinsteller:

Möchte man einen gemeinsamen Lastkondensator einbauen, so lötet man diesen am besten am Anfang und am Ende des Lautstärkeeinstellers an. Auf diese Weise ist ein Bein am „heißen“ Anschluß und eines am „kalten“ (Masse). Da der Schalter sich vor dem Lautstärkeeinsteller befindet, wirkt der Lastkondensator so für alle Tonabnehmer. Im nächsten Bild wurde ein Kondensator von 1,2 nF mit dem Volume-Poti verbunden.

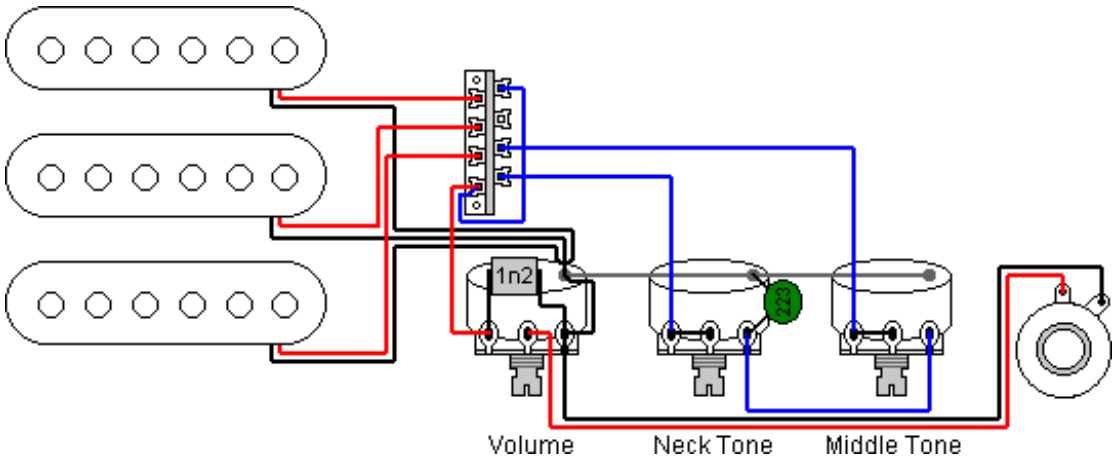


Bild 3-2: Anschluß eines Lastkondensators in einer „Stratocaster“

Möchte man jedem Tonabnehmer eine eigene Resonanzfrequenz verpassen, so müssen die Kondensatoren direkt am Schalter an den „heißen“ Enden (Pfeil) der Tonabnehmer und an Masse gelötet werden.

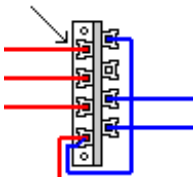


Bild 3-3: Anschluß eines Lastkondensators für den Hals-Tonabnehmer am Wahlschalter

Verschiedene Resonanzen bei den einzelnen Tonabnehmern können sehr nützlich sein. Den Stegtonabnehmer verpassen wir eine PAF-Charakteristik für verzerrte Solo-Sounds und der Halstonabnehmer bleibt für Rythmussachen schön brillant. Oder, oder, oder...

An dieser Stelle sollen ein paar Worte zur Kennzeichnung der Kondensatoren gesagt werden. Da auf dem Bauelement nicht besonders viel Platz für eine Beschriftung ist, versucht man die Angaben möglichst kompakt zu halten. Häufig wird das Komma durch das Kürzel p, n oder u ersetzt. 2u7 bedeutet dann zum Beispiel 2,7 µF. Eine andere Möglichkeit besteht in der Verwendung von Zehnermultiplikatoren, die auf einen bestimten Wert bezogen sind. Die Angabe 223 auf einem Kondensator kann dann 22 nF heißen. Der Bezug ist das Pikofarad und der Multiplikator ist 10^3.

Beim normalen 5-fach-Schalter der „Stratocaster“ ist der Anschluß noch recht einfach. In den modernen Super-Strats mit HSS- oder HSH-Bestückung ist in der Regel ein Schalter mit vier Schaltebenen eingebaut, um die notwendigen Umschaltungen vornehmen zu können. Hier besteht das Problem dann darin, das „heiße“ Ende eines Tonabnehmer richtig zu identifizieren. Da wird gerne mal etwas falsch gemacht. Am Besten besorgt man sich vor dem Umbau die Originalschaltung oder macht sich zumindest Aufzeichnungen, damit man den Urzustand bei Bedarf wieder herstellen kann.

Mit ein wenig Ruhe und Überlegung ist es jedoch möglich, auch in einer solchen Gitarre einen Lastkondensator einzubauen. Das grundsätzlich Prinzip ist jedenfalls immer gleich.

Hat man mehrere Lautstärkeeinsteller, wie bei der „Les Paul“, so muß man ein wenig umdenken, denn der Tonabnehmerwahlschalter befindet sich „hinter“ dem Lautstärkeeinsteller. An dieser Stelle hat unser Lastkondensator nichts zu suchen, denn wenn man die Lautstärke verringert, ergibt sich ein Tiefpaß, der unsere hohen Frequenzen und unsere Resonanz dämpft. Dieses Verhalten ist bei vielen Gitarren bekannt und wird durch einen Kondensator an dieser Stelle nur noch stärker.

Die daraus zu ziehende Schlußfolgerung liegt auf der Hand: Bei einer „Les Paul“ und ihren Abkömmlingen muß man für jeden Tonabnehmer eine eigene Lastkapazität vorsehen. Der entsprechende Kondensator wird, wie schon bei der „Stratocaster“ beschrieben, am Lautstärkeeinsteller angeschlossen.

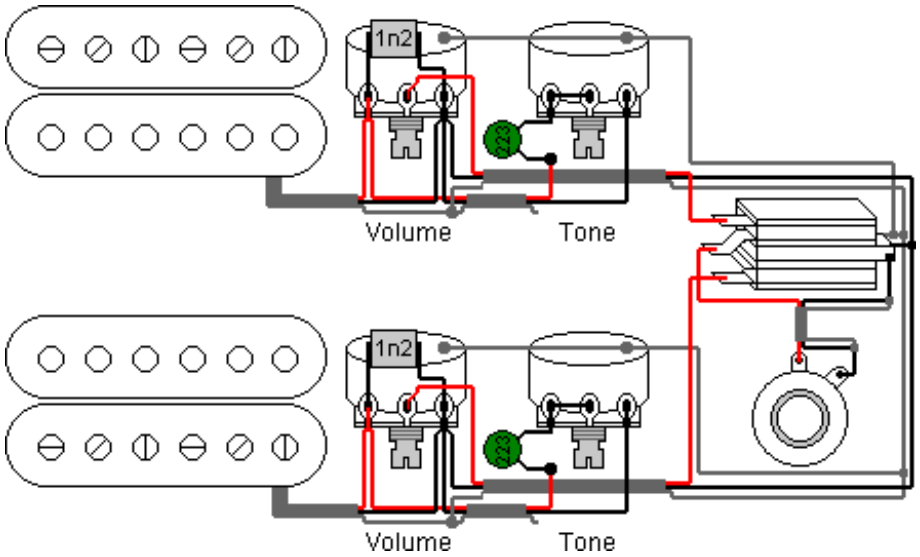


Bild 3-4: Anschluß eines Lastkondensators in einer „Les Paul“

3.4 Ausprobieren ist schwer!

Das Werkzeug ist bereit, der Lötkolben warm und die „Stratocaster“ liegt auf dem Tisch. Jetzt wird ausprobiert. Also, ersten Kondensator einlöten, Gitarre anschließen und hören. Aber halt! Die Elektrik der Strat ist auf dem Pickguard montiert. Also Saiten ab, Schrauben lösen, Kondensator einlöten, Pickguard festschrauben, Saiten,... Das kann es doch wohl nicht sein, oder? Spätestens nach dem fünften Durchgang werden die Schrauben des Pickguard bestimmt nicht mehr anziehen. So geht es also wirklich nicht!

Tja, wohl dem, der eine Elektrogitarre mit von hinten zugänglichem Elektronikfach besitzt. Hier ist alles ganz einfach: Man schließt die Gitarre an, baut den ersten Kondensator ein und lauscht dem Ergebnis.

Bei der „Stratocaster“ und vergleichbaren Instrumenten muß man ein paar Tricks anwenden. Hier zwei davon:

1. Am Lautstärkeeinsteller werden zwei Kabel befestigt, die so lang sind, daß man außerhalb der Gitarre den Kondensator anlöten kann. Dann kann man das Pickguard wieder montieren und mit dem Test beginnen.
2. Man lötet den Kondensator einfach am Klinkenstecker des Gitarrenkabels an. Jetzt muß man nur noch darauf achten, daß der Lautstärkeeinsteller auf seinem größten Wert steht, sonst ergibt sich das schon erwähnte Tiefpaßproblem. Aus diesem Grund kann der Kondensator hier natürlich nicht dauerhaft bleiben.

