

Guitar Letters I

Der elektromagnetische Tonabnehmer als Wandler

Autor: Ulf Schaedla
Mail: Ulf.Schaedla@web.de
Datum: 15.02.2006
Version: 1.7
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 URL 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	Datum	Bemerkung
1.0	03.02.2005	- Erste Version in PDF 1.2 für Acrobat 3.0
1.1	04.02.2005	- Die Datei läßt sich mit einem acrobat-fremden Reader drucken. Daher erfolgt eine Umstellung nach PDF 1.3. - Zusätzlich Bild 4-3 eingefügt, um verschiedene Bauformen des geteilten Humbuckers zu dokumentieren. Die alte Skizze wurde entfernt.
1.2	05.02.2005	- Auf Anregung wurde Bild 3-1 eingefügt, um die Frequenzauslöschung beim parallelen Humbucker besser zu erläutern. - Die hexaphonischen Tonabnehmer haben in Kapitel 7 eine eigene Heimat für ihre Bilder gefunden.
1.3	14.02.2005	- Informationen über Horseshoe- und Lipstick-Tonabnehmer zugefügt. - Umstellung und Korrektur einiger Ergebnisse im Kapitel über koaxiale Humbucker.
1.4	01.03.2005	- Neues Bild des Gibson Humbuckers, des Fender Humbuckers und der „Frying Pan“ eingefügt. - Informationen über Set Lover hinzugefügt. - Informationen über „Split-Singles“ und die „Quad-Rails“ hinzugefügt. - Diverse kleine Textkorrekturen.
1.5	14.03.2005	- „Out-of-Phase“-Betrieb des Humbuckers hinzugefügt. - Koaxialer Humbucker mit gegenphasigen Magneten hinzugefügt. - Erweiterungen beim Filter-Tron und den Brummkompensationsspulen. - Beschreibung der Dynasonics/DeArmond-Tonabnehmer hinzugefügt. - Erweiterung bei den „Split-Singles“ zugefügt.
1.6	07.04.2005	- Die Datei läßt sich mit einem acrobat-fremden Reader drucken. Daher erfolgt eine Umstellung nach PDF 1.5 (Acrobat 6 erforderlich). - Detailfoto des Horseshoe-Tonabnehmers eingefügt. - Erste Informationen über die Lace-Sensoren.
1.7	15.02.2006	- Koaxialer Humbucker aus der „Les Paul Recording“ zugefügt. - Explosionszeichnung des Stratocaster-Tonabnehmers zugefügt. - Explosionszeichnung des Humbuckers zugefügt. - Jazz-Tonabnehmer von Schaller zugefügt. - Fehlerhafte Patentnummer des Filter-Tron korrigiert. - Neues Bild der „Frying Pan“ eingefügt. - Informationen über den „Charlie Christian Pickup“ zugefügt. - Informationen über die P-90-Familie zugefügt. - Informationen über Fender-Tonabnehmer erweitert. - Explosionszeichnung des Fender Noiseless zugefügt. - Kapitel über aktive Tonabnehmer zugefügt. - Neuordnung der Kapitel 1 bis 3

Inhaltsverzeichnis

1 Eine Spule erobert die Gitarre - Der Single-Coil	6
1.1 Das Wandlungsprinzip des Tonabnehmers	6
1.2 Verschiedene Bauformen	7
1.3 Damals war's	8
1.3.1 Der Single-Coil im Wandel der Zeit	8
1.3.2 „Pferdeschuh“ und „Bratpfanne“	8
1.3.3 „Der Balken“ - Das Charlie Christian Modell	9
1.3.4 Saubere Sache - Die „Seife“ P-90	10
1.3.5 It's Rock'n Roll - Single-Coils von Fender	12
1.3.6 „Rauf und runter“ - DeArmond	14
1.3.7 Nicht nur für Sie - Der Lipstick	15
1.3.8 Einspuliges von Gretsch	15
1.3.9 Aus deutschen Landen - Schaller	15
1.3.10 Von Billy Lorento bis Bill Lawrence	16
1.3.11 Von der Insel - Burns Tri-Sonic	17
1.4 Der gestörte Tonabnehmer	17
2 Entstörter Tonabnehmer - Der Humbucker	19
2.1 Prinzip des Humbuckers	19
2.2 Die Bauformen des parallelen Humbuckers	21
2.2.1 Gibson definiert den Standard	22
2.2.2 Brummfrees von Gretsch	23
2.2.3 Fender zieht nach	24
2.2.4 Der Humbucker heute	24
2.3 Der Humbucker im „Out-of-Phase“-Betrieb	25
3 Der koaxiale Humbucker	25
3.1 Prinzip des koaxialen Humbuckers	26
3.2 Das Problem des koaxialen Humbuckers	27
3.3 Die Lösung des Lautstärkeproblems	27
3.4 Verbesserungen am koaxialen Humbucker	29
3.4.1 Erhöhung der Windungszahl	29
3.4.2 Erhöhung der magnetischen Feldstärke	30
3.4.3 Geänderte Form des Magnetfeldes	30
3.4.4 Magnetische Abschirmung der Spulen	31
3.5 Koaxialer Humbucker mit gegenphasigen Magneten	34

3.6 Weitere Bauformen des koaxialen Humbuckers	35
4 Der geteilte Tonabnehmer	36
4.1 Das Prinzip des geteilten Tonabnehmers	36
4.2 Problematische Interaktion der Spulen	37
5 Gemeinsam sind wir still! – RW/RP-Tonabnehmer.....	39
5.1 Ruhe durch zusätzliche Kompensation	39
5.2 Zwei Fliegen mit einer Klappe - RW/RP.....	40
6 Eine Spule brummt nicht – Der „Lace-Sensor“	41
7 Spezielle Bauformen	42
7.1 Quad Rails.....	42
7.2 Hex-Pickups	42
7.3 Aktive Tonabnehmer	43
8 Zusammenfassung	44
9 Literatur	45
9.1 Veröffentlichungen des Autors	45
9.2 Patente	45
10 Der Autor	46

Vorwort

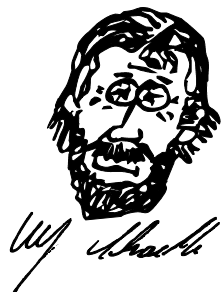
In der Anfangszeit der Elektrogitarre haben verschiedene Musiker versucht, die Lautstärke ihrer akustischen Gitarren auf elektrischem Wege zu vergrößern. Schnell wurde jedoch klar, daß die Verwendung von Mikrofonen nicht zum gewünschten Ziel führte. Das Auftreten von akustischen Rückkopplungen begrenzte die Lautstärke erheblich. Zusätzlich wurden zu viele Nebengeräusche übertragen. Systeme, die auf dem elektromagnetischen Prinzip beruhten, kannten diese Probleme nicht und so verfügt auch heute noch jede Elektrogitarre hauptsächlich über elektromagnetische Tonabnehmer.

Die Aufgabe des Tonabnehmers besteht einzig darin, die mechanische Schwingung der Saite in eine äquivalente Wechsellspannung umzusetzen. Wie das aus physikalischer Sicht funktioniert, ist hauptsächlich Gegenstand dieser Arbeit. Da jedoch ein Tonabnehmer ohne Instrument wenig Sinn macht, wurden zusätzlich einige Hintergrundinformationen zur Geschichte der Tonabnehmer und ihrer Verwendung in verschiedenen Gitarren aufgenommen.

Aufgrund des Funktionsprinzips der elektromagnetischen Tonabnehmer tritt auch 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 jedoch nicht beschrieben werden und ist Gegenstand einer anderen Veröffentlichung.

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 15.02.2006



1 Eine Spule erobert die Gitarre - Der Single-Coil

1.1 Das Wandlungsprinzip des Tonabnehmers

Ein elektromagnetischer Tonabnehmer besteht grundsätzlich aus zwei Teilen: Einem Dauermagneten und einer Spule. Der Magnet erzeugt in der Spule ein magnetisches Feld mit konstanter magnetischer Flußdichte. Bild 1-1 zeigt das Prinzip:

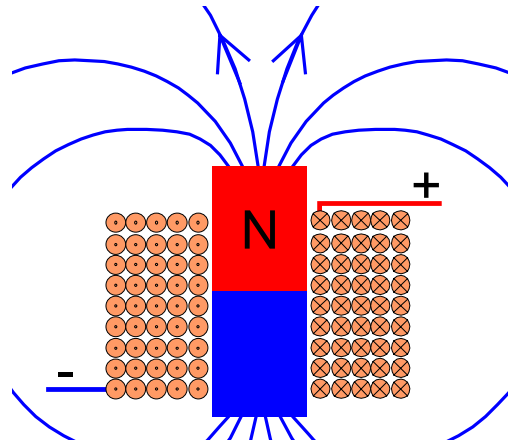


Bild 1-1: Magnetfeld und Spule eines Tonabnehmers

Die Feldlinien in Blau repräsentieren die magnetischen Flußdichte B , die einen Betrag und eine Richtung besitzt, welche im Bild durch Pfeile gekennzeichnet wurde.

Schaut man von oben auf die Spule, so wurde die Wicklung „gegen die Uhr“ (engl. counter clock wise) aufgebracht. Dieses wird im Bild durch die Kreuze und Punkte in den Drähten dargestellt. Rechts sieht man den Pfeil von hinten, also ein Kreuz. Der sogenannte Wickelsinn ist von entscheidender Bedeutung für die Polarität der induzierten Spannung! Mathematisch kann man den Wickelsinn berücksichtigen, indem man die Wicklungszahl N mit einem Vorzeichen versieht. Dabei wird N negativ für eine CCW gewickelte Spule.

Das innen liegende Ende der Wicklung - der sogenannte Anfang - wird im Allgemeinen als „Hot“ bezeichnet. Der betreffende Anschluß hat deshalb ein Pluszeichen erhalten. Das äußere Ende heißt dann auch „Ende“. Es wird im Normalfall auf Masse (engl. Ground) gelegt. Das hat den Vorteil, daß die innen liegenden Windungen durch die äußeren Windungen gegen Störungen durch elektrische Felder abgeschirmt werden.

Bringt man einen Gegenstand aus Eisen, Nickel oder einem vergleichbaren ferromagnetischem Material in die Nähe des Feldes, so verformt sich der räumliche Verlauf der Feldlinien und es ändert sich die magnetische Flußdichte. Dieser Vorgang hat in der Spule eine Änderung des magnetischen Flusses Φ zur Folge:

$$\Phi = \int_A B_N dA$$

Dabei ist B_N die sogenannte Normalkomponente der magnetischen Flußdichte.

Definition:

Ändert sich der magnetische Fluß in einer Spule in Abhängigkeit der Zeit, so wird nach dem Induktionsgesetz eine Spannung induziert:

$$u_{(t)} = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

Formel 1-1: Induktionsgesetz

Diese Spannung ist proportional zur Windungszahl N der Spule und der Flußänderung.

Das negative Vorzeichen deutet an, daß die induzierte Spannung ihrer Ursache, nämlich der Flußänderung, entgegen wirkt.

Die Höhe der Spannung hängt also von der Flußänderung ab. Diese wiederum ist abhängig von der Größe der magnetischen Flußdichte an der Position der Saite über dem Tonabnehmer, der Dicke der Saite und der Amplitude der schwingenden Saite senkrecht zum Griffbrett (also in y-Richtung). Schwingungen, die parallel zum Tonabnehmer verlaufen, erzeugen nur eine sehr geringe Flußänderung. In der Praxis kommen jedoch stets beide Schwingungsebenen vor.

Ein solcher Tonabnehmer mit einer Spule wird auch als Single-Coil-Tonabnehmer bezeichnet. Bis 1955 waren diese Sensoren, in unterschiedlichen Bauformen, die eingesetzten Herrscher in den Elektrogitarren.

Der einzerspulgige Tonabnehmer bildet die Grundlage für alle weiteren Tonabnehmerentwicklungen der Elektrogitarre. Er ist sozusagen der Urvater aller modernen Tonabnehmer.

1.2 Verschiedene Bauformen

Verglichen mit den ersten elektromagnetischen Tonabnehmern für die Elektrogitarre, sind die modernen Bauformen wesentlich handlicher und einfacher in ihrer Konstruktion. Hier eine kurze Übersicht:

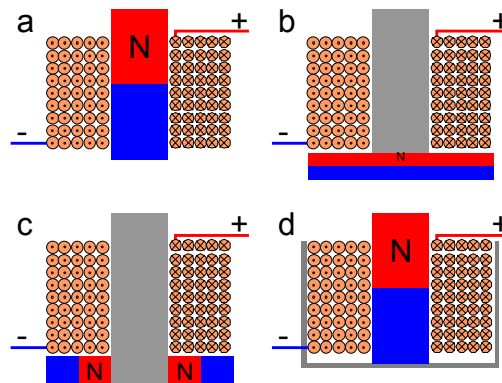


Bild 1-2: Verschiedene Bauarten des modernen Single-Coil-Tonabnehmers

Wie im Bild zu erkennen ist, unterscheiden sich die verschiedenen Varianten, bis auf eine Ausnahme, lediglich in Form und Positionierung der Magnete. Aus den unterschiedlichen Ausführungen in Kombination mit anderen Dimensionen ergeben sich unterschiedliche Verläufe des Magnetfeldes. Folglich unterscheiden sie sich in der als „Apertur“ bekannten magnetischen Breite. Allein dadurch können sich, trotz elektrisch gleicher Daten, gewisse Unterschiede in der Übertragungscharakteristik („Klang“) ergeben.