Dann ist nur noch der gute Geschmack gefragt. Wir tauschen so lange die Kondensatoren aus, bis ein uns genehmer „Klang“ entsteht.

Beim Ausprobieren der einzelnen Werte sollte man sich Zeit nehmen und mit den verschiedenen Sounds (unverzerrt, verzerrt) ein wenig spielen. Als kleines Nebenprodukt lernt man dann auch gleich, wie die Klangeinstellung in der Gitarre tatsächlich funktioniert.

Manchmal tritt das Problem auf, daß einem der eine Kondensator zu wenig und der andere zu viele Höhen beschert. Dann muß man eben versuchen die Kapazität in der Mitte zu realiseren. Das geht ganz leicht, indem man zwei Kondensatoren parallel schaltet. Die Kapazitätswerte addieren sich dann einfach.

Haben wir endlich unseren „Wunschkondensator“ gefunden, so muß das Pickguard doch ab, um das Bauelement an der richtigen Stelle parallel zum Tonabnehmer oder den Tonabnehmern einzulöten.

4 Finaler Einbau und Alternativen

Haben wir den für unseren Wunsch-Sound zuständigen Kondensator gefunden, so können wir ihn einbauen. Wer nur diesen neuen Klang braucht, ist schnell fertig. Der Kondensator wird eingebaut und die Gitarre wieder verschlossen. Aber was ist mit dem alten, „helleren“ Klang? Der war doch eigentlich auch ganz nett! Nimmt man jetzt noch einen Schalter, dann könnte man doch den Lastkondensator schaltbar machen und hätte folglich beide „Klänge“ zur Verfügung. Wer so denkt, hat sich schon fast mit einem zusätzlichen Schalter in der Gitarre abgefunden.

4.1 Welcher Schalter soll es den sein?

Sieht man sich einmal das Sortiment von Schaltern bei den verschiedenen Händlern an, so steht man einem schier unendlichen Angebot gegenüber. Die meisten sind jedoch aufgrund ihrer Größe und Bauform nicht für die Anwendung innerhalb der Elektrogitarre geeignet. In 6.2 sind daher ein paar Informationen über geeignete Schalter zusammengestellt worden. Generell hat sich der Einsatz von Minikippschaltern in der Elektrogitarre bewährt. Sie sind klein, leicht einzubauen und preiswert in jedem Elektronikladen erhältlich.

4.2 Ein Schalter ist kein Schalter

Benutzt man einen Schalter, den man mit dem Kondensator in Reihe schaltet, so kann man die zusätzliche Kapazität nach Belieben ein- und ausschalten und hat so beide „Klänge“ zur Auswahl. Hier ein Beispiel für eine Gitarre mit nur einem Tonabnehmer:

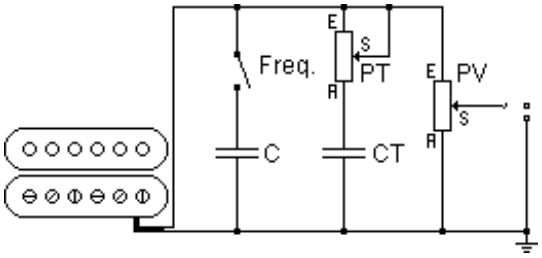


Bild 4-1: Umschaltbare Resonanzfrequenz

Verdoppelt man die Schaltung und fügt einen Toggle-Switch hinzu, so gelangt man zur Schaltung der „Les Paul“, die auch in vielen anderen Gitarren mit zwei Tonabnehmern Anwendung findet:

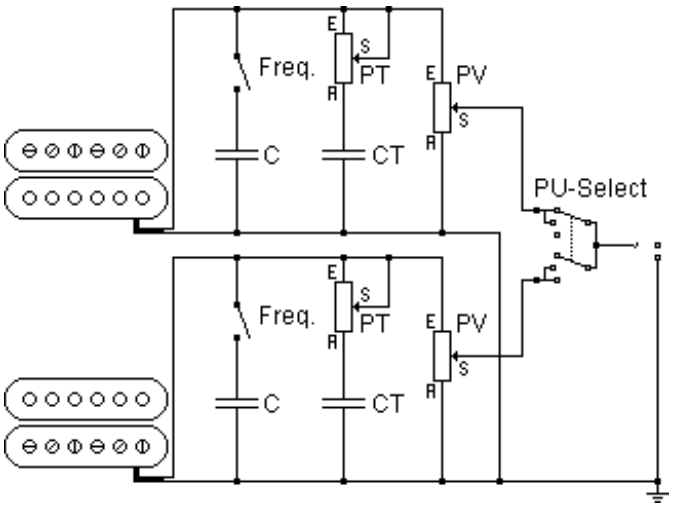


Bild 4-2: Umschaltbare Resonanzfrequenz für eine HH-Gitarre

Hier ergibt sich die Möglichkeit, jedem Tonabnehmer unterschiedliche Resonanzfrequenzen zu geben.

Verwendet man einen Schalter mit Mittelstellung Aus (ON/OFF/ON), so kann man sogar zwei verschiedene Kondensatoren auswählen. Damit hat man dann insgesamt drei verschiedene Resonanzfrequenzen zur Auswahl. Da in der Mittelstellung des Schalters keiner der beiden Kondensatoren aktiviert ist, ergibt sich hier der ursprüngliche Klang der Gitarre.

Das nächste Bild zeigt die Verwendung eines solchen Schalters in einer HH-Gitarre, die nur mit einem Lautstärkeeinsteller und einer Tonblende auskommt. Unsere Lastkondensatoren sind hier mit C1 und C2 bezeichnet.

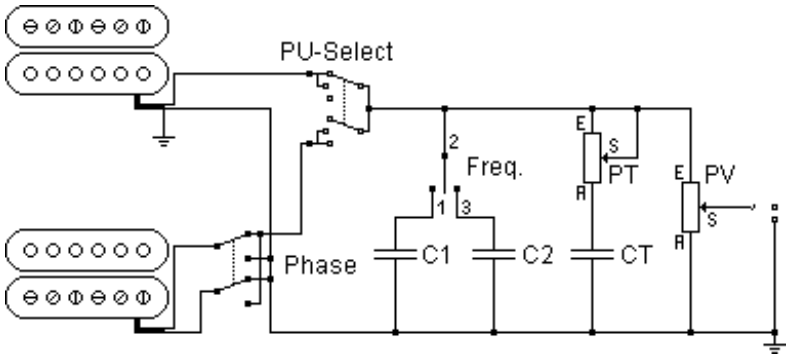


Bild 4-3: Drei verschiedene Resonanzfrequenzen für eine HH-Gitarre

Den linken Teil der Schaltung kann man so auch in eine „Stratocaster“ oder „Telecaster“ einbauen. Sind je zwei Volume- und Tone-Potis vorhanden, so muß der Schalter und die Kondensatoren, wie in Bild 4-2, doppelt vorgesehen werden. Warum das so sein muß, wurde bereits in 3.3 diskutiert. Bei der „Paula“ und ihren Verwandten ist es eben etwas schwieriger!

Was viele jedoch stören dürfte, ist die Tatsache, daß man jetzt in die geliebten Gitarre ein Loch bohren muß. Tja, das eine was man will, das andere was man muß! Wenn man sauber und ordentlich arbeitet, sollte am Ende auch ein vernünftiges Ergebnis stehen.

Bei Instrumenten wie der „Stratocaster“ ist die Sache recht einfach. Man bohrt einfach an geeigneter Stelle ein Loch in das Pickguard und kann den Schalter montieren. Soll das Instrument später in seinem Originalzustand verkauft werden, muß man lediglich ein neues Pickguard kaufen.

Gitarren ohne ein solches Pickguard sind etwas problematischer, denn hier muß ein Loch in das Holz gebohrt werden. Die „Les Paul“ mit ihrer gewölbten Decke stellt hier eine besondere Herausforderung dar. Normale Schalter haben in der Regel ein viel zu kurzes Gewinde. Hier bleibt nichts anderes übrig, als im Elektronikfach eine etwas tiefere Fräsung anzulegen, um die Decke ein wenig dünner zu machen. Daß sich auch die Profis nicht scheuen, so etwas zu machen, zeigt die „Prototype“-Serie, die Anfang der 80er Jahre von Aria vorgestellt wurde:

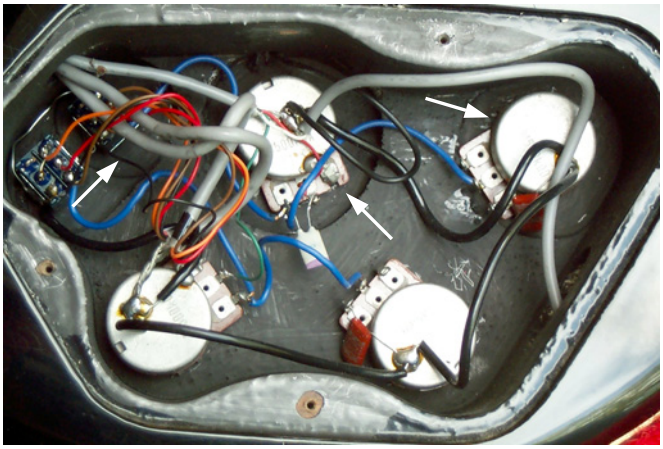


Bild 4-4: Blick in das Elektronikfach der Aria PE-BG

Bevor man jedoch am Korpus mechanische Veränderungen vornimmt, sollte man sehr genau nachdenken, denn so ein Vorgang läßt sich nicht wieder rückgängig machen. Im schlimmsten Fall sinkt der Wiederverkaufswert des Instrumentes, da es sich ja nicht mehr im originalen Zustand befindet. Es gibt nicht wenige Musiker, die ein derart modifiziertes Instrument ablehnen, auch wenn es noch so toll klingt.

4.3 Poti oder was?

Auch wenn man keinen Schalter in sein Instrument einbauen will gibt es eine Lösung. Oder besser gesagt, sogar zwei:

Die erste kostet wieder ein wenig Geld, denn man benötigt ein sogenanntes „Push-Poti“. Man tauscht jetzt einfach eines der Potentiometer in der Gitarre gegen ein geeignetes Push-Poti aus und schon hat man einen zweipoligen Umschalter zur Verfügung, ohne daß es eine optische Veränderung am Instrument gibt. Natürlich sollte man darauf achten, daß das Push-Poti den gleichen Widerstandswert wie das alte Potentiometer aufweist! In 6.2.5 sind ein paar Informationen über diese speziellen Potentiometer zusammengestellt worden.

Die zweite Lösung ist völlig kostenlos. Viele Gitarristen benutzen den Klangeinsteller an der Gitarre gar nicht, da er in seiner Wirkung fast brachial ist. In der Endstellung ist das Signal in der Regel nur noch Dumpf und die Höhen fehlen völlig. Wenn wir das Potentiometer bezüglich seiner Wirkung in erster Linie als Schalter begreifen, welcher zwischen Kondensator ein und aus hin- und herschaltet, so ist klar, was wir zu tun haben: Wir tauschen den Tone-Kondensator (typ. 22 nF) gegen unseren Wunschkondensator aus. In der Folge wird der variierbare Frequenzbereich eingeschränkt und der Klangeinsteller bekommt eine völlig neue Qualität.

Ist der Tone ganz auf, haben wir unseren gewohnten alten „Klang“. Drehen wir ganz zu, wird es nicht etwa dumpf, sondern wir erhalten unsere neue Charakteristik. Dazwischen gibt es einen stufenlosen Tiefpaßübergang. Bild 4-5 zeigt die möglichen Übertragungskurven mit einem Kondensator von 1,8 nF in Abhängigkeit des Drehwinkels.

Als kleines Bonbon hat die Resonanz im „PAF“-Fall mit 9,9 dB sogar eine etwas stärkere Ausprägung. Wenn es stört, der dreht den Tone eben nicht ganz so weit zu. 30% entspricht dann in etwa dem „weichen“ PAF aus Tabelle 1-1.

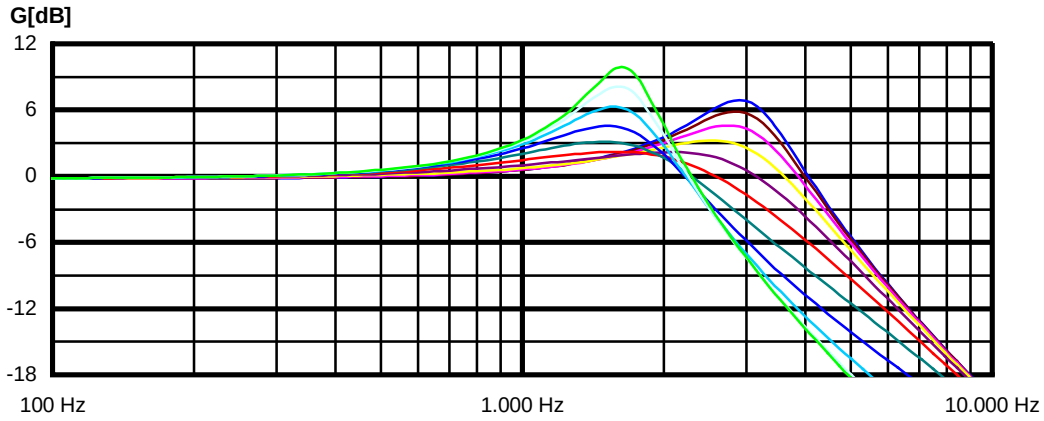


Bild 4-5: Klangüberblendung zwischen zwei Resonanzfrequenzen

Im Bild sind die Übertragungskurven beginnend mit der blauen Kurve (100%) über die rote (50%) bis zur grünen Kurve (0%) dargestellt. Wenn man sich jetzt einmal klar macht, was dieser Einsteller eigentlich bewirkt, kann man ihn auch viel gezielter einsetzen.

4.4 Jetzt geht's rund - Die Drehschalter-Kür

Verwendet man alle Kondensatoren aus Tabelle 2-2, so kann man getrost von einer Kür sprechen. Jetzt sind größere Umbaumaßnahmen in der Gitarre allerdings nicht mehr zu vermeiden. Man benötigt einen Drehschalter mit mehreren Positionen und einer Schaltebene. Leider gibt es mit diesen Schaltern häufig ein paar kleine Probleme:

1. Manchmal ist das Gewinde ist ein wenig zu groß. Beim Einbau in die Gitarre anstelle eines Potentiometers muß also ein wenig gebohrt werden. Der Aufwand hält sich allerdings in einem vertretbaren Rahmen. Bei Bedarf läßt sich das alte Potentiometer auch wieder in dem vergrößerten Loch befestigen.
2. Die bei der Gitarre üblichen Knöpfe für die Potis lassen sich nicht befestigen, da diese Schalter nicht mit einer Riffelachse erhältlich sind. Damit sind also auch neue Knöpfe fällig, was nicht nur die Kosten erhöht, sondern auch die Optik des Instrumentes verändert. Den wahren Vintage-Freaks dürfete jetzt ein Schauer des Entsetzens über den Rücken laufen.

Daß ein derartig modifiziertes Instrument nicht unbedingt schlecht aussehen muß, beweist das nächste Bild:

Bild 4-6: Die modifizierte Aria ES-700WR des Autors

Was in diesem Instrument alles steckt, ist auf den ersten Blick gar nicht zu sehen. Hier also eine kurze Feature-Liste:

- Tri-Sound-Switch für jeden Tonabnehmer (Humbucker seriell, Single-Coil, Humbucker parallel).
- Out-of-Phase-Schalter,
- 6 einstellbare Resonanzfrequenzen (Drehschalter),
- 5 einstellbare Baßabschwächungen (Drehschalter),
- 1 Lautstärkeeinsteller mit Treble-Kompensation
- 1 Klangeinsteller zur Absenkung der Resonanzspitze

Damit sind insgesamt 16 verschiedene Resonanzen von 4,6 kHz bis 700 Hz möglich. Insgesamt ergeben sich 24 unterschiedliche Tonabnehmerkombinationen. Inklusive der beiden Drehschalter, erhält man dann 720 zur Verfügung stehende Klangvariationen. Da ist mit Sicherheit für jeden etwas dabei. Nebenbei bemerkt, arbeitet diese Gitarre komplett passiv. Transistor-Hasser und Röhrenbefürworter können also ganz beruhigt sein.

Wie das ganze dann in einem Schaltungbild aussehen kann, zeigt das nächste Bild am Beispiel der „Stratocaster". Hier die Eigenschaften:

- Jeder Tonabnehmer verfügt über einen eigenen Schalter,
- Phasenumkehr (Out-of-Phase),
- 12 einstellbare Resonanzfrequenzen (Drehschalter),
- 1 Lautstärkeeinsteller mit Treble-Kompensation
- 1 Klangeinsteller zur Absenkung der Resonanzspitze

Diese Schaltung wurde in der Cimar-Strat des Autors eingebaut. Zusammen mit einem kleinen Vorverstärker, der hier nicht gezeigt wird, und dem Vorlastkondensator C (470 pF) können die verwendeten Fender „Noiseless“ auch sehr hohe Resonanzfrequenzen erzeugen.