Die Variante (a) wird von Fender in den Tonabnehmern der Stratocaster eingesetzt. Billige Nachbauten dieses Tonabnehmers verwenden häufig die Variante (b). Hier werden in die Spule Weicheisenkerne eingesetzt und ein balkenförmiger Ferritmagnet unter die Spule geklebt. Solche Magnete sind in der Anschaffung billiger, als sechs einzelne AlNiCo-Magnete. Diese Variante benutzt auch Fender häufig auch für seine Mexico- und Squire-Modelle.

Der P-90 Tonabnehmer von Gibson basiert auf der Variante (c). Konstruktionsbedingt sind diese Tonabnehmer, aufgrund ihrer kräftigen Magnete, etwas breiter als die Stratocaster-Typen.

Neben diesen drei Grundformen gibt es auch noch unterschiedliche Varianten mit Führungsblechen, die das Magnetfeld von unten direkt an der Spule des Tonabnehmers nach oben führen (d). Damit erhöht sich die magnetische Flußdichte über dem Tonabnehmer und er kann eine etwas größere Spannung abgeben. Der Tonabnehmer der Fender „Jaguar“ stellt ein gutes Beispiel für diese Variante dar.

Auch wenn die Jaguar nicht die gleiche Verbreitung wie die „Stratocaster“ oder die „Les Paul“ gefunden hat, liefert das Konzept ihres Tonabnehmers eine wichtige Grundlage für die in Kapitel 3 beschriebenen koaxialen Humbucker.

1.3 Damals war's...

1.3.1 Der Single-Coil im Wandel der Zeit

Die nächste Tabelle gibt einen kurzen Überblick über die Geschichte der Single-Coils. Es fällt auf, daß die wesentlichen Entwicklungen innerhalb von nur 20 Jahren erfolgten.

Jahr	Bemerkung
1930	Horseshoe Pickup von George Beauchamp
1935	„The Bar“, der „Charlie Christian“ Pickup.
1946	P-90 von Gibson
1948	Leo Fender und Clayton Kauffman erhalten das erste Patent für einen elektromagnetischen Tonabnehmer.
1949	DeArmond Tonabnehmer („Dynasonic“)
1955	„Lipstick-Pickup“
1958	„HiLo'Tron“ von Gretsch

Tabelle 1-1: Der Single-Coil im Wandel der Zeit

1.3.2 „Pferdescuh“ und „Bratpfanne“

Der Texaner George Beauchamp spielte Hawaiigitarre und Geige und versuchte das Problem der geringen Lautstärke der akustischen Gitarren zu lösen, indem er ein Grammophon-Horn an seinen Instrumenten befestigte. So richtig zufrieden war er mit dem Ergebnis seiner Bemühungen, der von National produzierten Resonatorgitarre, allerdings nicht und so setzte er 1925 seine Experimente mit einem Tonabnehmer eines Plattenspielers fort. Dieser bestand aus einem Permanentmagneten und einer Spule. Ziel war es, anstelle der Tonabnehmernadel des Plattenspielers, die Saiten der Gitarre durch das Magnetfeld des Tonabnehmers zu führen. Das Ergebnis dieser Bemühungen war ein vollkommen neuer Tonabnehmer, dessen prinzipielle Konstruktion das nächste Bild zeigt:

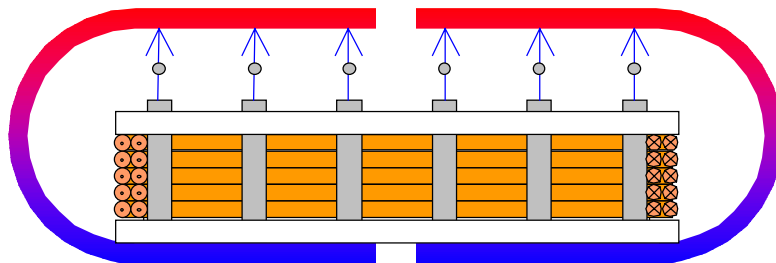


Bild 1-3: Prinzip des Horseshoe Pickup

Unter den Saiten wurde ein Wickelkörper mit sechs Weicheisenstiften montiert, um die eine Spule gewickelt ist. Wickelkörper und Saiten sind von zwei U-förmigen Magneten umschlossen, die dem Tonabnehmer auch seinen Spitznamen „Horseshoe Pickup“ einbrachten. Die Kerne reichen durch den Wickelkörper an die Südpole der Magneten. Die Feldlinien zwischen den beiden Polen eines Magneten - hier in Blau - werden durch die Kerne an den Saiten gebündelt.

George Beauchamp, Adolph Rickenbacker und Paul Bath gründeten 1932 die Ro-Pat-In Company, welche die serienmäßige Umsetzung dieses Tonabnehmers in verschiedenen Instrumenten zur Aufgabe hatte. Aus ihr ging dann später die Firma Rickenbacker hervor.



Bild 1-4: Tonabnehmer von George Beauchamp

Für den neuen Tonabnehmer wurde George Beauchamp am 10. August 1937 in den USA unter der Nummer 2,089,171 ein Patent erteilt. Verwendet wurden er erstmalig 1930 in der „Rickenbacker Electro Spanish“ und 1931 in der sogenannten „Frying Pan“, die als die erste Solid-Guitar überhaupt gilt.



Bild 1-5: Rickenbacker A22 „Frying Pan“

Eine weitere Anwendung fand sich dann auch in der „Bakelite Lap Steel-Gitarre“ von Rickenbacker. Aber auch die frühen Gitarren von Epiphone und anderen Herstellern verwendeten bald darauf diesen Typ von Tonabnehmer, die auch heute noch von einigen Musikern der Country-Szene nachgefragt werden. Sie sind unter anderem von „Lollar Guitars“ erhältlich.

Diese ersten in Seriengitarren eingesetzten Tonabnehmer waren, ob ihrer Größe und ihres Klangs, allerdings eher Verlegenheitslösungen. Die hufeisenförmigen Magnete der Abnehmer umschlossen die Saiten komplett und behinderten den Spieler manchmal massiv bei seiner Arbeit. Später stellte man fest, daß es auch mit einfacheren und vor allen Dingen kleineren Magnetformen ging. Diese Erkenntnis wurde allerdings von jemand anderem gemacht.



Bild 1-6: Moderner Horseshoe Pickup von Lollar Guitars

1.3.3 „Der Balken“ - Das Charlie Christian Modell

Wie viele andere Hersteller hatte auch Gibson versucht, das Lautstärkeproblem auf herkömmlichen Wege durch immer größere Gitarren zu lösen. Der Höhepunkt dieser Entwicklung waren die sogenannten Archtop-Gitarren, für die Gibson besonders bekannt war. Gleichwohl waren diese hochwertigen Gitarren immer noch nicht in der Lage, in einem Orchester wirklich als gleichberechtigtes Instrument aufzutreten. Viele Musiker bevorzugten daher das Banjo, dessen Klang sich besser im Orchestergefüge durchsetzte.

Als die elektrischen Gitarren sich immer weiter verbreiteten und zunehmend erfolgreicher wurden, begann man Anfang der 30er Jahre bei Gibson umzudenken. 1935 wurde mit der Entwicklung eines eigenen Tonabnehmers begonnen, der eine Revolution in der Musik auslösen sollte.



Bild 1-7: Alvin Ray

Gibson beauftragte John Kutilek, einen Ingenieur der Firma Lyon & Healy aus Chicago mit der Entwicklung des neuen Tonabnehmers. Als musikalischen Berater stellte man ihm den bekannten Slide-Gitar-Spieler Alvin Ray zur Seite. Nachdem der Prototyp fertiggestellt war, wurde die abschließende Produktionsversion von Walter Fuller, einem Angestellten von Gibson, gestaltet.

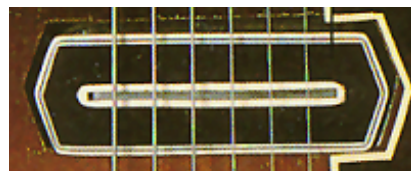


Bild 1-8: „The Bar“, der „Charlie Christian“ Pickup

Dieser Tonabnehmer war, verglichen mit den „Horseshoe Pickups“, eine wesentlich praktischere Konstruktion, die aus zwei unter den Saiten untergebrachten Nickelmagneten bestand. Das Feld dieser Magnete wurde durch einen Balken aus Stahl zu den Saiten geführt, um den die Spulenwicklung gelegt wurde. Der Tonabnehmer wurde deshalb auch als „The Bar“ bezeichnet, entspricht in seiner Konstruktion der Variante (c) und muß daher als Vorläufer des späteren P-90 bezeichnet werden.

„The Bar“ wurde erstmalig Ende 1935 in der „EH-150“, einer sogenannten „Steel Guitar“ eingesetzt.

Den größten Erfolg feierte der neue Tonabnehmer allerdings in einer anderen Gitarre: Der von Orville H. Gibson entwickelten „ES-150“. Dieses elektrische Instrument, im Stil einer spanischen Gitarre, stellte die erste wirklich moderne Elektrogitarre dar und wurde begeistert von den Musikern angenommen.

Berühmt wurde sie jedoch durch den farbigen Gitarristen Charlie Christian, der im Benny Goodman Orchestra spielte und die Gitarre, dank Tonabnehmer und Verstärker, jetzt als gleichberechtigtes Soloinstrument einsetzen konnte.

Damit hatte Christian eine musikalische Revolution ausgelöst und sich unwiederbringlich in der Geschichte der Elektrogitarre verewigt. Seitdem ist die „ES-150“ als „Charlie Christian Model“ bekannt und auch der neue sechseckige Tonabnehmer trug alsbald den Namen dieses bemerkenswerten Gitarristen. Nebenbei bemerkt war Christian, durch seine musikalischen Erfolge, für Gibson auch ein idealer Werbeträger.



Bild 1-9: Charlie Christian mit seiner Gibson ES-150

Die „ES-150“ wurde erstmalig am 20. Mai 1936 aus Kalamazoo im Bundestaat Michigan ausgeliefert. Später wurde der ursprüngliche „Bar“ durch die gebräuchlichere rechteckige Form ersetzt und einige Modelle erhielten sogar zwei Tonabnehmer.

1.3.4 Saubere Sache - Die „Seife“ P-90

In den 40er Jahren stellte Gibson noch weitere Tonabnehmer und Instrumente mit teilweise revolutionären Verbesserungen vor. Diese waren:

- Verwendung von AlNiCo-Magneten zur Erhöhung der Spannungsabgabe.
- Angleichung der Lautstärke der einzelnen Saiten durch individuell einstellbare Pole (US-Patent 2,145,490 von George Miller).
- Verwendung von zwei Tonabnehmern, um verschiedene Klangvariationen zu ermöglichen.
- Lautstärke und Klangeinstellung.

Viele dieser Innovationen sind auch heute noch fester Bestandteil jeder Elektrogitarre.

In den 40er und 50er Jahren war Walter Fuller, neben Guy Hart und dem Präsidenten Ted McCarty, einer der maßgeblichen Entwickler bei Gibson. Am 1. September 1942 erhielt er unter der Nummer 2,294,861 ein Patent für einen verschieblichen Tonabnehmer, welcher ebenfalls der Variante (c) entspricht. Im Grunde genommen handelte es sich um eine Variation des „Charlie Christian“ Pickups. Mit Hilfe dieses Tonabnehmers war es möglich, eine akustische Gitarre nachträglich und mit wenig Aufwand zu elektrifizieren. Verglichen mit diesem Tonabnehmer, stellte der von Fuller danach entwickelte P-90 dann wieder einen wirklichen Fortschritt dar.



Bild 1-10: W. Fuller

Aufbauend auf dem „Bar“, wurde der Balken durch 6 höhenverstellbare Pole aus Weicheisen ersetzt und statt der Nickelmagnete kamen zwei Balken aus dem neuen magnetischen Werkstoff AlNiCo zum Einsatz, die ein erheblich größeres Ausgangssignal des Tonabnehmers ermöglichten. Verpackt in ein Plastikgehäuse erinnerte das ganze an ein Stück Seife und so erhielt der neue Tonabnehmer bald den Spitznamen „Soap-Bar“.

Gibson stellte den P-90 im Jahre 1946 der Öffentlichkeit vor und konnte mit diesem Tonabnehmer, seinem Klang und praktischen Design, erneut Maßstäbe setzen. Bis zur Einführung des Humbuckers 1955 wurde der P-90 in fast allen Elektrogitarren von Gibson eingesetzt. Natürlich wurde die erste Solid-Guitar dieses Herstellers, die „Les Paul Goldtop“ (siehe Bild 1-13), auch mit zwei P-90 ausgerüstet.

Neben dem „Soap-Bar“ gab es noch eine weitere Variante, mit seitlich angesetzten Befestigungslaschen, mit deren Hilfe es möglich war, den Tonabnehmer leicht an der Decke einer Hollow-Body oder in einem Pickguard zu befestigen. Diese Version des P-90 unterschied sich daher nur in der Form des Gehäuses und erhielt den Spitznamen „Dogs Ear“.



Bild 1-11: Der Gibson P-90 (Dogs Ear und Soap-Bar)

Ein besonders schönes Beispiel stellt die 1949 vorgestellte „ES-5“ dar, die sogar über drei P-90 verfügte. Für jeden Tonabnehmer gab es einen eigenen Lautstärkeinsteller. Damit konnte Gibson auf einen Pickupwahlschalter verzichten und die Musiker hatten die Möglichkeit, fast beliebige Mischungen der Tonabnehmer einstellen. Daß nur ein gemeinsamer Klangeinsteller vorhanden war, mußte als kleiner Wermutstropfen in Kauf genommen werden. Dieses Problem wurde erst 1955 mit der „ES-5 Switchmaster“ gelöst, die dann Tone und Volume getrennt für jeden Tonabnehmer erhielt. Hier wurden jedoch schon die Humbucker verwendet.



Bild 1-12: Die Gibson „ES-5“

Nach 1955 wurde etwas ruhiger um diesen Tonabnehmer und er stand lange Zeit im Schatten der PAF's. Erst vor wenigen Jahren begann eine Art Renaissance für den P-90, denn viele Rock- und Blues-Musiker hatten seinerzeit den P-90 verwendet und die Musiker verlangten jetzt wieder häufiger den Sound des P-90 als Alternative zum PAF.

Auch die in den 90er Jahren aufkommende „Vintage-Welle“ verhalf dem P-90 zu neuem Leben, erzeugte sie doch eine große Nachfrage nach sogenannten Reissue-Modellen. Das nächste Bild zeigt einen Nachbau der „Les Paul Goldtop“ aus dem Jahre 1952.



Bild 1-13: Les Paul Goldtop (1952)

Der steigenden Nachfrage nach dem P-90 trug man bei Gibson Rechnung, indem zwei weitere Varianten des P-90 zusätzlich in das Programm aufgenommen wurden.

Sehr häufig bestand der Wunsch, einen P-90 in eine mit Humbuckern ausgerüstete „Les Paul“ einzubauen. Aufgrund der geringeren Abmessungen war das jedoch eine Bastelaufgabe, da der Schacht für den Tonabnehmer einfach zu groß war. Aus diesem Grund wurde das Gehäuse des P-90 so erweitert, daß es die Abmessungen einer Humbuckers hatte. Diese Variante wird heute unter der Bezeichnung P-94 vertrieben.



Bild 1-14: Der Gibson P-94

Da der P-90, wie alle Single-Coils, anfällig für magnetische Brummeinstreuungen war, wurde unter dem Namen P-100 eine spezielle Version nach dem Prinzip der koaxialen Humbucker entwickelt, der von den Musikern jedoch keinen großen Zuspruch erhielt. 2005 befand sich diese P-90-Variante nicht mehr im Programm von Gibson.

1.3.5 It's Rock'n Roll - Single-Coils von Fender

In der Nähe von Los Angeles hatte sich anfang der 40er Jahre Leo Fender, ein ausgebildeter Radio-techniker, niedergelassen und reparierte Radios, Plattenspieler und Verstärker. Bald kamen auch Musiker mit ihren defekten Verstärkern zu ihm und immer häufiger fanden sich auch Gitarren auf seinem Tisch. Auf diese Weise bekam Fender eine Vielzahl verschiedener Instrumente in die Hand und ärgerte sich jedes Mal, daß die Reparaturen so schwierig waren. Nach dem Krieg gründete er mit seinem Partner George Fullerton eine Firma, um selber Verstärker und Elektrogitarren bauen zu können.

Neben den populären Hawaii-Gitarren entwarf er ein Modell einer „normalen“ Gitarre, in dem seine gesammelte Erfahrungen und Überlegungen aus dem Reparaturbetrieb vereinigt wurden. Es hatte einen massiven Korpus, ein Cutaway, zwei Tonabnehmer und einen relativ einfach konstruierten Hals, der mit vier Schrauben am Korpus befestigt wurde. Hinter diesem Konzept stand die grundlegende Idee, ein Instrument zu schaffen, das nicht nur einfach herzustellen war, sondern auch einfach zu reparieren. Und tatsächlich ließ sich die neue Gitarre mit einem Schraubenzieher und einem Lötkolben in alle Einzelteile zerlegen und auch wieder zusammenbauen. Um das Jahr 1948 kam sie erstmalig als „Esquire“ auf den Markt.



Bild 1-15: Fender Esquire (1950)

Kurze Zeit später wurde sie mit einem zweiten Tonabnehmer ausgerüstet und erhielt den Namen „Broadcaster“, der jedoch aufgrund einer Namensgleichheit mit einem Gretsch-Schlagzeug nicht weiter verwendet werden durfte. Am 20. Februar 1951 ging bei Fender ein Telegramm ein, indem die Firma von Gretsch aufgefordert wurde, die Verwendung des Namens „Broadcaster“ sofort einzustellen. In der Folge wurden 4 Monate lang Instrumente ohne Namen ausgeliefert, die heute als „Nocaster“ bezeichnet werden und von Sammlern besonders gesucht sind.

Unter dem Mitte 1951 eingeführten neuen Namen „Telecaster“, wurde Fenders Gitarre dann weltberühmt und wird bis heute in verschiedenen Variationen gebaut.

Bei seinen Bestrebungen die Abmessungen magnetischer Tonabnehmer weiter zu reduzieren, entschied sich Fender für ein vollkommen neues Konzept. Anders als beim P-90 benutzte er sechs einzelne Magnetstifte, die senkrecht unter jeder Saite platziert wurden, um auf diese Weise deren Schwingungen separat abgreifen zu können. Das Ergebnis war ein Tonabnehmer, der durch seine einfache, ja fast schon als simpel zu bezeichnende Konstruktion besticht und, ähnlich wie der P-90, klangliche Maßstäbe setzte.



Die Magnete stecken in zwei Platten aus harter Pappe, um die etwa 7000-8000 Windungen aus 0,06 mm dünnem Kupferlackdraht gewickelt wurden. Die Spule selber, wurde durch einen aufgeklebten Streifen Textilband geschützt.



Bild 1-18: Der Stegtonabnehmer der Telecaster

Dieser Tonabnehmer entspricht damit der Variante (a) in Bild 1-2 und wurde erstmalig auf der „Esquire“ eingesetzt. Die „Broadcaster“ und später die „Telecaster“ erhielt dann schon zwei dieser Tonabnehmer.



Bild 1-19: Fender Nocaster (1951) und Telecaster (1952)

Es stellte sich jedoch schnell heraus, daß der Halstonabnehmer sehr empfindlich gegen Störungen war. Diesem Problem versuchte man bei Fender durch eine Metallkappe sowie eine Kupferplatte zur Abschirmung entgegen zu treten, was aber nur teilweise von Erfolg gekrönt war.



Bild 1-20: Der Halstonabnehmer der Telecaster

Das Prinzip dieses Tonabnehmers kam auch bei dem Nachfolger der „Telecaster“, der 1954 vorgestellten „Stratocaster“ zum Einsatz, welche den Sound des aufkommenden Rock 'n' Roll durch ihren grellen metallischen Klang maßgeblich prägte.



Bild 1-21: Fender Stratocaster (1956)

Die „Stratocaster“ erhielt 3 Single-Coils, die ähnlich aufgebaut waren, wie bei der „Telecaster“. Das nächste Bild zeigt einen dieser Tonabnehmer:



Bild 1-22: Fender Stratocaster Tonabnehmer

Da die Abschirmkappe der Telecaster-Pickups für die Mikrofonie des Tonabnehmers verantwortlich gemacht wurden, entschied sich Fender dafür, sie bei der Stratocaster wegzulassen. Darüber hinaus experimentierte er mit verschiedenen Formen der Magnetpole, um eine gleichmäßigere Lautstärke der Saiten untereinander zu erreichen.

Bedingt durch die hohe Zahl von Strats weltweit, kann man mit Sicherheit behaupten, daß dieser Typ der am weitesten verbreitete einspulige Tonabnehmer überhaupt ist. Die Zahl der produzierten Exemplare, inklusive der Nachbauten, dürfte in die Millionen gehen! Den Aufbau dieser Konstruktion zeigt das nächste Bild:

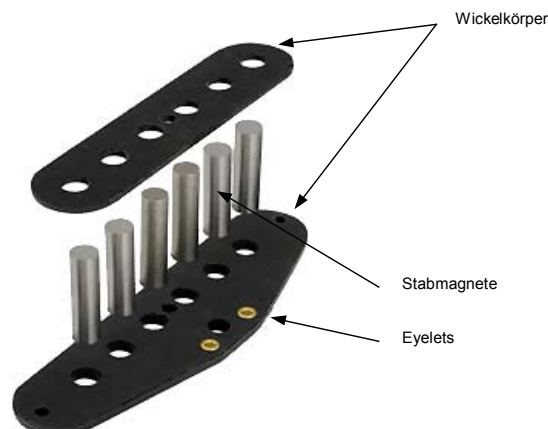


Bild 1-23: Aufbau eines Stratocaster-Tonabnehmers

Leo Fender war es auch, der neben Gibson, als einer der ersten das neue Material AlNiCo einsetzte, eine Legierung aus Aluminium, Nickel und Kobalt, die eine größere magnetische Erregung aufweist, als jeder natürliche Magnet und damit in der Lage ist, eine größere Induktionsspannung zu erzeugen.

1.3.6 „Rauf und runter“ - DeArmond

Von 1949 bis 1957 wurden in den Elektrogitarren von Gretsch Tonabnehmer von Harry de Armond verwendet. Sie sind im US-Patent 2,612,072 beschrieben. Entsprechend ihrer Entstehungszeit wurden und werden sie fast ausschließlich auf Jazzgitarren eingesetzt. Das Patent vom 30. September 1952 bezieht sich im besonderen auf die Höhenverstellbarkeit der einzelnen Magnetpole, die mit Hilfe je einer Schraube vorgenommen werden kann. Aufgrund der langen Schrauben ist jedoch eine große Einbautiefe in der Gitarre erforderlich. Dieser Tonabnehmer wurde von de Armonds Firma „Rowe Industries“ aus Toledo/Ohio produziert.



Bild 1-24: Moderner Dynasonic von Gretsch

In den späten fünfziger Jahren wurden sie von Gretsch als „Dynasonics“ bezeichnet. Aufgrund der Anordnung der Magnete in der Spule entsprechen die Rowe DeArmonds ebenfalls der Variante (a). Sie sind heute als Nachbau von Fender und Gretsch erhältlich.



Bild 1-25: Höhenverstellbare Magnete beim Rowe DeArmond (Sicht von unten)

1.3.7 Nicht nur für Sie - Der Lipstick

Die 1947 von Nathan Daniel gegründete Firma Danelectro präsentierte 1954 einen eigenen Single-Coil, der von seiner Konstruktion der Variante (a) entspricht. Allerdings wurde statt der sechs Stabmagneten ein einzelner durchgehender AlNiCo-Magnet in Balkenform verwendet.



Bild 1-26: Lipstick von Danelectro

Ab 1955 wurden die Spulen in zwei verchromte Gehäusen eines Lippenstiftes untergebracht, die dem Tonabnehmer auch seinen Spitznamen „Lipstick-Pickup“ einbrachten. 1966 wurde Danelectro von Daniel an die Firma MCA verkauft, welche die Fabrik 1969 schloß. Heutzutage gibt es einige Hersteller, die diese Tonabnehmer wieder im Programm haben. Sie sind etwas schmaler, als ein Stratocaster-Tonabnehmer. Aufgrund der daraus resultierenden geringeren Apertur, sind sie in der Lage, noch höhere Frequenzen zu übertragen, was durch ihre geringe Induktivität zusätzlich unterstützt wird. Die Lipsticks können daher fast „akustische“ Klangfarben liefern.

Nachbauten dieser Tonabnehmer sind zur Zeit von Seymour Duncan erhältlich.

1.3.8 Einspuliges von Gretsch

Unter der Bezeichnung „HiLoTron“ („Brilliant Highs“ to „Mellow Lows“) wurde bei Gretsch ein weiterer Single-Coil entwickelt und 1958 als Ersatz für die alten DeArmond-Tonabnehmer auf den Markt gebracht.



Bild 1-27: Gretsch HiLoTron

Technisch gesehen stellte der Tonabnehmer die einzerspulige Variante des „FilterTron“ dar (siehe Bild 2-7). Sie waren billiger und wurde daher häufig in den Einsteigermodellen von Gretsch eingesetzt. Die Konstruktion dürfte der Variante (b) oder (c) entsprechen. HiLoTrons werden heute wieder von Fender, Gretsch und TV Jones hergestellt.

1.3.9 Aus deutschen Landen - Schaller

In Deutschland wurden unter anderem von Schaller Tonabnehmer gefertigt. Hier eine Version mit Dreipunktbefestigung und durchgehendem Weicheisenkern.



Bild 1-28: Single-Coil von Schaller

Besonders bemerkenswert ist die Absenkung der Klinge im Bereich der H-Saite. Die Begründung dafür findet sich in den alten Saitensätzen. Dadurch wird diese Saite etwas „leiser“ übertragen, sodaß insgesamt eine gleichmäßige Lautstärkeverteilung über alle Saiten entsteht.

Um das Schwingverhalten der Resonanzgitarren nicht durch den Einbau von Tonabnehmern zu behindern, wurden sogenannte „schwebende“ Tonabnehmer entwickelt. Sie waren sehr flach und wurden mit Hilfe eine Klammer am Griffbrett befestigt.

Das nächste Bild zeigt eine Variante von Schaller, die Tonabnehmer und Potentiometer im Schlagbrett integriert. Die gesamte Einheit wurde nur durch zwei Schrauben am Griffbrett und durch einen Halter an der unteren Zarge der Gitarre befestigt.



Bild 1-29: „Schwebender“ Tonabnehmer für eine Jazzgitarre von Schaller

Beim Tonabnehmer selber handelt es sich wieder um eine einspulige Variante. Diese gesamte Konstruktion konnte sehr leicht auch nachträglich auf fast allen Jazz-Gitarren verwendet werden.

1.3.10 Von Billy Lorento bis Bill Lawrence

Neben Schaller waren in den sechziger Jahren in Deutschland auch die Tonabnehmer von Billy Lorento bekannt. Der LTS-1 basiert, wie der P-90 von Gibson, auf der Variante (c) und wurde auf vielen deutschen Gitarren von Framus, Hoyer und Höfner eingesetzt. Als Besonderheit ist seine Bauhöhe von nur 14mm zu nennen. So konnte er nachträglich auf vielen Jazz-Gitarren eingesetzt werden, ohne dass Fräsungen im Korpus vorgenommen werden mussten.