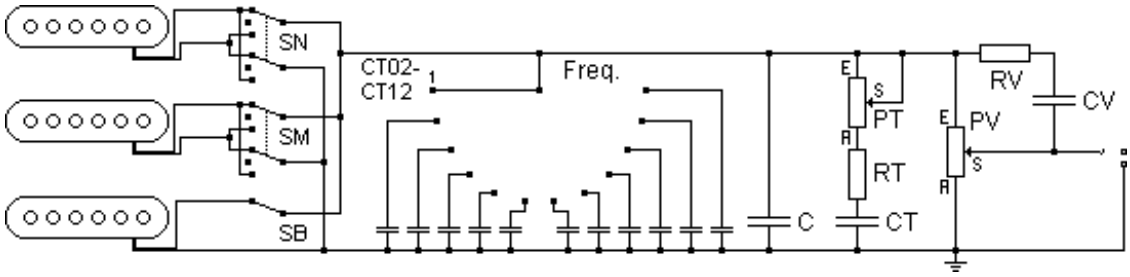


Bild 4-7: Stratocaster mit vielen Modifikationen

Mit den eingesetzten 500 kΩ-Potis ergeben sich folgende Werte:

Kondensator	Resonanzfrequenz	Resonanzspitze
-	4,247 kHz	6,33 dB
100pF	3,899 kHz	6,60 dB
270pF	3,459 kHz	6,87 dB
470pF	3,089 kHz	7,03 dB
680pF	2,801 kHz	7,08 dB
1,2nF	2,324 kHz	6,98 dB
1,8nF	1,980 kHz	6,69 dB
2,2nF	1,815 kHz	6,46 dB
3,3nF	1,497 kHz	5,83 dB
4,7nF	1,241 kHz	5,08 dB
6,8nF	995 Hz	4,12 dB
10nF	756 Hz	2,95 dB

Tabelle 4-1: Resonanzfrequenz der modifizierten Cimar-Strat

Durch die 3 Kippschalter sind alle parallelen Kombinationen der Tonabnehmer inklusive Out-of-Phase möglich. So flexibel im Klang ist wohl kaum eine Strat und durch den Vorverstärker kann man jeder Röhre die Schamesröte zuverlässig ins Gesicht treiben.

Bild 4-8: Modifizierte „Stratocaster“

So schlimm, wie es aussieht ist die Bedienung des Instrumentes allerdings nicht. Wenn Brian May mit sechs Schaltern in seiner „Red Special“ klar kommt, werden wir doch wohl drei kleine Schalter im Griff haben, oder?

Noch mehr Möglichkeiten bietet die nächste Schaltung. Zusätzlich zu den aufgezählten Features der modifizierten ES-700WR, ist hier auch eine Reihenschaltung der Tonabnehmer möglich. Für die Resonanzfrequenz und den Bass-Cut wurde je ein Drehschalter mit 12 Positionen anstelle eines Volume- und Ton-Potis eingesetzt. Grundsätzlich handelt es sich um eine Erweiterung der in Bild 4-6 verwendeten Schaltung. Hier ergeben sich insgesamt 42 verschiedene Kombinationsmöglichkeiten der Tonabnehmer. Nimmt man noch die beiden Drehschalter hinzu, so erhält man alles in allem 6048 Klangvariationen.

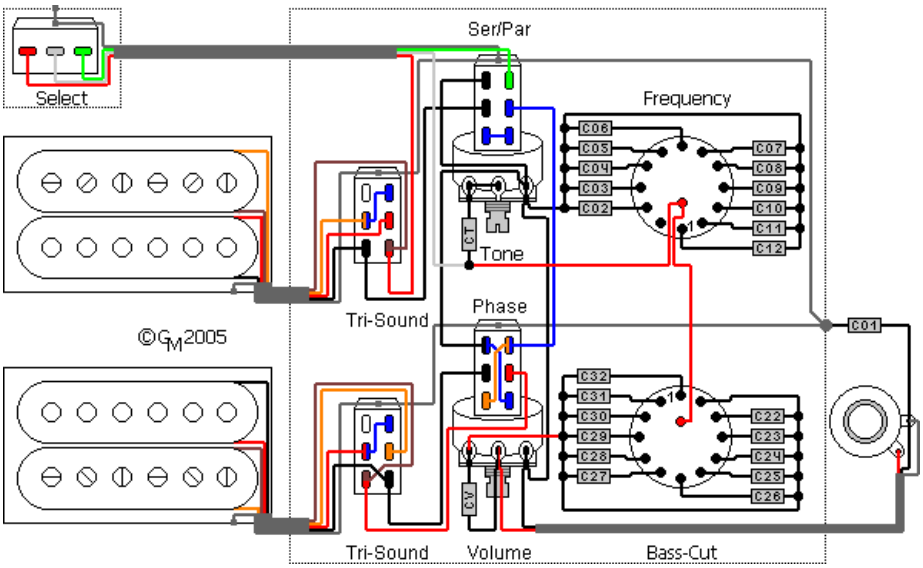


Bild 4-9: HH-Gitarre mit vielen Modifikationen

Die Auswahlmöglichkeiten der Tonabnehmer ist an die sogenannte „Jimmy Page"-Modifikation[1] angelehnt. Hier wurden allerdings Tri-Sound-Schalter wie bei Ibanez statt der Coil-Split-Schalter eingebaut und die beiden Drehschalter ergänzt. Man beachte, daß hier auch das abgeschirmte Elektronikfach (gestrichelt) in den Verdrahtungsplan aufgenommen wurde. Alle Abschirmungen (graue Leitungen) sind über einen Kondensator mit der Masse verbunden, um die Gefahr eines elektrischen Schlages zu verringern. In dieser Variante wurden sowohl Kippschalter als auch Push-Potis verwendet, da das Instrument bereits über 2 eingebaute ON/ON-Schalter verfügte. Die Modifikationen konnten auf diese Weise ohne mechanische Arbeiten am Korpus realisiert werden.

Bild 4-10: Bedienelemente der modifizierten HH-Gitarre

Auf den ersten Blick sieht man dieser passiven Elektrogitarre nicht an, welche klanglichen Möglichkeiten in ihr stecken.

[1] Die 59er Gibson „Les Paul" von Jimmy Page wurde nach seinen Vorgaben modifiziert.

5 Zusammenfassung

So geheimnissvoll, wie es immer gesagt wird, sind die PAFs mit ihrem Klang gar nicht. Hat man einen Humbucker und eine mit einer „Les Paul“ vergleichbaren Gitarre, so stehen die Chancen gut, daß man mit dem vorgestellten Verfahren, den Klang eines PAF gut nachahmen kann. Aber auch die Besitzer einer Gitarre mit einzelspuligen Tonabnehmern können mit Hilfe einer Lastkapazität zumindest eine vergleichbare Übertragungscharakteristik einstellen.

Die Grenzen dieser „Klanganpassung“ werden durch die akustischen und mechanischen Eigenschaften des Instrumentes bestimmt. Den vorhandenen Grundklang einer Gitarre kann eben kein Tonabnehmer ändern, sondern immer nur umformen. Man kann also aus einer Strat keine Paula machen und umgekehrt!

Grundsätzlich läßt sich der „Klang“ aber derartig verändern, daß der Erwerb eines Austauschtonabnehmers in den meisten Fällen nicht notwendig sein sollte. Jetzt bleibt nur die Frage, ob dieses Verfahren wirklich mit einem neuen Tonabnehmer vergleichbar ist. Wo liegen seine Grenzen?

Die Resonanzfrequenz des Tonabnehmers läßt sich durch den zusätzlichen Kondensator nur verringern. Eine Erhöhung ist so nicht möglich.

Verglichen mit einem Austauschtonabnehmer kann sich eine unterschiedliche Lautstärke ergeben. Im Zeitalter der High-Gain-Verstärker sollte das aber wirklich kein Problem mehr sein. Die Verstärker verfügen in der Regel über genug Reserven um 2 bis 3 dB auszugleichen. Darüber hinaus kann ein „leiserer“ Tonabnehmer kann auch ganz nützlich sein, denn die „laute“ Variante ist meist sehr hochohmig und von daher anfälliger für Störungen. Die vielen Diskussionsbeiträge zum Thema Störungen bei der Verwendung von passiven High-Gain-Tonabnehmern sprechen da eine deutliche Sprache.