Bild 1-30: LTS-1 von Billy Lorento

Hinter dem Namen dieser Tonabnehmer verbirgt sich kein geringerer als der Pickup-Guru „Bill Lawrence“, der mit bürgerlichem Namen eigentlich Willi Lorenz Stich heißt, 1931 in Wahnheide in der Nähe von Köln geboren wurde und sich in den sechziger Jahren als „Billy Lorento“ in Deutschland einen Namen als Jazz-Gitarrist machte.



Bild 1-31: Billy Lorento mit Framus Gitarre

In den siebziger Jahren wanderte Stich in die USA aus. Dort war er unter anderem für Gibson und Norlin als Entwickler tätig. An der Konzeptionierung der Gibson „L6-S“ war er in hohem Maße beteiligt. Aus heutiger Sicht darf man Bill Lawrence mit Sicherheit als einen der maßgeblichen Entwickler von elektromagnetischen Tonabnehmern bezeichnen.

Neben den Konstruktionen mit einzelnen Stabmagneten oder Magnetpolen gibt es seit einiger Zeit auch Tonabnehmer mit durchgehenden Magneten oder Magnetpolen. Hier eine Humbucker-Variante von Bill Lawrence für die Stratocaster:



Bild 1-32: L-250, ein Tonabnehmer mit durchgehenden Magnetpolen

Eine solche Konstruktion bietet den Vorteil, daß die Saiten beim Querziehen (Bending) nicht leiser werden.

1.3.11 Von der Insel - Burns Tri-Sonic

Neben den Fenderprodukten haben auch die „Tri-Sonic“ Pickups von des britischen Herstellers Burns eine gewisse Berühmtheit erlangt, denn sie werden in der "Red Special" von Brian May, dem Gitarristen der englischen Rockgruppe „Queen“ verwendet. Hier ein Bild:



Bild 1-33: Burns Tri-Sonic

Diese Tonabnehmer werden auch heute noch von Burns in London gefertigt. Weitere Kopien dieser Tonabnehmer aus den 60er Jahren sind von Kent Armstrong in den USA und von Adeson in Großbritannien erhältlich. Vom Konzept her handelt es sich um die Variante (b). Allerdings wird durch die Blechkappe ein besserer Schutz gegen elektrische Störungen erreicht.

1.4 Der gestörte Tonabnehmer

Leider weichen die idealen Verhältnisse immer ein wenig von der Realität ab und so haben die Single-Coils eine unangenehme Eigenart: Wenn man sie in die Nähe eines Transformators bringt, fangen sie die Brummstreuungen auf. Aber auch andere ungewollte magnetische „Besucher“, wie Drosselfelder von Leuchtstoffröhren oder die Felder anderer magnetischer Quellen sind manchmal im Signal zu finden.

Besonders der Halstonabnehmer der „Broadcaster“ (später „Telecaster“) war sehr störanfällig und er erhielt deshalb eine Abschirmung, die aus einer dicken Metallkappe bestand. Unterhalb des Tonabnehmers wurde eine Kupferplatte montiert. Diese Abschirmmaßnahmen konnten die Störeinflüsse reduzieren, jedoch nicht vollständig verhindern. Nebenbei änderte sich dadurch auch der Klang des Tonabnehmers. Seitdem sprechen die Musiker auch vom „Tele-Twang“.

Wie sich der Einfluß der Störung auf die Spule des Tonabnehmers auswirkt, zeigt das nächste Bild:

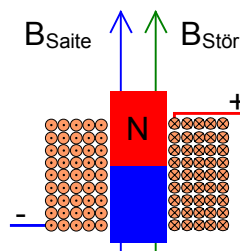


Bild 1-34: Tonabnehmer mit magnetischer Störung

Der Einfachheit halber wurden nur zwei Feldlinien eingezeichnet. In blau ist das Feld des Tonabnehmermagneten dargestellt. Seine Änderung repräsentiert die Saitenschwingung und stellt deshalb das gewünschte Nutzsignal dar. Ohne diesen Magneten würde die Saitenschwingung nicht umgesetzt werden können. Aufgrund der Richtung des Magnetfeldes wird durch die Wicklung ein Strom getrieben, der auf der rechten Seite „hinein fließt“. Die Elektronen bewegen sich also vom Anfang zum Ende der Spule. Da die technische Stromrichtung umgekehrt zur physikalischen Stromrichtung ist, nimmt die Spannung zwischen Anfang und Ende der Spule zu einem bestimmten Betrachtungszeitpunkt t eine positive Polarität an!

Durch die grüne Feldlinie wird das von Außen eingestreute Magnetfeld dargestellt. Auch hier soll eine Feldlinie stellvertretend für das ganze Feld stehen. Da es die gleiche Richtung hat, wie das Feld des Magneten, muß auch die Polarität der verursachten Spannung zum Zeitpunkt t eine positive Polarität haben. Für die Induktion dieser Spannung ist der Magnet des Tonabnehmers nicht erforderlich!

Mit dem Induktionsgesetz wird die Ausgangsspannung dann

$$u_{(t)} = -N \cdot \frac{d\Phi_{\text{Saite}}}{dt} + -N \cdot \frac{d\Phi_{\text{Stör}}}{dt}$$

und man erkennt, daß das Störfeld ebenfalls eine induzierte Spannung hervorruft, welche zur Spannung des Nutzsignales addiert wird. Dieses Problem ist prinzipbedingt und läßt sich leider nicht verhindern. Der Versuch einer magnetischen Abschirmung des Tonabnehmers führt zu keiner Lösung, da bei einer vollständigen Abschirmung das Feld des Magneten den Tonabnehmer nicht mehr verlassen könnte. Die Saitenschwingung würde folglich auch nicht mehr erfaßt. Eine partielle Abschirmung birgt jedoch immer die Gefahr, daß das Störfeld ebenfalls in die Spule eindringen kann.

Ergebnis:

Ein magnetischer Tonabnehmer ist anfällig für von Außen eingestreute Magnetfelder. Die entsprechende Spannung muß zum Nutzsignal addiert werden.

$$u_{(t)} = -N \cdot \left(\frac{d\Phi_{\text{Saite}}}{dt} + \frac{d\Phi_{\text{Stör}}}{dt} \right)$$

Formel 1-2: Gestörte Ausgangsspannung eines Tonabnehmers

Das eben beschriebene Problem der magnetischen Störungen zu lösen, stellte eine der größten Herausforderungen in der Geschichte der elektromagnetischen Tonabnehmer dar. Nachdem sich die passiven Lösungen durch Abschirmung als nicht praktikabel herausgestellt hatten, mußte ein vollkommen neuer Weg beschritten werden. Mehr dazu im nächsten Kapitel.

2 Entstörrer Tonabnehmer - Der Humbucker

Bei Gibson sah man die Maßnahmen der Konkurrenz, den Single-Coils das Brummen abzugewöhnen, eher als einen halbherzigen Versuch an, einen einmal eingeschlagenen Weg weitergehen zu können.

Es war also eine geeignete Verbesserung gesucht, welche den Einfluß der externen Einstreuungen zuverlässig verhindern konnte. Da eine Abschirmung des Tonabnehmers aus funktionalen Gründen nicht möglich war, konnte das Eindringen von magnetischen Störungen offensichtlich nicht vollständig verhindert werden. Man wandte sich daher lieber engagiert der Realisierung ganz anderer Lösungsansätze zu.

2.1 Prinzip des Humbuckers

Die gefundene Lösung besteht dann darin, die eingedrunghenen Störungen in geeigneter Weise zu kompensieren. Aus mathematischer Sicht muß man das wie folgt definieren:

$$u_{(t)} = -N \cdot \left(\frac{d\Phi_{\text{Saite}}}{dt} + \frac{d\Phi_{\text{Stör}}}{dt} - \frac{d\Phi_{\text{Stör}}}{dt} \right)$$

Es ist also eine Quelle gesucht, welche die Störspannung in invertierter Form zur Verfügung stellt. Dazu nimmt man am besten einen zweiten identischen Tonabnehmer und addiert beide Spannungen:

$$u_{(t)} = -N \cdot \left(\frac{d\Phi_{01\text{Saite}}}{dt} + \frac{d\Phi_{01\text{Stör}}}{dt} \right) + -N \cdot \left(\frac{d\Phi_{02\text{Saite}}}{dt} + \frac{d\Phi_{02\text{Stör}}}{dt} \right)$$

Daraus wird dann

$$u_{(t)} = -N \cdot \left(\frac{d\Phi_{01\text{Saite}}}{dt} + \frac{d\Phi_{01\text{Stör}}}{dt} + \frac{d\Phi_{02\text{Saite}}}{dt} + \frac{d\Phi_{02\text{Stör}}}{dt} \right)$$

Sind beide Tonabnehmer ausreichend dicht beieinander montiert und ist die Quelle der Störung weit genug entfernt, so kann man davon ausgehen, daß das Störfeld in beiden Spulen den gleichen Wert hat. Jetzt muß nur noch dafür gesorgt werden, daß die Störspannung in der zweiten Spule ein anderes Vorzeichen bekommt. Dieses kann auf zwei Arten erreicht werden:

1. Man kann den Wickelsinn in einer Spule umkehren. Aus CCW wird dann CW¹. Das Magnetfeld „treibt“ den Strom nach wie vor in die gleiche Richtung. Da die Wicklungsrichtung aber umgekehrt wurde, hat sich die Richtung des Stromflusses und damit auch die Polarität der Ausgangsspannung umgedreht.
2. Man kann die Spulen gegenphasig verbinden. Das heißt, es werden die beiden Enden der Spulen verbunden. Dadurch dreht sich ebenfalls die Polarität der Ausgangsspannung in einer Spule.

Als Resultat müssen die Vorzeichen von Nutz- und Störsignal in der zweiten Spule umgedreht werden.

$$u_{(t)} = -N \cdot \left(\frac{d\Phi_{01\text{Saite}}}{dt} + \frac{d\Phi_{\text{Stör}}}{dt} - \frac{d\Phi_{02\text{Saite}}}{dt} - \frac{d\Phi_{\text{Stör}}}{dt} \right)$$

Wie man leicht sieht, ist die gesamte Spannung nun die Differenz der beiden Teilspannungen des Nutzsignals.

¹ clock wise

Ergebnis:

Schaltet man zwei parallel montierte, identische Spulen mit Magneten im Kern gegenphasig und in Reihe zusammen, so löschen sich auch die Spannungen der beiden Spulen aus.

$$u_{(t)} = -N \cdot \left(\frac{d\Phi_{01Saite}}{dt} - \frac{d\Phi_{02Saite}}{dt} \right)$$

Formel 2-1: Signalkompensation zweier gegenphasiger Spulen

Dabei kann die von Außen eingestreuete magnetischen Störung vollständig kompensiert werden. Die zweite Spule wird daher als „Kompensationsspule“ bezeichnet.

Der gleiche Effekt wird erreicht, wenn die Kompensationsspule einen entgegengesetzten Wickelsinn aufweist.

Je nachdem, wie weit die beiden Spulen voneinander entfernt sind, wird sich also eine mehr oder weniger große Dämpfung des Signals ergeben. Das ist natürlich nicht gewünscht! Was bleibt zu tun?

Nun, die Phase des Nutzsignals in der zweiten Spule muß noch einmal gedreht werden. Das ist sehr einfach möglich, indem die Polarität der Flußänderung und damit die Richtung der Flußdichte umgedreht wird. Einfach gesprochen, wird der Magnet umgedreht. Das „störende“ Magnetfeld wird dadurch nicht beeinflusst. Dann erhält man

$$u_{(t)} = -N \cdot \left(\frac{d\Phi_{01Saite}}{dt} + \frac{d\Phi_{Stör}}{dt} + \frac{d\Phi_{02Saite}}{dt} - \frac{d\Phi_{Stör}}{dt} \right) = -N \cdot \left(\frac{d\Phi_{01Saite}}{dt} + \frac{d\Phi_{02Saite}}{dt} \right)$$

Formel 2-2: Signalverdoppelung trotz Brummkompensation

und hat das Ziel erreicht: Die Störungen sind weg und die Ausgangsspannung ist, unter der Annahme, daß die Flußänderungen in beiden Spulen gleich groß ist, sogar doppelt so groß, da für tiefe Frequenzen die Amplitude des Nutzsignals über beiden Spulen quasi identisch ist.

Bis jetzt wurde lediglich eine Reihenschaltung der beiden Spulen besprochen. Die gewünschte Kompensationswirkung ist jedoch prinzipiell auch bei einer Parallelschaltung der beiden Spulen vorhanden. Ohne den dazu notwendigen Beweis jetzt zu führen sei gesagt, daß sich dann die durch die Induktionsspannungen hervorgerufenen Ströme in geeigneter Form kompensieren. Allerdings entfällt die Verdoppelung der Ausgangsspannung.

Ergebnis:

Hat der Magnet der Kompensationsspule eine entgegengesetzte Polarität als der der ersten Spule, so werden nur die von Außen in beide Spulen eingestreuete magnetischen Felder kompensiert. Das Nutzsignal hingegen wird durch die Addition der beiden Teilspannungen (fast) verdoppelt.

$$u_{(t)} = -N \cdot \left(\frac{d\Phi_{01Saite}}{dt} + \frac{d\Phi_{02Saite}}{dt} \right)$$

Formel 2-3: Ausgangsspannung des parallelen Humbuckers

Da beide Spulen einen Anteil zum Nutzsignal erzeugen, sind sie aus Sicht des Nutzsignals „aktiv“. Ein solcher Tonabnehmer wird auch als „paralleler Humbucker“ bezeichnet.

Der Kompensationseffekt ist sowohl bei einer Reihen- als auch bei einer Parallelschaltung der beiden Spulen vorhanden.

Dieser Typ eines Humbuckers wurde erstmalig 1955 von Gibson vorgestellt und zum Patent angemeldet. Es wurde am 28. Juli 1959 in den USA unter der Nummer 2,896,491 erteilt. Die Idee des Gibson Technikers Seth Lover, durch den Einsatz einer zusätzlichen, gegenphasig zum Tonabnehmer geschalteten Brummkompensationsspule die Nebengeräuschempfindlichkeit zu verringern, führte zur erfolgreichen Markteinführung des sogenannten „Humbuckers“.

Der am 1. Januar 1910 geborenen Seth Lover hatte in verschiedenen Firmen als Radiotechniker gearbeitet. 1930 kam er erstmalig mit Musikern in Kontakt, für die er dann Verstärker reparierte und später auch entwickelte.

1941 wurde er von Walter Fuller zu Gibson geholt und begann dort eine Tätigkeit als Entwickler. Nachdem er im zweiten Weltkrieg wieder in der US Navy gedient hatte, nahm er 1945 erneut seine Entwicklertätigkeit für Gibson auf.

In der ersten Zeit beschäftigte er sich hauptsächlich mit dem Design von Verstärkern. So erfand er unter anderem ein rauschfreies Tremolo, daß mit Hilfe von optischen Bauelementen funktionierte. Anschließend entwickelte er ein Konzept, um das Brummen in Verstärkern zu reduzieren, welches er dann auf die Tonabnehmer der Elektrogitarre übertrug.

Neben dem Humbucker entwickelte er noch weitere Tonabnehmer für Gibson, so zum Beispiel einen Humbucker für Steel-Guitars. Für die „Gibson Electraharp“ erfand er ein spezielles Single-Coil-Konzept, daß mit insgesamt drei Tonabnehmern arbeitete.

Während der gesamten Zeit seiner Tätigkeit hatte es die Firma jedoch stets versäumt, ihm die gebührende Anerkennung zuteil werden zu lassen. Als er 1967 ein sehr gutes Angebot von Fender bekam, verließ er Gibson, um bei der Konkurrenz als Entwickler zu arbeiten.

Vor wenigen Jahren unterstützte er Seymour Duncan bei der Entwicklung eines PAF-Replikates. Die Tonabnehmer tragen ihm zu Ehren die Bezeichnung „Seth Lover Model“, eine späte Ehrung für einen Mann, der maßgeblich zur Entwicklung der Elektrogitarre beitrug.

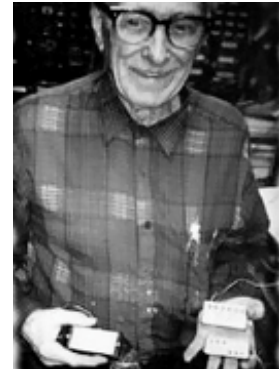


Bild 2-1: Seth Lover 1996

2.2 Die Bauformen des parallelen Humbuckers

Sehen wir uns eine prinzipielle Möglichkeit der Realisierung eines parallelen Humbuckers im nächsten Bild an:

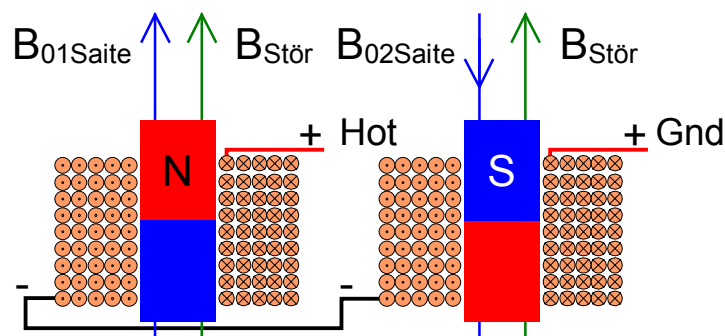


Bild 2-2: Prinzip eines parallelen Humbuckers

Hier sind die beiden Spulen gegenphasig in Reihe geschaltet. Das wird durch die elektrische Verbindung der Enden der beiden Spulen erreicht. Damit die Kompensation nur auf die Störgrößen wirkt, wurde der Magnet zusätzlich umgedreht. Die beiden Spulen sind also elektrisch und magnetisch gegenphasig.

Aber natürlich ist das nicht die einzige Möglichkeit, um einen parallelen Humbucker zu realisieren. Gerade in der Anfangszeit des Humbuckers waren die verschiedenen Hersteller natürlich darauf aus, ein eigenes Konzept zu haben, um keine Lizenzgebühren an Gibson zahlen zu müssen. Bild 2-3 zeigt die gebräuchlichsten Variationen.

Das Patent von Seth Lover ist mittlerweile längst abgelaufen, und so ist das vielleicht der Grund dafür, warum fast alle Hersteller von Tonabnehmern sich heute seiner Humbuckerkonstruktion bedienen.

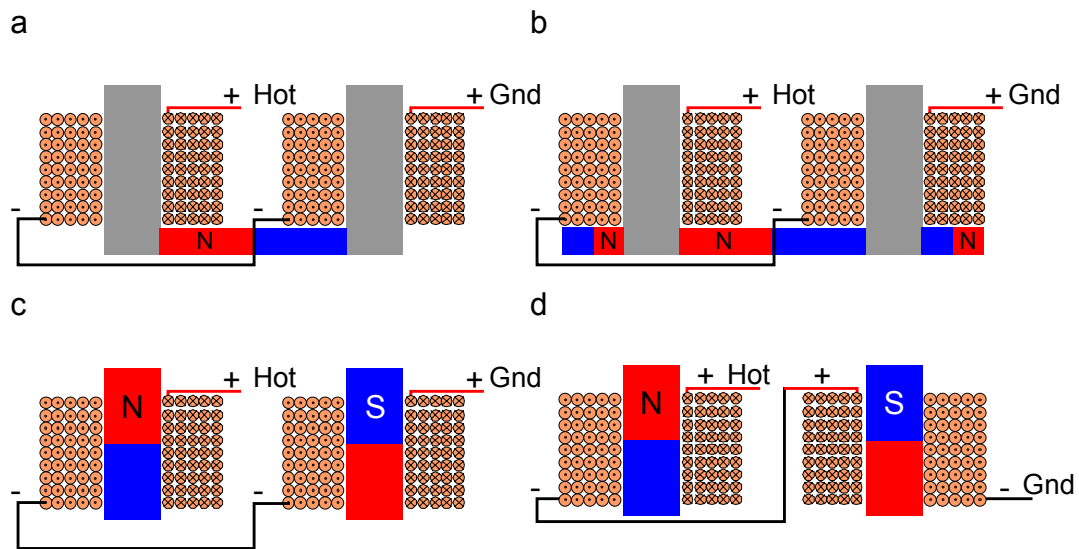


Bild 2-3: Die Variationen des parallelen Humbuckers

2.2.1 Gibson definiert den Standard...

Die ursprünglich von Seth Lover für Gibson entwickelte Tonabnehmer (US-Pat. 2,896,491) basiert auf der Variante (a). Diese Bauform wird heutzutage von vielen Herstellern verwendet. Sie stellt, neben dem Stratocaster-Tonabnehmer, den zweiten großen Standard dar. Die praktische Realisierung zeigt das folgende Bild:

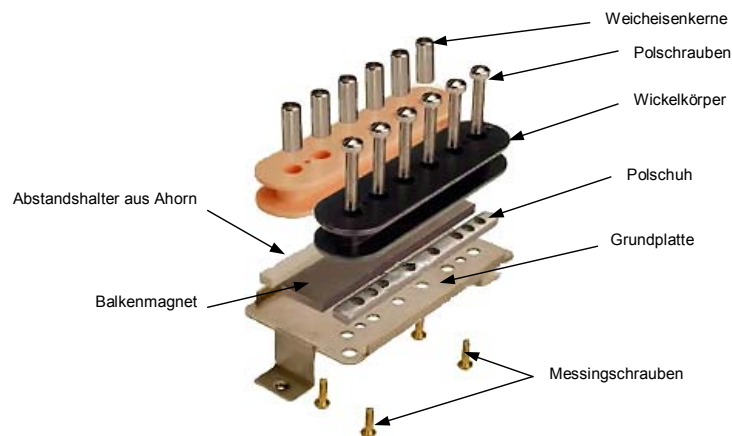


Bild 2-4: Aufbau eines Humbuckers vom Gibson-Typ

Die gesamte Konstruktion sitzt auf einer Grundplatte aus Nickel oder Stahl, auf der mittig ein Balkenmagnet liegt. Darüber sind die beiden Spulen angeordnet, in denen jeweils 6 Weicheisenkerne sitzen. Diese sind in einer Spule als Schrauben ausgeführt, um die Lautstärke der einzelnen Saiten anpassen zu können.

Rechts und links des Magneten befinden sich zwei als „Spacer“ bezeichnete Abstandshalter. Die Weicheisenkerne der linken Spule liegen seitlich am Magneten an. Damit sie stabil aufliegt, wird ein Ahorn-Spacer verwendet. Auf der rechten Seite befindet sich ein Polschuh, der sogenannter „Keeper“, aus Metall, der die Gewinde für die Polschrauben enthält. Er sorgt für einen sicheren Halt der rechten Spule. Die beiden Wickelkörper werden mit Hilfe von je zwei Messingschrauben an der Grundplatte befestigt.



Bild 2-5: Der Gibson-Humbucker

Der gesamte Tonabnehmer wird durch eine Blechkappe gegen kapazitiv eingestreute elektrische Störungen abgeschirmt. Aufgrund der in ihr auftretenden Wirbelströme dämpft die Kappe jedoch die Resonanzspitze.

Da die Kompensation nur dann vollständig ist, wenn die Pole beider Spulen einer Saite ein gleich großes Signal liefern, sind der Lautstärkeanpassung gewisse Grenzen gesetzt. Sind die beiden Spulen wirklich identisch, müssen die Pole für eine Saite auch den gleichen Abstand zu ihr haben. Besser wäre es also gewesen, alle Pole einstellbar zu machen, wie es viele Hersteller von Austauschtonabnehmern heute anbieten.



Bild 2-6: Der SH-10 mit 12 einstellbaren Polen

Die prinzipielle Funktionsweise wird durch den Einsatz von Schrauben als Magnetpol nicht verändert, solange diese magnetisierbar sind. Im Gegensatz zu Tonabnehmern mit Magneten in den Spulen, ist die Flußdichte an den Saiten allerdings nicht so stark, was aus der Sicht der Störung der Saitenschwingung durchaus als positiv zu werten ist.

Eine weitere Möglichkeit findet sich in der Variante (b). Hier wurden auch an den Seiten des Tonabnehmers Magnete angebracht, um die Ausgangsspannung zu erhöhen. Dieses Prinzip setzte Gibson bei seinem „Super Humbucker“ ein, der 1973 von Bill Lawrence für die Gibson L-6 entwickelt wurde.

2.2.2 Brummfrees von Gretsch

Doch Gibson für diese Entwicklung des Humbuckers die alleinigen Lorbeeren zuzuschreiben, wäre nur die halbe Wahrheit. Parallel zu den Mitarbeitern bei Gibson waren noch andere Menschen mit der Entwicklung und Verbesserung von Tonabnehmern beschäftigt. Einer von ihnen, der 1920 geborene Joseph Raymond Butts, war Besitzer eines Musikgeschäftes und Elektronik-Spezialist in Cairo/Illinois. 1954 ging er nach Nashville um Musikern zu helfen, den damals im Studio angesagten Echo-Sound auch auf der Bühne zu erzeugen. Er hatte einen Verstärker mit dem Namen „EchoSonic“ entwickelt, den er unter anderem an Scotty Moore, der als Gitarrist mit Elvis Presley arbeitete, und an Chet Atkins verkaufte.



Bild 2-7: Gretsch Filter'Tron

Für Chet Atkins, der mit dem Klang der DeArmond-Tonabnehmer nicht zufrieden war, entwickelte er auf Anfrage einen Tonabnehmer, der mehr Höhen liefern konnte, die Schwingung der Saiten nicht so stark beeinflusste und nebenbei auch das Brummen unterdrückte. Atkins war mit dem Prototypen zufrieden und präsentierte ihn der Firma Gretsch, für die er zu der Zeit als Endorser unter Vertrag stand. Gretsch produzierte den Tonabnehmer dann unter dem Namen „Filter'Tron“ (Filter out the elecTronic hum) und vermarkteten ihn auf ihren Gitarren.

Das Patent wurde 1959 unter der Nummer 2,892,371 erteilt. Der Aufbau des „Filter'Tron“ entspricht der Variante (a) und weist somit große Ähnlichkeit mit dem Gibson-Humbucker auf. Allerdings wird in der Patentschrift erwähnt, daß die Resonanzfrequenz, im Gegensatz zu den Tonabnehmern anderer Hersteller, wesentlich höher (20kHz) liegt. Wie das erreicht wurde, bleibt indes ungewiß. Da man diesen Tonabnehmern jedoch Probleme beim Übersteuern eines Verstärkers nachsagt, wurde wahrscheinlich eine geringere Windungszahl verwendet. Dafür spricht auch die bei Harmony-Central zu findende Angabe über einen Gleichstromwiderstand von 4 bis 5kΩ.

Durch die offene Abschirmkappe werden die sogenannten Wirbelstromverluste verringert. Auf diese Weise konnte eine ausgeprägtere Resonanzspitze erreicht werden.

Hier tauchen auch erstmalig einstellbare Pole in beiden Spulen auf. Damit ließ sich die Lautstärke jeder Saite einzeln anpassen und eine optimale Brummunterdrückung einstellen.