In jedem Fall sollte man dem Lastkondensator eine Chance geben, denn er hat einen großen Vorteil: Diese Lösung ist unschlagbar billig! Selbst wenn man die empfohlene Kondensatorreihe mit 20 Werten kauft, liegt man mit circa 6 Euro deutlich unter dem Preis eines neuen Tonabnehmers. Wenn das Ergebnis klanglich nicht überzeugt, kann man immer noch zum Händler gehen und ist zumindest um ein paar nützliche Erfahrungen reicher.

Mit einem neuen Tonabnehmer legt man sich im Klang jedoch wieder fest. Ist er sehr „mittig“, gibt es keine einfache Möglichkeit, um einen „helleren“ Klang zu erzeugen. Die Brücken sind eben abgebrochen. Der Kondensator hingegen bietet uns einen massgeschneiderten „Klang“. Wir können damit sozusagen unsere ganz privates „Signature-Model“ erzeugen. Na, wenn das nichts ist?

In diesem Sinne kann ich nur sagen: Viel Erfolg beim Basteln!

6 Anhang

6.1 Kondensatoren

Grundsätzlich besteht ein Kondensator aus zwei voneinander isolierten Metallplatten mit sehr geringem Abstand. Legt man eine Spannung an die beiden Platten an, so lädt sich der Kondensator auf. Entfernt man die Spannung, so bleibt die Ladung erhalten. Der Kondensator ist also ein Energiespeicher.

Neben dieser für Gleichspannungsanwendungen wichtigen Eigenschaft stellt ein Kondensator auch einen frequenzabhängigen Widerstand dar, der umso geringer ist, je höher die Frequenz der angelegten Wechselspannung ist. Diese Eigenschaft wird in allen elektronischen Filterschaltungen ausgenutzt.

Kondensatoren unterscheiden sich nicht nur durch die Bauform sondern auch durch die verwendeten Materialien. Nachfolgend werden einige bekannte und zum Teil auch historische Bauformen vorgestellt.

6.1.1 Papierkondensatoren

Papier oder besser gesagt gepreßte Zellulose ist im trockenen Zustand ein recht guter Isolator und war eines der ersten verwendeten Dielektrika, die in industriell hergestellten Kondensatoren verwendet wurde. Dabei handelt es sich allerdings nicht um gewöhnliches Schreibpapier sondern um Papier mit einer speziellen Impägnierung.

Ein großer Nachteil von Papierkondensatoren ist, daß Papier einen geringe Dielektrizitätszahl ε_r besitzt und im Laufe der Zeit auch seine Dicke verändert, was sich in einer Kapazitätsänderung äußert. Außerdem ist Papier deutlich weniger durchschlagfest als eine gleichdicke Kunststoffolie. Die Folge ist eine große Bauform. Hinzu kommt, daß durch die nicht zu unterschätzenden elektrostatischen Kräfte zwischen den Metallfolien das Papier zusammengequetscht wird. Die Dicke des Papiers nimmt deshalb mit wachsender Spannung geringfügig ab, weshalb die Kapazität ein wenig ansteigt. Da das Zusammendrücken ein in gewissem Rahmen reversibler Prozeß ist, ergibt sich eine Abhängigkeit der Kapazität von der Spannung.

Abgesehen davon wirken die sich minimal bewegenden Metallfolien wie die Membran eines Lautsprechers. Besonders bei hohen Spannungen und schnellem Ladungswechsel entstehen deshalb hörbare Geräusche. Aufgrund der bewegten Massen ergibt sich eine relativ niedrige akustische Resonanzfrequenz. Die Abhängigkeit der Kapazität von der Spannung ist damit zusätzlich auch noch frequenzabhängig. Aufgrund dieser Nachteile werden Metallpapierkondensatoren kaum noch verwendet.

6.1.2 Ölpapierkondensatoren

Bei den als Ölpapierkondensatoren bezeichneten Kondensatoren (in HiFi-Kreisen gern auch Oilers genannt) handelt es sich um Papierkondensatoren, bei denen das isolierende Papier mit speziellem Öl getränkt ist. Ölpapierkondensatoren besitzen immer Metallfolien als Elektroden, weil sich auf öliges Papier keine Metallschichten aufdampfen lassen. Das Papier dient dabei eigentlich nur als Abstandhalter für die Folien, wobei das Öl im Idealfall sämtliche Hohlräume im Papier ausfüllt und als Dielektrikum wirkt. Im Vergleich zu normalem Kondensatorpapier besitzt ölgetränktes Papier eine etwas höhere Dielektrizitätszahl und bei gleicher Papierdicke oft eine höhere Spannungsfestigkeit. Die dadurch mögliche kleinere Bauform wird jedoch oft dadurch verspielt, daß oft der Kondensatorwickel in einem ölgefüllten Gehäuse schwimmt, was die Bauform vergrößert. Bei in der Hochspannungstechnik verwendeten größeren Exemplaren kann man das Öl manchmal sogar wechseln. Dieses Spezialöl besitzt zum Beispiel flammhemmende Zusatzstoffe, die zumindest bei älteren Exemplaren hochgradig gesundheitsschädlich sind.

Die Vorteile und Nachteile von Ölpapierkondensatoren sind weitgehend identisch mit denen von Papierkondensatoren, da es sich lediglich um eine spezielle Variante von Papierkondensatoren handelt. Bei Ölpapierkondensatoren verwendet man allerdings vorzugsweise Papier mit vielen großen Hohlräumen, damit viel Platz für das Öl vorhanden ist. Papier mit vielen großen Poren ist noch weniger druckstabil als solches mit wenigen kleinen, so daß die Abhängigkeit der Kapazität von der Spannung bei Ölpapierkondensatoren etwas größer als bei Papierkondensatoren ist. Außer in der Hochspannungs-/Starkstromtechnik werden Ölpapierkondensatoren nicht mehr verwendet.

6.1.3 Metallpapierkondensatoren

Als Dielektrikum kommt bei Metallpapierkondensatoren ebenfalls Papier zum Einsatz. Auf dieses Papier werden als Elektroden dünne Metallschichten aufgedampft. Metallpapierkondensatoren sind deshalb selbstheilend und besitzen außerdem eine kleinere Bauform als Papierkondensatoren, weil aufgedampfte Metallschichten viel dünner als Metallfolien sind. Ansonsten entsprechen ihre Eigenschaften denen der Papierkondensatoren.

6.1.4 Kunststoffolienkondensatoren

Als Dielektrikum wird bei Kunststoffolienkondensatoren dem Namen entsprechend eine Kunststoffolie verwendet. Kunststoffe besitzen eine erheblich größere Durchschlagfestigkeit als Papier, so daß bei gleicher Nennspannung infolge der dünneren Folie eine deutlich kleinere Bauform möglich ist. Da zudem Kunststoffolie ganz erheblich druckstabiler als Papier ist, ist die Kapazität unabhängig von der angelegten Spannung. Bei Kunststoffolienkondensatoren werden sowohl durch eine Kunststoffolie voneinander isolierte Metallfolien (Film-/Folienaufbau) als auch metallisierte Kunststoffolien (MK-Aufbau, MK = Metallisierter Kunststoff) verwendet. Die aufgedampfte Metallisierung ist mit nur einigen Nanometer Dicke viel dünner als eine Metallfolie, die einige Mikrometer dick ist. MK-Kondensatoren sind daher nochmals kleiner als Kondensatoren mit Film-/Folienaufbau. Ihr einziger Nachteil ist, daß die dünne Metallschicht eine geringere Stromtragfähigkeit besitzt als vergleichsweise dicke Folien. Für Impulsanwendungen, bei denen oft kurzzeitig Ströme von etlichen hundert Ampere oder noch mehr fließen, verwendet man vorzugsweise Kondensatoren mit Film-/Folienaufbau. MK-Kondensatoren haben hingegen den Vorteil, selbstheilend zu sein.

Es gibt zahlreiche verschiedene Kunststoffarten, die als Dielektrikum Verwendung finden, wobei jeder Kunststoff materialabhängige Vor- und Nachteile besitzt. In den meisten Fällen ist ein simpler Wald-und-Wiesen-MK-Kondensator mehr als ausreichend. Wo ganz spezielle Anforderungen bestehen (z.B. Hochspannungstechnik oder Meßtechnik), bietet jedoch die große Vielfalt an Kunststoffen die Möglichkeit, den für die jeweilige Anwendung besten Kondensator zu verwenden. Unterschiede gibt es beispielsweise bei der Temperaturabhängigkeit und dem Langzeitverhalten (beide wirken sich auf die Kapazitätstoleranz aus), bei der Durchschlagfestigkeit, der Höhe der Permittivitätszahl, des Isolationswiderstands und den dielektrischen Verlusten.