Eine Variation des „Filter’Tron“ war der Gretsch „Super’Tron“, der von 1964 bis 1980 gebaut wurde. Statt einzelner Eisenkerne für jede Saite hatte er zwei durchgehende Klingen und war insgesamt etwas „lauter“ als sein Vorgänger.

Ray Butts entwickelte nach dem „Filter’Tron“ noch weitere Tonabnehmer für Gretsch. Später vertrieb er Jazz-Tonabnehmer unter dem Namen „Butts Pickups“. Er starb am 20. 04 2003 in Nashville.



Bild 2-8: Super’Tron von TV Jones

Alle von Gretsch eingesetzten Tonabnehmer haben eine Gemeinsamkeit: Sie übertragen wesentlich mehr hohe Frequenzen als die Systeme anderer Hersteller. Dadurch klingen die Gitarren sehr akustisch, was die Instrumente von Gretsch gerade bei Country-Musikern sehr beliebt machte. Aber auch im Rockabilly und im aufkommenden Rock’n Roll wurden die Gitarren gerne eingesetzt.

2.2.3 Fender zieht nach..

Seth Lover entwickelte später auch für Fender einen Humbucker. Er wurde unter anderem in der „Starcaster“ und der „Telecaster“ eingesetzt. Im Gegensatz zum Gibson-Konzept werden hier jeweils 6 einzelnen Magnete verwendet (c).



Bild 2-9: Fender-Humbucker

Nur drei dieser sechs Magneten in einer Spule sind als Einstellschrauben ausgelegt. Diese Anordnung hat jedoch keinen tieferen technischen Sinn, sondern geschah eher aus optischen Gründen. Auf diese Weise hob man sich von der Konkurrenz aus dem Hause Gibson ab. Bezüglich der Lautstärkeanpassung bestand das gleiche Problem wie beim Gibson-Humbucker. Diese Tonabnehmer sind heute unter anderem von der Firma Warmoth in den USA erhältlich.

Von Lindy Fralin werden seit einiger Zeit geteilte Single-Coils in dieser Erscheinungsweise angeboten (siehe Bild 4-5). Man sollte sie also nicht miteinander verwechseln!

2.2.4 Der Humbucker heute

Heutzutage werden viele Humbucker offen, das heißt ohne Blechkappe, ausgeliefert, um eine stärkere Ausprägung der Resonanz zu erreichen. Dadurch sind diese Typen natürlich anfälliger für Störungen durch elektrische Wechselfelder. Diese Anfälligkeit kann gesenkt werden, wenn auch in der Kompensationsspule die äußeren Windungen als Abschirmung dienen. In diesem Fall ist eine gegenphasige Zusammenschaltung nicht möglich. Deshalb erhält die Kompensationsspule eine entgegengesetzte Wickelrichtung. Die Variante (d) zeigt das dazu gehörende Prinzip. Auch sie wurde von Seth Lover in seinem Patent erwähnt. Die Abschirmung ist bei einer Parallelschaltung der beiden Spulen besonders wirksam, da hier beide Enden auf Masse gelegt werden.

Einige Hersteller von Tonabnehmern bieten sogenannte „Customized Pickups“ an. Wenn man sich hier den Humbucker seiner Wahl bauen läßt, sollte man darauf achten, daß eine Spule tatsächlich entgegengesetzt gewickelt ist.

2.3 Der Humbucker im „Out-of-Phase“-Betrieb

Hin und wieder findet man im Zusammenhang mit parallelen Humbuckern Schaltungsvorschläge, in denen auch der gegenphasige Betrieb vorgeschlagen wird. Das bedeutet, daß die Polarität der Kompensationsspule, die ja schon gegenphasig mit der anderen Spule zusammengeschaltet ist, noch einmal gedreht wird. Dann wird aus Formel 2-2:

$$u_{(t)} = -N \cdot \left(\frac{d\Phi_{01\text{Saite}}}{dt} + \frac{d\Phi_{\text{Stör}}}{dt} - \frac{d\Phi_{02\text{Saite}}}{dt} + \frac{d\Phi_{\text{Stör}}}{dt} \right) = -N \cdot \left(\frac{d\Phi_{01\text{Saite}}}{dt} - \frac{d\Phi_{02\text{Saite}}}{dt} + 2 \cdot \frac{d\Phi_{\text{Stör}}}{dt} \right)$$

Formel 2-4: Humbucker im „Out-of-Phase“-Betrieb

Man erkennt, daß vom Nutzsignal jetzt nur noch die Differenz aus beiden Spulen übertragen wird. In dieser Betriebsart ist der Tonabnehmer also wesentlich leiser. Klanglich kann Out-of-Phase als „nasal“ oder „hölzern“ mit reduzierten tiefen Frequenzen bezeichnet werden. Je nachdem, wie groß die Entfernung der beteiligten Spule ist, ergeben sich ganz unterschiedliche „Klänge“. Einige Gitarristen, wie zum Beispiel Brian May, benutzen ganz bewußt Out-of-Phase, allerdings sind dann Single-Coils oder komplette Humbucker beteiligt.

Betrieibt man einen Humbucker auf diese Weise, so ist die verdoppelte Störspannung ein großes Problem: Es brummt jetzt eben doppelt so laut! Diesen Effekt kann man ein wenig verringern, indem die beiden Spulen nicht in Reihe sondern parallel geschaltet werden. Ansonsten kann man sich nur darauf beschränken, ausreichenden Abstand zur Störquelle zu halten.

3 Der koaxiale Humbucker

Die parallelen Humbucker haben einen prinzipbedingten Nachteil: Frequenzen, deren Wellenlänge ein ganzzahliges Vielfaches des Abstandes der beiden Magnetpole sind, werden nicht übertragen.

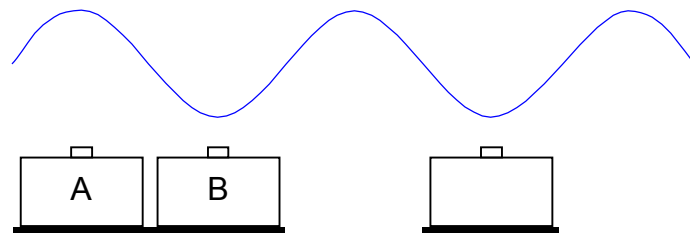


Bild 3-1: Frequenzauslöschung bei doppelspanuligen Tonabnehmern

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“.

Damit ist diese Art von Humbuckern zwar brummfrei, klanglich aber nicht wirklich mit einem Single-Coil zu vergleichen. Abgesehen davon sind sie durch ihre größere Breite nicht ohne mechanische Arbeiten am Korpus der Gitarre gegen einen schmaleren Single-Coil auszutauschen. Erst vor wenigen Jahren wurden parallele Humbucker im Format eines einzelspuligen Tonabnehmers entwickelt, welche die Musiker überzeugten.



Bild 3-2: Schmalere Humbucker von Seymour Duncan

Das Problem der Auslöschung ist allerdings auch bei ihnen vorhanden, jedoch treten sie bei höheren Frequenzen auf, da der Abstand der beiden Pole viel geringer ist. Wenn wir die klanglichen und mechanischen Eigenschaften eines Single-Coil wünschen, der trotzdem brummfrei sein soll, müssen wir also noch etwas weiter denken.

3.1 Prinzip des koaxialen Humbuckers

Montiert man die beiden Spulen untereinander, und verbindet sie gegenphasig, dann ist sowohl das Problem der Frequenzauslöschung, als auch das Brummproblem gelöst. Beide Magnetfelder verlaufen mit gleicher Richtung durch beide Spulen und erzeugen dort die folgende Spannung:

$$u_{(t)} = -N_{01} \cdot \left(\frac{d\Phi_{01Saite}}{dt} + \frac{d\Phi_{01Stör}}{dt} \right) + N_{02} \cdot \left(\frac{d\Phi_{02Saite}}{dt} + \frac{d\Phi_{02Stör}}{dt} \right)$$

Formel 3-1: Ausgangsspannung des einfachen koaxialen Humbuckers

Zuerst betrachten wir die Sache allgemein. Aus diesem Grund sind für beide Spulen unterschiedliche Windungszahlen (N_{01} und N_{02}) zugelassen. Gleiches gilt für die Flußänderungen.

Das nächste Bild zeigt eine Realisierung dieses Prinzips. Die beiden Spulen sind ober- und unterhalb eines Balkenmagneten angeordnet. In den Spulen befindet sich jeweils ein Kern aus Weicheisen. Diese, auch als „stacked Humbucker“ bekannt gewordenen Tonabnehmer, wurden 1969 erstmalig von Gibson in der „Les Paul Professional“ eingesetzt. Seymour Duncan übernahm das Prinzip dann etwas später für einen eigenen koaxialen Humbucker.

Eine ähnliche Konstruktion erhält man, indem man die beiden Kerne durch Dauermagnete ersetzt und den Balkenmagneten entfernt. Die Funktionsweise ist identisch.

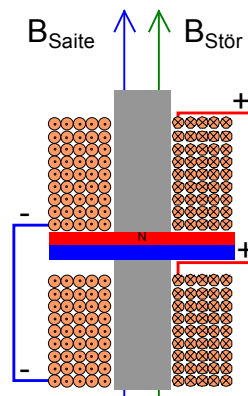


Bild 3-3: Einfacher koaxialer Humbucker mit magnetischer Störung

Wir nehmen nun an, daß der Störeinfluß in beiden Spulen identisch ist und trennen Formel 3-1 nach Stör- und Nutzsignal:

$$u_{(t)} = - \left(N_{01} \cdot \frac{d\Phi_{01Saite}}{dt} - N_{02} \cdot \frac{d\Phi_{02Saite}}{dt} \right) + \frac{d\Phi_{Stör}}{dt} \cdot (N_{01} - N_{02})$$

Es ist zu erkennen, daß, unter der Annahme gleicher Windungszahlen für beide Spulen, eine vollständige Kompensation der Störung möglich ist.

Ergebnis:

Schaltet man zwei untereinander montierte, identische Spulen mit Magneten im Kern gegenphasig zusammen, so löschen sich auch die Spannungen der beiden Spulen aus.

Die zweite Spule wird daher als „Kompensationsspule“ bezeichnet. Der Kompensationseffekt ist sowohl bei einer Reihen- als auch bei einer Parallelschaltung vorhanden.

Ein solcher Tonabnehmer wird auch als „koaxialer“ oder „vertikaler“ Humbucker bezeichnet.

Eine bemerkenswerte Variante des koaxialen Humbuckers wurde Ende der 60er Jahre von der Firma „Dirtywork Studios“ für Gibson entwickelt.



Bild 3-4: Niederohmiger koaxialer Humbucker von Gibson

Diese Tonabnehmer waren niederohmig und wurden ab 1969 in der „Les Paul Professional“ und später in der „Les Paul Recording“ von Gibson verwendet. Vielleicht handelt es sich hierbei tatsächlich um die erste Bauform des koaxialen Humbuckers.



Bild 3-5: „Les Paul Recording“

Interessanterweise ging aus „Dirtywork Studios“ später die Firma EMG hervor, die heute für ihre aktiven Tonabnehmer sehr bekannt ist.

3.2 Das Problem des koaxialen Humbuckers

Nimmt man an, daß die, durch die Saitenschwingung erzeugte, Änderung der magnetischen Flußdichte in beiden Spulen konstant ist, so löscht sich leider auch das Nutzsignal aus! Dieses Problem läßt sich nur lösen, indem zwei unsymmetrische Spulen verwendet werden. Das kann man erreichen, indem entweder unterschiedliche Windungszahlen benutzt, oder unterschiedliche Materialien in den Spulen eingesetzt werden.

Hier sind allerdings zwei Dinge in gewisser Weise kontraproduktiv. Möchte ich eine möglichst große Störunterdrückung, dann wird das auch immer mit einer hohen Dämpfung des Nutzsignals erkauf.

Tatsächlich müssen die ersten Exemplare dieser Tonabnehmergattung sehr leise gewesen sein. In der „Les Paul Recording“ und der „Les Paul Professional“ war das jedoch nicht so problematisch, da die Tonabnehmer eh niederohmig waren und die Spannung durch einen Trafo hochtransformiert wurde.

3.3 Die Lösung des Lautstärkeproblems

Eine Verbesserung erhält man, wenn der Magnet in der unteren Spule komplett entfernt wird. Im Grunde genommen handelt es sich jetzt um einen Single-Coil mit einer sogenannten Dummy-Spule (siehe 5.1). Die Saitenschwingungen werden nur von der oberen Spule aufgenommen, da nur sie einen Magneten enthält. Das nächste Bild zeigt das Funktionsprinzip:

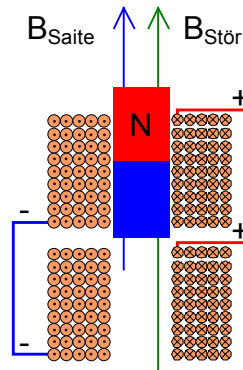


Bild 3-6: Koaxialer Humbucker mit magnetischer Störung

Damit ist die Kompensationsspule nicht vom Feld des Magneten durchflutet, sondern nur vom Störfeld. Die Saitenschwingung wirkt also nur auf die obere Spule, die äußere Einstreuung wirkt auf beide. Dann wird die mögliche Ausgangsspannung des Tonabnehmers:

$$u_{(t)} = -N \cdot \frac{d\Phi_{01Saite}}{dt}$$

Im Unterschied zum parallelen Humbucker wird die Ausgangsspannung hier also nicht verdoppelt.