Die Kunststoffolien bestehen zumeist aus:

- Polyäthylenterephtalat (PEN),
- Polyester (PET),
- Polycarbonat (PC),
- Polypropylen (PP),
- Polystyrol (PS) mit dem Markenname Styroflex oder
- Polyphenylensulfid (PPS).

Die Kunststoffe (PC, PP) ergeben zusammen mit Alufolie die weitestgehend genormten Bezeichnungen:

- KC,
- KP,
- FKP oder
- PPF.

Handelt es sich um eine metallisierte Kunststoffolie (PEN, PET, PC, PP, PPS), so lauten die Bezeichnungen:

- MKS oder MKY,
- MKT oder MKH,
- MKC,
- MKP oder PPM oder MPP oder MFP bzw.
- MKY oder MKS.

Die Klassifizierung von Folienkondensatoren wird mit Hilfe einer Kurzbezeichnung vorgenommen. Dabei gibt der letzte Buchstabe Auskunft über das verwendete Dielektrikum:

T: Polyethylene terephthalate (PET)

P: Polypropylene (PP)

N: Polyethylene naphthalate (PEN)

C: Polycarbonat

Handelt es sich um einen Kondensator mit metallisierter Folie, so wird der Kurzbezeichnung ein M vorangestellt.

Gängige Kondensatoren werden aus den nachfolgenden Kunststoffen hergestellt, die mit Vor- und Nachteilen aufgelistet sind:

Dielektrikum	Symbol	Aufbau	Eigenschaften
Polyester	MKT	MK	Verlustarm, hoher Isolationswiderstand, großer Temperaturbereich, selbstheilend
Polyester	MFT	Metalfolie/met. Plastikfolie	
Polyester	KT	Film-/Folie	Verlustarm, hoher Isolationswiderstand, großer Temperaturbereich, hohe Impulsbelastbarkeit
Polypropylen	MKP	MK	Verlustarm, geringe Temperaturabhängigkeit, geringe Frequenzabhängigkeit, geringe dielektrische Absorption, sehr hoher Isolationswiderstand, großer Temperaturbereich, selbstheilend
Polypropylen	MFP	Metalfolie/met. Plastikfolie	
Polypropylen	KP	Film-/Folie	Verlustarm, geringe Temperaturabhängigkeit, geringe Frequenzabhängigkeit, geringe dielektrische Absorption, sehr hoher Isolationswiderstand, großer Temperaturbereich, hohe Impulsbelastbarkeit
Polystyrol	KS (Styroflex)	Film-/Folie	Sehr verlustarm, extrem geringe Temperaturabhängigkeit, geringe Frequenzabhängigkeit, sehr hoher Isolationswiderstand, mittlerer Temperaturbereich
Polycarbonat	MKC	MK	Sehr geringe Temperaturabhängigkeit, geringe dielektrische Absorption, sehr hoher Isolationswiderstand, selbstheilend
Polycarbonat	FKC	Film-/Folie	Sehr geringe Temperaturabhängigkeit, geringe dielektrische Absorption, sehr hoher Isolationswiderstand, hohe Impulsbelastbarkeit

Tabelle 6-1: Übersicht Kunststoffolienkondensatoren

6.1.5 Keramikkondensatoren

Bei Keramikkondensatoren kommen als Dielektrikum spezielle Keramiken zum Einsatz. Denken Sie bei Keramik aber bitte nicht an Tafelgeschirr. Es handelt sich vielmehr um bestimmte chemische Verbindungen, die unter Druck und Temperatur gesintert werden. Wenn man ein kleines Keramikrohr innen wie außen metallisiert und die Metallisierung der Innen- und der Außenseite an getrennte Anschlüsse führt, erhält man einen sogenannten Rohrkondensator. Seine Kapazität ist aufgrund der geringen Fläche und der relativ großen Dicke der Rohrwandung ziemlich gering. Als Ausgleich besitzt er jedoch gute Hochfrequenzeigenschaften. Heutzutage verwendet man jedoch fast ausschließlich Keramikkondensatoren, die aus einem rechteckförmigen Plättchen oder einer runden Scheibe bestehen, die auf beiden Seiten metallisiert ist. Durch Verwendung spezieller Keramiken kann man in Anbetracht der geringen Fläche und des im Vergleich zu einer Kunststoffolie dicken Dielektrikums erstaunlich hohe Kapazitätswerte erzielen.

Man unterscheidet grob zwischen Dielektrika der Gruppe I und II. Dielektrika der Gruppe I besitzen hervorragende Eigenschaften. Ihr Isolationswiderstand übertrifft denjenigen der ebenfalls sehr guten Kunststoffolienkondensatoren bei weitem, während die dielektrische Absorption und der Temperaturgang mit den besten Kunststoffolienkondensatoren mithalten kann. Aufgrund ihrer geringen Größe besitzen sie beste Hochfrequenzeigenschaften. Allerdings sind sie nur mit Kapazitätswerten bis 100 pF erhältlich.

Keramikkondensatoren mit Dielektrika der Gruppe II besitzen eine deutlich höhere dielektrische Absorption. Diese ist umso höher, je größer die Dielektrizitätszahl der verwendeten Keramik ist. Sie sind zwar für Schwingkreise weniger gut geeignet, aber wie geschaffen für Sieb- und Entkopplungszwecke. Hierbei spielt es auch keine Rolle, daß die Temperaturabhängigkeit mit größer werdender Dielektrizitätszahl zunimmt.

6.2 Schalter

Schalter gibt es in unzähligen Variationen. Für den Einsatz in einer Elektrogitarre kommen aufgrund der Platzverhältnisse jedoch nur sehr wenige Typen in Frage.

6.2.1 Tonabnehmerwahl

Für die Auswahl der Tonabnehmer haben sich zwei quasi Standards durch gesetzt: Der Kippschalter von Gibson und der Strat-Schalter mit 3 bis 5 Schaltpositionen.

Beim sogenannten „Toggle-Switch“, wie er in der „Les Paul“ eingesetzt wird, handelt es sich eigentlich um zwei Aus-Schalter, die in der Ruhelage die Kontakte verbinden. Zwischen den beiden Schaltzungen sitzt ein Hebel, der aus der Mittelstellung heraus den einen oder anderen Kontakt öffnet. Das benötigte Schaltverhalten (ON/ON/ON) erreicht man, indem die innen liegenden Kontakte der beiden Schalter miteinander verbunden werden.

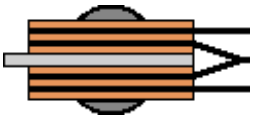


Bild 6-1: Der Toggle-Switch von unten

Blickt man von unten auf den Schalter, so sind rechts die vier Kontakte zu erkennen, von denen zwei verbunden sind. Das ist sozusagen der „Ausgang“ des Schalters. Der zwischen den beiden Schaltern liegende Metallrahmen wird zu Abschirmungszwecken auf Masse gelegt. Dieser Schalter hat sich seit der Einführung der „Les Paul“ im Jahre 1952 vom Prinzip her nicht geändert. Er ist robust und äußerst langlebig. Leider läßt er baubedingt nur eine Parallelschaltung der beiden Tonabnehmer zu.

Bild 6-2: Verschiedene Toggle-Switches

Im Bild sind drei verschiedene Bauarten dargestellt: Links der aus der Les Paul, oben aus einer 335er oder ähnlichen Gitarre und rechts aus einer SG. Sie sind im Musikfachhandel für 12 bis 15 Euro erhältlich.

Neben diesen Bauformen gibt es auch noch geschlossene Typen, die häufig in japanischen Instrumenten zu finden sind.

Leo Fender ging einen anderen Weg: Er setzte in den ersten Modellen der „Telecaster“ und „Stratocaster“ einen dreistufigen Kippschalter ein. Die Tele-Version erlaubte, wie beim Toggle-Switch, auch eine Parallelschaltung der beiden Tonabnehmer. Bei der Strat konnte nur jeweils ein Tonabnehmer eingeschaltet werden. Erst als im Zuge der Kopierwelle japanische Strats mit einem Fünfachschalter auf dem Markt erschienen, wurde er notgedrungen auch von Fender eingesetzt. Er erlaubte auch eine Parallelschaltung von jeweils zwei Tonabnehmern.

Heute gibt es die sogenannten „Super-Switches“ mit vier Schaltebenen und fünf Positionen. Sie erlauben fast beliebige Schaltungskombinationen und werden nicht nur in den „Super-Strats“ verwendet.

Bild 6-3: Wahlschalter für die „Stratocaster“

Im Bild ist links der alte Dreifachschalter zu erkennen. Rechts dann ein moderner „Super-Switch“. Sie sind im Musikfachhandel für 12 bis 15 Euro erhältlich.

6.2.2 Schiebeschalter

In einigen Fender-Gitarren finden sich auch die sogenannten Schiebeschalter. Beispiel dafür sind die „Jazzmaster“ und die „Jaguar“. Auch die Instrumente von Höfner und Framus aus den 60er und 70er Jahren waren häufig mit diesen Schaltern ausgerüstet.

Bild 6-4: Bedienelemente und Tonabnehmer der Fender „Jaguar“ und der „Red Special“

Eine der wohl berühmtesten Gitarren mit Schiebeschaltern ist die „Red Special“ von Brian May. Sie wird ausschließlich mit sechs dieser Schalter bedient. Das rechte Bild zeigt eine Kopie von „K’z“ aus Japan.

Schiebeschalter gibt es in unzähligen Variationen mit bis zu 7 Schaltpositionen. Sie werden in der Regel mit zwei kleinen Schrauben befestigt. In der Elektrogitarre wird eigentlich nur ein Typ eingesetzt, der als ON/ON oder ON/OFF/ON verfügbar ist.

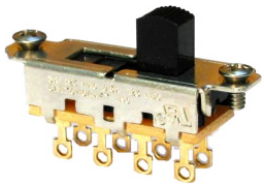


Bild 6-5: Schiebeschalter (Slider)

Der nachträgliche Einbau ist allerdings nicht ganz einfach, denn neben zwei Löchern für die Schrauben muß auch noch eine rechteckige Aussparung für den Knopf des Schiebers angelegt werden. Der Einbau in eine Gitarre ohne Pickguard ist daher nicht zu empfehlen!

6.2.3 Kippschalter

Da in einer Elektrogitarre in der Regel nicht besonders viel Platz ist, werden gerne die sogenannte Minikippschalter eingesetzt, die es in verschiedenen Ausführungen gibt. Zum Einbau reicht bereits eine kleine Bohrung aus. Hier eine kurze Übersicht über die gängigsten Varianten:

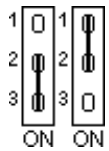
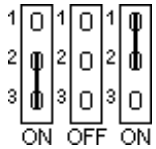
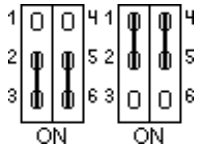
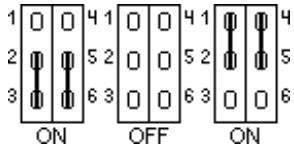
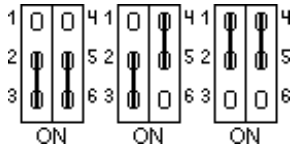
Typ	Symbol	Bild	Kontaktschema
ON/ON			
ON/OFF/ON			
ON/ON			
ON/OFF/ON			
ON/ON/ON			

Tabelle 6-2: Minikippschalter

Die meisten dieser Schalter sind im Elektronikfachhandel für 3 bis 4 Euro erhältlich. Lediglich die ON/ON/ON-Version fällt aus der Reihe. Hier muß man mit 10 bis 15 Euro rechnen, die im Musikfachhandel zu zahlen sind, da es sich um ein selten nachgefragtes Spezialbauteil handelt.

Die Nummerierung der Anschlüsse in Tabelle 6-2 ist nicht wirklich genormt, sie folgt hier den Vorgaben von Knitter.

6.2.4 Drehschalter

In einigen wenigen Gitarren wie zum Beispiel der Gibson „L6“ wurde ein Drehschalter für die Tonabnehmerwahl eingesetzt, eine Variante die heute in einigen PRS-Gitarren zu finden ist. Auch der sogenannte „Vari-Tone“-Schalter, wie er in der Gibson „ES-345“ und neuerdings auch in der „Blueshawk“ verwendet wird, ist ein solcher Drehschalter. Es gibt sie in verschiedenen Konfigurationen mit bis zu 12 Schaltpositionen und mehreren Ebenen. Gängig sind 1x12, 2x6, 3x4 und 4x3. Andere Konfigurationen sind möglich aber in der Regel teuer und schwer zu beschaffen. Nebenbei bemerkt, sind diese Schalter auch nicht mehr ganz klein und erfordern eine gewisse Einbautiefe im Instrument.

Bild 6-6: Drehschalter in offener und geschlossener Ausführung

In der „L6“ von Gibson kommt ein Sechfachschalter mit drei Ebenen zum Einsatz (links im Bild). Er ist nur im gut sortierten Musikfachhandel erhältlich. Der Schalter von Lorlin (rechts) kann in der Standardkonfiguration im Elektronikfachhandel für ein paar Euro bezogen werden.

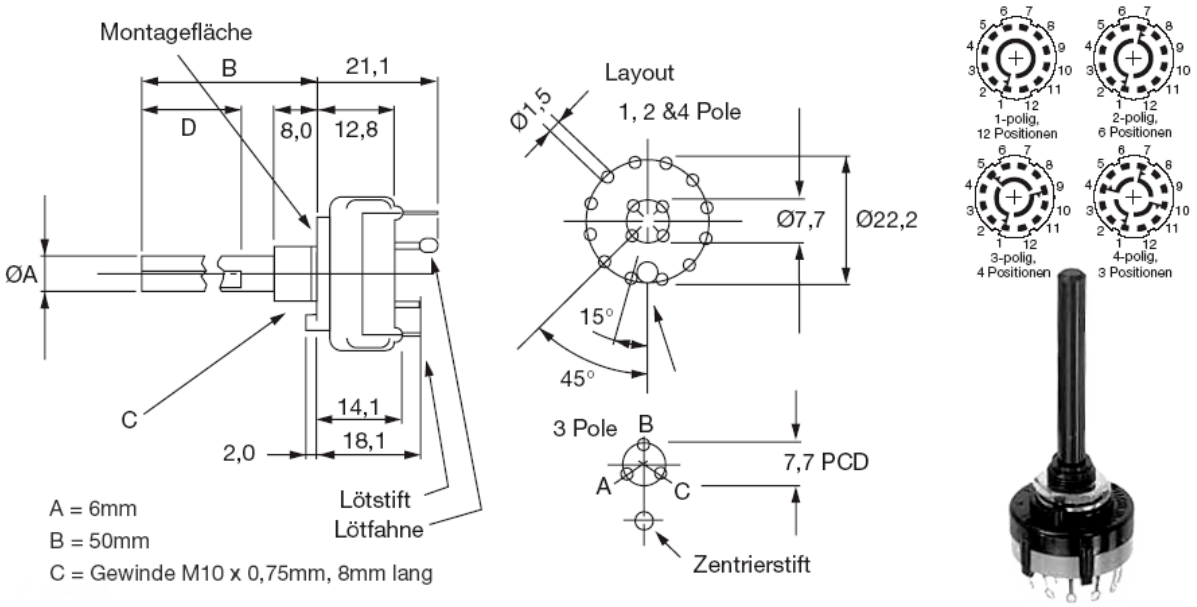


Bild 6-7: Programierbarer Drehschalter von Lorlin

Die Lorlin-Schalter haben einen großen Vorteil: Über eine Scheibe kann der Anschlag begrenzt werden. Aus einem 1x12-Schalter kann so also ganz leicht ein 1x7 oder ein 1x5 werden, wenn der Bedarf danach besteht. Vergleichbare Beschränkungen kann man dann auch den anderen Konfigurationen auferlegen. Weitere technische Informationen zu diesen Schaltern sind unter [10] im Internet zu finden.

Drehschalter werden in der Regel mit einer glatten Achse geliefert. Somit kann man die normalen Knöpfe einer E-Gitarre nicht verwenden und muß auf andere Knöpfe ausweichen. Die Versionen mit Riffelachse scheinen generell sehr schwer beschaffbar zu sein. Natürlich wird man im Musikfachhandel gelegentlich fündig, aber zu welchem Preis! Wenn es jedoch gelingt, einen Händler ausfindig zu machen, der Produkte von Monacor vertreibt, hat man Glück.