Ergebnis:

Schaltet man zwei untereinander montierte, identische Spulen, von denen nur die obere einen Magneten enthält, gegenphasig zusammen, so liefert die Kompensationsspule keinen Anteil zum Nutzsignal und die von Außen eingestreuten magnetischen Störungen werden kompensiert.

$$u_{(t)} = -N \cdot \frac{d\Phi_{01Saite}}{dt}$$

Formel 3-2: Ausgangsspannung des koaxialen Humbuckers

Da nur die obere Spule das Nutzsignal erzeugt, ist sie aus Sicht des Nutzsignals „aktiv“. Die Kompensationsspule ist bezüglich des Nutzsignales feldfrei.

In der Praxis ist die Kompensation zwar ziemlich vollständig, jedoch ragt das Feld des Magneten in der oberen Spule auch ein Stück weit in die untere Spule. Das wurde in Bild 3-6 durch eine etwas längere blaue Feldlinie dargestellt.

Das bedeutet, daß ein Teil der durch die Saitenschwingung hervorgerufenen Flußänderungen auch in der unteren Spule eine Spannung induzieren. Allerdings sind hier nicht alle Windungen beteiligt, sondern nur die im oberen Bereich. Die Anzahl dieser Windungen soll als N^* bezeichnet werden und ist eine Funktion der wirksamen, von B_{Saite} durchfluteten Länge der unteren Spule. Damit folgt dann

$$u_{(t)} = -N \cdot \left(\frac{d\Phi_{01Saite}}{dt} + \frac{d\Phi_{Stör}}{dt} \right) - \left(-N^* \cdot \frac{d\Phi_{01Saite}}{dt} - N \cdot \frac{d\Phi_{Stör}}{dt} \right)$$

und die Ausgangsspannung wird

$$u_{(t)} = -(N - N^*) \cdot \frac{d\Phi_{01Saite}}{dt}$$

Die Ausgangsspannung des Tonabnehmers wird durch die Kompensationsspule also immer noch etwas verringert. Wie stark dieser unerwünschte Effekt ist, hängt davon ab, wie weit das Magnetfeld in die Kompensationsspule reicht.

Tatsächlich liefern auch diese Tonabnehmer teilweise eine erheblich geringere Ausgangsspannung, als ein normaler Single-Coil gleicher Größe. Der Grund dafür ist offensichtlich. Der Platz, der sonst für eine Spule zur Verfügung steht, muß jetzt für zwei Spulen reichen, von denen nur eine aktiv ist.

Geht man davon aus, daß zwischen beiden Spule rund 16% der Höhe für die Trennflächen der Wickelkörper und eventuelle Abschirmmaßnahmen verwendet wird, so steht für eine Spule nur jeweils 42% zur Verfügung. Man kann dann davon ausgehen, daß auch nur 42% der ursprünglichen Windungen auf die Wickelkörper aufgebracht werden können. Setzt man die Ausgangsspannung eines normalen Single-Coils gleich 1, so beträgt sie beim koaxialen Humbucker nur dann noch 0,42. Das entspricht einer Dämpfung von 7,5dB.

Unter der Annahme, daß das Feld der aktiven Spule um bis zu 25% in die Kompensationsspule reicht, so wird das Nutzsignal, bei identischen Spulen, noch einmal um rund 25% geschwächt. Insgesamt ist die Ausgangsspannung dann nur 0,315, was einer Dämpfung von 10dB entspricht.

Ergebnis:

Der koaxiale Humbucker mit feldloser Kompensationsspule liefert prinzipbedingt eine geringere Ausgangsspannung als ein vergleichbarer einzelspulgiger Tonabnehmer. Der Unterschied kann den Faktor 3 erreichen, was einer Abschwächung um 10dB entspricht.

Die geringe Lautstärke dieser Humbucker hat anfänglich dazu geführt, daß ihre Akzeptanz bei den Musikern nicht besonders groß war. Daneben hatten sie auch noch einen anderen Klang als die Single-Coils, was durch die unterschiedlichen Werte von Gleichstromwiderstand, Induktivität und Wicklungskapazität begründet ist.

Durch das Fehlen des Magneten in der Kompensationsspule hat diese auch eine geringere Induktivität als die aktive Spule. Damit sind beide Spulen elektrisch nicht identisch und es ergeben sich zwei unterschiedliche Resonanzen, was wiederum für einen etwas anderen „Klang“ sorgt.

Aus den eben dargestellten Zusammenhängen wird deutlich, daß es sehr wohl möglich ist, einen Humbucker im „Strat-“ oder besser „Single-Coil“-Format zu bauen. Allerdings ergeben sich prinzipbedingt ein paar Probleme, die der Verbesserung bedürfen. Dieses sind:

- Erhöhung der maximalen Ausgangsspannung.
- Änderung der Übertragungscharakteristik in Richtung „Single-Coil“.

Ob und wie man diese Verbesserungen erreichen kann, wird im folgenden Abschnitt diskutiert werden.

3.4 Verbesserungen am koaxialen Humbucker

Die weiteren Verbesserungen der in Bild 3-6 dargestellten Grundform des koaxialen Humbuckers haben alle das Ziel, die geringe Ausgangsspannung zu erhöhen und trotzdem eine möglichst vollständige Kompensation der Störungen zu erreichen. Etliche Hersteller haben, teils auch aus patentrechtlichen Gründen, unterschiedliche Ansätze verfolgt. Sehen wir uns einmal die verschiedenen Möglichkeiten an:

1. Es werden mehr Windungen auf die Spulen gewickelt.
2. Es werden stärkere Magnete eingesetzt.
3. Der Verlauf und die Form des Magnetfeldes wird verändert.
4. Die beiden Spulen werden gegeneinander abgeschirmt.

Jede dieser vier Möglichkeiten der Manipulation hat bestimmte Vor- und Nachteile, die nun ein wenig eingehender beleuchtet werden sollen.

3.4.1 Erhöhung der Windungszahl

Spulen mit größerer Windungszahl N einzusetzen, ist eine einfache Möglichkeit, um die mögliche Spannungsabgabe eines Tonabnehmers zu erhöhen. Allerdings steigen damit ebenso die Induktivität und der Gleichstromwiderstand. Auch die Kapazität wird dadurch beeinflusst. Sie steigt in der Regel ebenfalls an. Bekannterweise, verändert sich durch diese Maßnahme die Übertragungscharakteristik des Tonabnehmers. Seine Resonanzfrequenz wird geringer und auch die Ausprägung der Resonanzspitze ist kleiner.

Vielen Musikern kommt der etwas „mittigere“ Klang solcher Tonabnehmer sehr entgegen, da sie bei der Übersteuerung eines Röhrenverstärkers besser klingen. Durch den beengten Platz mußte auch dünnerer Draht für die Wicklung verwendet werden, was den Gleichstromwiderstand zusätzlich erhöht und damit die Resonanzspitze dämpft. Der „metallische“ und „glockige“ Klang einer „Stratocaster“ ist im Normalfall auf diesem Wege aber leider nicht zu erreichen.

3.4.2 Erhöhung der magnetischen Feldstärke

Stärkere Magneten sind eine weitere Möglichkeit, um die Lautstärke zu erhöhen. Allerdings treten jetzt zwei unerwünschte Nebeneffekte auf:

1. Das stärkere Feld beeinflusst den Schwingungsverlauf der Saite, was zu Obertonverschiebungen führen kann. Dieses Verhalten ist als „Stratitis“ bekannt. In der Folge muß man den Abstand zur Saite vergrößern, was wiederum die Lautstärke verringert.
2. Das stärkere Feld reicht jetzt auch weiter in die Kompensationsspule, wodurch die unerwünschte Dämpfung vergrößert wird.

Vermutlich wird die Erhöhung der magnetischen Feldstärke alleine nicht das gewünschte Mehr an Ausgangsspannung liefern.

3.4.3 Geänderte Form des Magnetfeldes

Einige Hersteller haben sich für ihre koaxialen Humbucker bei einem Single-Coil für die Fender „Jaguar“ bedient (US-Pat. 3,236,930). Hier wird das Magnetfeld durch seitliche Bleche aus Stahl oder Weicheisen von der Unterseite des Tonabnehmers nach oben geführt.

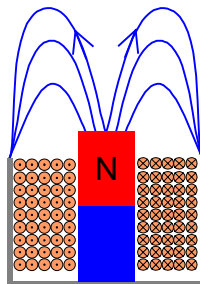


Bild 3-7: Single-Coil mit magnetischen Führungsblechen

Durch diesen Trick verlaufen nur noch wenige Feldlinien unterhalb der Spule und dann nach oben. Sie werden im Bild nicht mehr dargestellt. Die Bleche „führen“ quasi den Südpol nach oben. Der Verlauf des Magnetfeldes wird dabei massiv verändert. Die magnetische Flußdichte über dem Tonabnehmer wird vergrößert und damit erhöht sich auch die maximal mögliche Spannungsabgabe. Allerdings steigt damit auch die Gefahr des Auftretens von Obertonverschiebungen. Insgesamt wird die Schwingung der Saiten stärker vom Tonabnehmer beeinflusst werden.

Nun wird sich manch einer fragen, warum die Feldlinien von den Blechen geführt werden können? Die Erklärung dafür liefert die sogenannte Permeabilitätszahl μ_r . Zwischen der Ursache des Magnetfeldes, der sogenannten magnetischen Erregung H , und der magnetischen Flußdichte B besteht folgender Zusammenhang:

Definition:

Die magnetische Flußdichte B ist der magnetischen Erregung H proportional:

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{H}$$

Formel 3-3: Magnetische Flußdichte und Erregung im materiefreien Raum

Beide Größen sind Vektoren, sie haben daher einen Betrag und eine Richtung. Dabei hat die Flußdichte die gleiche Richtung, wie die Erregung.

Definition:

Die Proportionalitätskonstante zwischen magnetischer Flußdichte B und der Erregung H heißt magnetische Feldkonstante oder Induktionskonstante. Sie wird häufig auch als absolute Permeabilität bezeichnet.

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$$

Formel 3-4: Absolute Permeabilität

Formel 3-3 gilt allerdings nur für den sogenannten materiefreien Raum. Da der Einfluß der Luftmoleküle verschwindend gering ist, kann auch eine Luftspule so betrachtet werden.

Wenn der Raum in der Spule jedoch mit Materie ausgefüllt ist, so ist festzustellen, daß sich die magnetische Flußdichte gegebenenfalls verändert.

Definition:

Die magnetische Flußdichte B in Materie ist der magnetischen Erregung H proportional:

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \vec{H}$$

Formel 3-5: Magnetische Flußdichte und Erregung in Materie

Die zusätzliche Proportionalitätskonstante heißt Permeabilitätszahl.

Mit Hilfe von Formel 3-3 kann man jetzt die Permeabilitätszahl definieren:

Definition:

Der Quotient aus der magnetischen Flußdichte B in Materie und der Flußdichte B_0 ohne Materie bei konstanter Erregung H wird als Permeabilitätszahl oder relative Permeabilität μ_r bezeichnet.

$$\mu_r = \frac{B}{B_0}$$

Formel 3-6: Permeabilitätszahl

Die Permeabilitätszahl ist für viele Stoffe eine Konstante. Eine Ausnahme bilden ferromagnetische Stoffe wie zum Beispiel Eisen. Hier hängt μ_r von der vorgenommenen Magnetisierung ab.

Die Vergrößerung der magnetischen Flußdichte ist so zu erklären, daß durch die Materie zusätzliche Dipole in das Feld kommen. Damit steigt quasi die magnetische „Leitfähigkeit“. In der angloamerikanischen Literatur wird in diesem Zusammenhang häufig von einer „Flußimpedanz“ gesprochen.

Stellt man sich einmal vor, daß die magnetischen Feldlinien, genau wie der elektrische Strom, immer den kürzesten und leichtesten Weg nehmen, so ist einsehbar, daß der Weg durch die Führungsbleche einfacher und kürzer ist.

3.4.4 Magnetische Abschirmung der Spulen

DiMarzio hat bei seinen koaxialen Humbuckern der Serie „Virtual Vintage“, „HS-1“, „HS-2“ und „HS-3“ den Trick von der „Jaguar“ übernommen. Wurden die Bleche bei der „Jaguar“ dazu benutzt, um die magnetische Flußdichte über dem Tonabnehmer zu vergrößern und damit die mögliche Spannungsabgabe zu erhöhen, war hier die abschirmende Wirkung in Richtung der Kompensationsspule ein ebenso wichtiger Effekt.

DiMarzio beschreibt im US-Patent 4,442,749, neben Konstruktionen mit einer Kompensationsspule ohne Magnet, auch solche mit durch beide Spulen reichenden Magneten. Sehen wir uns als erstes die Version mit einem Magneten in der aktiven Spule an:

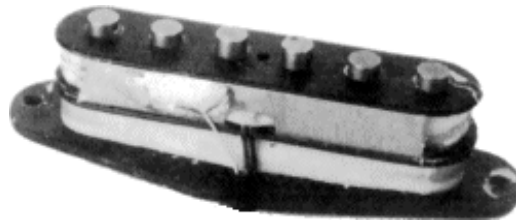


Bild 3-8: Koaxialer Humbucker von DiMarzio

Ausgehend von Bild 3-6 wurde die aktive Spule, wie in Bild 3-7, in einer U-förmigen Abschirmung untergebracht. Da jetzt nur noch sehr wenige Feldlinien des Nutzsignals in die untere Spule reichen, wird das Nutzsignal nicht mehr so stark gedämpft, die Flußdichte über den Tonabnehmer wird erhöht und er kann eine größere Spannung abgeben.

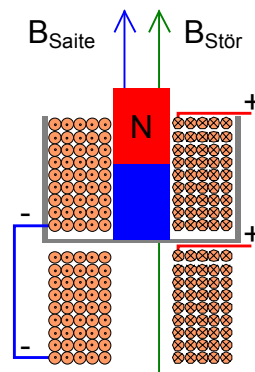


Bild 3-9: Koaxialer Humbucker mit U-förmigem Führungsblech nach DiMarzio

In Bild 3-8 ist das Führungsblech schwach an der oberen Spule zu erkennen. Interessanterweise wurde es mit einem Draht verbunden. Vermutlich wird das Blech damit auf Masse gelegt und soll so zusätzlich als Abschirmung gegen elektrische Störungen dienen.