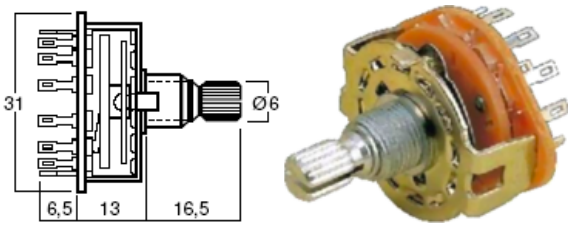


Bild 6-8: Drehschalter mit Riffelachse von Monacor

Aber auch hier kann man nicht vollständig zufrieden sein, denn die Schalter sind nur in 2x6 und 3x4 verfügbar. Wenn man damit leben kann, hat man keine weiteren Probleme. Der Schalter kann ohne Schwierigkeiten anstelle eines Potentiometers in die Gitarre eingebaut werden und der alte Knopf paßt auch noch. Lediglich in der Paula kann es zu Problemen kommen, da die Achse und das Gewinde gegebenenfalls zu kurz sind.

6.2.5 Spezialschalter

Neben den eben gezeigten Schaltertypen gibt es auch noch besondere Bauformen, in denen die Schalter mit Potentiometern kombiniert werden.

Am bekanntesten sind die sogenannten Druck- oder Zugpotentiometer. Sie haben einen Schalter, der durch Drücken (Push) oder Ziehen (Pull) betätigt wird. Es gibt sie in den Ausführungen „Push-Push“ und „Push-Pull“. Den ersteren wird nachgesagt, daß sie schneller verschleißen. Preislich muß man sich auf 9 bis 13 Euro gefaßt machen, denn dieses Spezialbauteil gibt es in der Regel nur im Musikfachhandel.

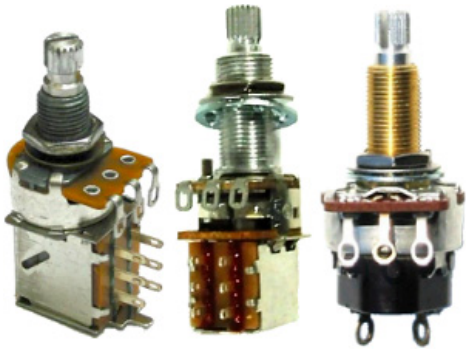


Bild 6-9: Verschiedene Push-Pull-Potentiometer

Links und in der Mitte ist jeweils ein Push-Pull-Poti mit einem zweipoligen ON/ON-Schalter dargestellt. Diese werden sehr häufig zum Splitten der Humbucker eingesetzt. Rechts ein Poti mit einpoligem ON/OFF-Schalter. Die beiden rechten Potis haben ein längeres Gewinde und sind daher für den Einbau in einer „Les Paul“ prädestiniert.

7 Literatur

7.1 Veröffentlichungen des Autors

In der Reihe „Guitar Letters“ sind vom Autor bisher folgende Titel im Internet veröffentlicht worden:

Titel	Datum	Inhalt
[1] Guitar Letters I: Der elektromagnetische Tonabnehmer als Wandler	03.02.2005	Eine Arbeit über die Funktionsweise des Wandlerprinzips von elektromagnetischen Tonabnehmern in der Elektrogitarre.
[2] Guitar Letters II: Klangveränderungen am elektromagnetischen Tonabnehmer	06.04.2005	Ausgehend vom den „PAF’s“ wird das Thema Klang bei der Elektrogitarre ein wenig beleuchtet. Am Ende findet sich eine praktische Anleitung zur Veränderung des Klanges.

Die Reihe wird in unregelmäßigen Abständen fortgesetzt.

7.2 Weitere Literatur

Weitere Informationen zum Thema sind auch hier zu finden:

Titel	Autor	Inhalt
[3] Elektro Gitarren	Helmuth Lemme, Frech-Verlag Stuttgart, 1977	In seinem ersten Buch zum Thema Elektrogitarre erklärte Helmuth Lemme erstmalig die Funktionsweise von Grund auf und schuf damit ein grundlegendes Werk, dessen Nachfolger auch heute noch im deutschen Sprachraum nichts gleichwertiges gegenübersteht.
[4] Elektro-Gitarren, Technik + Sound	Helmuth Lemme, Elektor Verlag Aachen GmbH, 2003	Beschreibt vorwiegend die Elektronik einer E-Gitarre. Sehr detailliert. Wohl die beste zur Zeit verfügbare deutschsprachige Publikation zu diesem Thema.

7.3 Informationen im Internet

Das Internet ist eine schier unerschöpfliche Informationsquelle, die ständig in Bewegung ist. Der Trick besteht lediglich darin, die gewünschten Informationen zu finden. Hier eine kleine Auswahl zum Thema

Titel	Autor	Inhalt
[5] Gitarrenelektronik: http://www.gitarrenelektronik.de/	Helmuth Lemme	Die Webseite von Helmuth Lemme beschäftigt sich mit dem Thema Gitarrenelektronik. Inhaltlich ist sie nicht mit seinen Büchern zum gleichen Thema zu vergleichen. Allerdings sind hier einige Informationen zu finden, die nicht in den Büchern enthalten sind.
[6] The Flying Vintage Home Page http://www.flyingvintage.com/		Hier findet sich auf zwei Seiten ein Interview mit dem amerikanischen Pickup-Designer Lindy Fralin zum Thema PAF.
[7] Fender http://www.fender.com/		Im Servicebereich der Fender Webseite sind unter anderem die Verdrahtungspläne für diverse Fender-Gitarren zu finden
[8] Seymor Duncan http://www.seymourduncan.com/		Als Hersteller von Austauschtonabnehmern bietet Seymour Duncan auch Verdrahtungspläne für die verschiedener Typen von Elektrogitarren an.

Titel	Autor	Inhalt
[9] Vintage Guitars Info http://www.provide.net/~cfh/index.html		Internetpräsenz eines privaten Sammlers alter Elektro-Gitarren. Hier findet man unter anderem einige Interessante Informationen zum Thema PAF.
[10] Lorlin Electronics http://www.lorlin.co.uk/		Einer der größten britischen Hersteller für elektromechanische Bauteile. Er liefert unter anderem Drehschalter, die in den meisten Elektronikläden verfügbar sind

8 Der Autor

Ulf Schaedla, 1964 in Hamburg geboren, begann mit 12 Jahren das Spiel der Gitarre zu erlernen. Mit 14 fing er damit an, sein Taschengeld durch Gitarrenunterricht aufzubessern. Auf diese Weise füllte sich sein Keller schnell mit verschiedenen Instrumenten. Im Alter von 16 Jahren kaufte er seine erste Elektrogitarre nebst Transistorverstärker und Lautsprecher und begann in einer Schülerband als Rythmusgitarrist. Seit 1987 ist er als Gitarrist für einen Rock- und Pop-Chor im norddeutschen Raum tätig.

Bedingt durch das fehlende Kleingeld, sein Interesse an der Elektronik und angeregt durch das Buch „Elektro Gitarren“ von Helmuth Lemme aus dem Jahre 1979, begann er 1980 damit, sich mit dem Thema Gitarrenelektronik zu beschäftigen. In der Folge entstanden viele kleine Vorverstärker, Equalizer und Verzerrer, die - in kleine Plastikkästen verpackt - zum musikalischen Einsatz gebracht wurden.

1982 baute er zusammen mit einem Freund einen Röhrenverstärker mit 140 Watt Leistung, der im Laufe der Jahre mit verschiedensten Vorstufenschaltungen ausgerüstet wurde. Aber auch die Elektrogitarren waren vor seinem Bastelwahn nicht sicher. Keines seiner Instrumente verfügt heute noch über die originale Schaltung.

Nach einem zweijährigen Ausflug in die Informatik an der Universität Hamburg, begann er 1986 eine Ausbildung zum Radio- und Fernsehtechniker, die er im Frühjahr 1989 nach zweieinhalbjähriger Lehrzeit mit der Gesellenprüfung beendete. Parallel zu dem folgenden Elektrotechnikstudium an der Fachhochschule Hamburg arbeitete er bis 1992 weiter in seiner Lehrfirma als Fernsehtechniker, wo er sich auf Antennentechnik spezialisiert hatte. Anschließend begann er bei einem großen Halbleiterkonzern verschiedene Tätigkeiten als Werksstudent im Video- und Qualitätslabor, für das er 1995 auch seine Diplomarbeit mit dem Titel „Systemumgebung für einen rechnergesteuerten IC-Meßplatz“ erstellte.

Im Herbst 1995 wurde er als Testentwicklungsingenieur für Mixed-Signal-Schaltungen angestellt und im weiteren Verlauf dieser Tätigkeit spezialisierte er sich auf das Testen von DRAM-Schaltungen unter den Bedingungen der industrialisierten Massenproduktion.

Heute arbeitet der Autor als Projektleiter einer Gruppe von Test- und Produktingenieuren und ist in dieser Funktion für die internationale Industrialisierung von integrierten digitalen Videoschaltungen verantwortlich.