Mit diesem Konzept kann ein wesentliches Problem, nämlich die geringe Ausgangsspannung, verbessert werden. Allerdings habe beide Spulen, bedingt durch das Fehlen des Magnetes in der Kompensationsspule, unterschiedliche Induktivitäten. Auch wenn nur die obere Spule aktiv ist, wirken sich die elektrischen Eigenschaften der unteren Spule aus. Es bilden sich zwei Resonanzfrequenzen aus.

Wenn es gelingt, beide Spulen auch elektrisch identisch zu machen, wäre, wie beim Vorbild Single-Coil, nur eine Resonanzfrequenz mit einer größeren Güte möglich.

Kommen wir nun zu den Konstruktionen mit zwei geteilten oder einem durchgehenden Magneten in beiden Spulen. Hier gibt es insgesamt vier verschiedene Möglichkeiten, die von verschiedenen Herstellern angewendet werden.

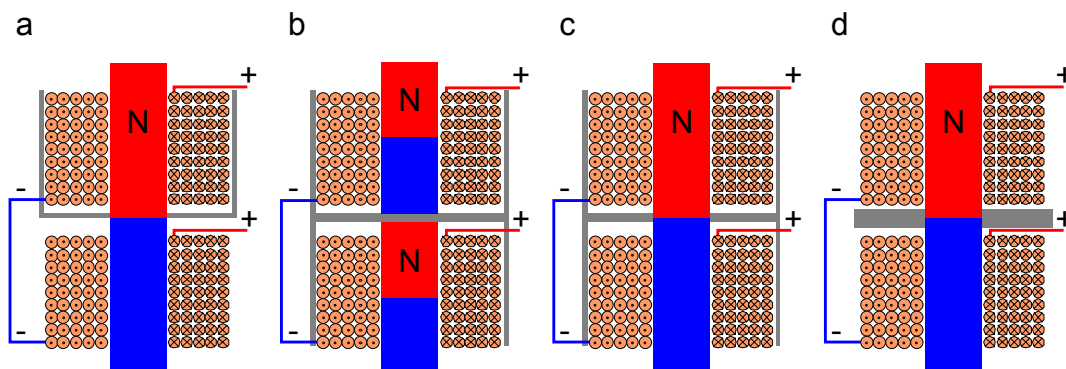


Bild 3-10: Koaxialer Humbucker mit Führungsblechen und Abschirmplatte nach DiMarzio, Kinman und Fender

Alle Variationen ermöglichen es, jetzt auch elektrisch gleiche Spulen zu realisieren, da sich in beiden Spulen ein Dauermagnet befindet und sich somit, bei gleicher Wicklungszahl N , in beiden Spulen eine identische Induktivität ergibt.

Die Variante (a) wird von DiMarzio im US-Patent 4,442,749 beschrieben. Die Feldlinien des Nordpols werden durch die Abschirmplatte und die seitlichen Bleche nach oben geführt. Durch die Enden der Abschirmbleche werden quasi zwei neue Südpole in Saitennähe erzeugt.

Der Australier Christopher Kinman beschreibt im US-Patent 5,834,999 die Varianten (b) und (c). Der wesentliche Unterschied zu (a) besteht in der Einführung einer zusätzlichen Abschirmung mit Führungsblechen für die untere Spule. Dadurch werden beide Spulen sowohl magnetisch als auch induktiv sehr gut voneinander entkoppelt.



Bild 3-11: Koaxialer Humbucker von Kinman

Im US-Patent 6,291,759 legt Fender dar, daß in der Mitte eines Dauermagneten eine sogenannte „neutrale Zone“ existiert. Montiert man die magnetische Abschirmplatte so, daß ihre Achse mit der Mitte des Magneten zusammenfällt, so wird der obere Teil der Platte nur von den vom Nordpol ausgehenden Feldlinien durchlaufen. Entsprechendes gilt natürlich auch für die Feldlinien des Südpols, die im unteren Teil der Platte laufen. Die Platte „führt“ also auch die Feldlinien. Nach diesem Prinzip (d) sind die Fender „Noiseless“ aufgebaut. Die von Fender gelieferte Erklärung der Abschirmung läßt sich für alle drei Varianten anwenden.

Vergleicht man die Konstruktionen von DiMarzio, Kinman und Fender, so ist klar ersichtlich, daß jeder Hersteller im Grunde genommen das gleiche Ziel verfolgt: Magnetische Abschirmung der passiven Spule gegen Einflüsse des Nutzsignals, um die mögliche Ausgangsspannung des Tonabnehmers zu erhöhen. Das die Ausführung der Abschirmung dabei unterschiedlich ausfällt, wird patentrechtliche Gründe haben. Hier gab es auch schon entsprechende Streitigkeiten. Vergleicht man die Konstruktionen von DiMarzio und Kinman, ist das leicht vorstellbar.

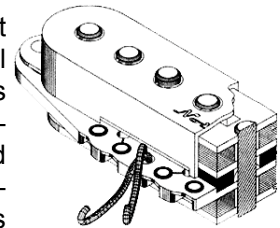


Bild 3-12: „Fender Noiseless“

Bezüglich der Abschirmung scheint Kinman die effektivste Lösung gefunden zu haben. Seine koaxialen Humbucker sind letztendlich eine Weiterentwicklung der DiMarzio-Variante. Der Aufbau der „Noiseless“ ist, aus Sicht der Konstruktion, mehr mit einem originalen Strat-Tonabnehmer zu vergleichen. Vermutlich wird die Apertur auch eine vergleichbare Breite besitzen. An dieser Stelle dürfte sich das Fender-Konzept in seiner Auswirkung deutliche von DiMarzio und Kinman unterscheiden. Durch die Führungsbleche ist die Apertur mit Sicherheit kleiner, als die eines „echten“ Strat-Tonabnehmers.

Die bei diesen Konzepten erreichbare Ausgangsspannung scheint jedoch noch nicht ausreichend gewesen zu sein. Aus diesem Grund hat man bei DiMarzio mehr Windungen aufgebracht.

Der HS-3 hat zum Beispiel einen Gleichstromwiderstand von $24\text{k}\Omega$. Setzt man symmetrische Spulen voraus, so hat eine Spule dann $12\text{k}\Omega$, was rund das Doppelte eines Strat-Tonabnehmers ist. Nimmt man eine identische Geometrie der Spulen und eine gleiche Drahtdicke an, so könnte der HS-3 in etwa die doppelte Anzahl von Windungen haben, was eine doppelt so große Ausgangsspannung bedeuten würde.

Tatsächlich steht aber nicht der gleiche Raum für die Wicklung zur Verfügung und so kann man lediglich behaupten, daß mit dem erhöhten Gleichstromwiderstand des HS-3 auch eine Vergrößerung der möglichen Ausgangsspannung einhergehen müßte. Allein um die gleich Anzahl von Windungen auf der aktiven Spule unterzubringen, muß dünnerer Draht verwendet werden, was automatisch zu einer Erhöhung des Gleichstromwiderstandes führt.

Durch die größere Anzahl von Windungen erhöht sich jedoch auch die Induktivität. Beim HS-3 beträgt sie 3,6H (2,2H bei der „Stratocaster“). Entsprechend liegt die Resonanzfrequenz deutlich unter der eines normalen Stratocaster-Tonabnehmers. Er klingt damit nicht mehr metallisch, sondern eher wärmer und brillant.

Fender setzt bei seinen „Noiseless“ auf stärkere Magnete und erhöht die Flußdichte um gut 60%, um die Permeabilitätszahl zu verringern. Damit sind diese Tonabnehmer sehr anfällig für Stratitis, bleiben mit einer Induktivität von 2,5H klanglich aber gut in der Nähe des einzelspuligen Vorbildes.

3.5 Koaxialer Humbucker mit gegenphasigen Magneten

Der Australier David George Devers beschreibt 2005 im US-Patent 6,846,981 eine Konstruktion mit gegenphasig gepolten Magneten.

Im Grunde genommen liegen jetzt die gleichen Verhältnisse vor, wie beim parallelen Humbucker. Die Spule sind gegenphasig in Reihe geschaltet und die Magnete in den Spulen sind ebenfalls gegenphasig. Folglich sind beide Spulen in der Lage ein Nutzsignal zu liefern.

Wie das jedoch genau funktionieren soll, wird im Patent nicht ganz klar. Die durch die Saitenschwingung erzeugte Änderung der magnetischen Flußdichte soll sich angeblich auch auf das Magnetfeld der unteren Spule übertragen. Damit ergibt sich auch hier eine Änderung der Flußdichte, die zu einer Induktionsspannung führt. Da ein Hinweis auf unterschiedliche Wicklungszahlen der beiden Spulen fehlt, muß man von zwei identischen Spulen ausgehen. Eine vollständige Kompensation der Störung bedingt dann zwingend, daß die Flußdichteänderung in beiden Spulen identisch sein muß. Das nächste Bild zeigt das Prinzip:

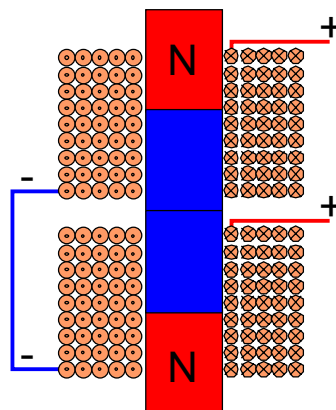


Bild 3-13: Koaxialer Humbucker mit gegenphasigen Magneten

Grundsätzlich stellt diese Bauform des koaxialen Humbuckers die ideale Lösung aller bisher angeführten Probleme dar:

- Es ist eine vollständige Kompensation der eingestreuten magnetischen Störfelder möglich.
- Die in Bild 3-1 dargestellten Frequenzauslöschungen beim parallelen Humbucker treten nicht auf.
- Die Konstruktion kann prinzipiell die gleiche Ausgangsspannung liefern, wie ein vergleichbarer einzelspuliger Tonabnehmer.
- Auf stärkere Magnete, magnetische Abschirmungen oder Führungsbleche kann verzichtet werden. Damit ist der magnetische Einfluß des Tonabnehmers auf die Saitenschwingung geringer.
- Eine größere Windungszahl zur Erhöhung der Ausgangsspannung ist nicht erforderlich.
- Die magnetische Apertur entspricht der eines vergleichbaren Single-Coils.

Der koaxiale Humbucker nach Devers ist also in der Lage, die gleiche Übertragungscharakteristik wie ein einzelspuliger Tonabnehmer zu liefern ohne Einbußen bezüglich der Höhe der Ausgangsspannung hinnehmen zu müssen.

Bei so viel Licht bleibt natürlich der Schatten auch nicht aus und so hat auch diese Konstruktion ein paar Nachteile:

1. Da sich die Magnete in beiden Spulen abstoßen, müssen sie mechanisch in ihre Position gezwungen werden. Das kann durch Einkleben oder Einschrauben der Magnete geschehen. Zusätzlich müssen die beiden Wickelkörper mit Hilfe von Klebstoff oder Schrauben gegeneinander fixiert werden. An den Aufbau des Tonabnehmers sind also erhöhte mechanische Anforderungen zu stellen.
2. Durch die gegeneinander gerichteten Magnetfelder können die Magnete mit der Zeit ihre Feldstärke verlieren. Von diesem Problem sind besonders AlNiCo-Magnete betroffen. Sie können zwar ein starkes Magnetfeld aufnehmen, jedoch ist dieses Feld nur schwach im Magnet verankert und kann durch entmagnetisierende Einflüsse leicht geschwächt werden. Ein Tonabnehmer dieser Konstruktion „altert“ also automatisch und wird mit der Zeit ein immer kleineres Ausgangssignal liefern. Aus diesem Grunde ist von der Verwendung von AlNiCo abzuraten! Keramische Magnete haben diesbezüglich eindeutig die besseren Eigenschaften.

Die Schwächung der Magnete kann verringert werden, indem Pole aus ferromagnetischem Material (z.B. Eisenkerne) zur Trennung der beiden Magnete eingesetzt werden. Das nächste Bild verdeutlicht das.

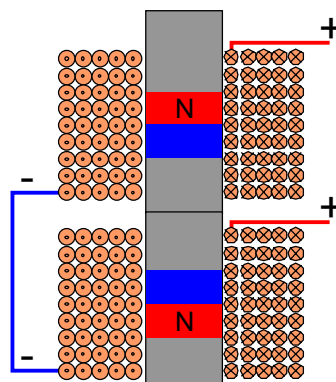


Bild 3-14: Trennung der Magnete durch zusätzliche Eisenkerne

Zur Zeit ist mir kein Hersteller bekannt, der Tonabnehmer gemäß diesem Patent anbietet. Ob und wie sich diese Variante in der Praxis bewährt, muß sich in der näheren Zukunft erst noch zeigen.

3.6 Weitere Bauformen des koaxialen Humbuckers

1975 beschreibt Willi Lorenz Stich im US-Patent 3,916,751, einen koaxialen Humbucker, bei dem beide Spulen um 90° gedreht sind. Sie liegen also waagerecht. Beide Spulen sind gegenphasig in Reihe geschaltet und sitzen auf einem gemeinsamen Kern aus Weicheisen, in den als Schrauben ausgeführte Pole eingelassen sind. An den Enden des Kernes befinden sich jeweils zwei Magnete, die mit den gleichen Polen zueinander angeordnet sind. Man kann sich leicht vorstellen, wie der Verlauf der Magnetfeldlinien in etwa sein wird. Bemerkenswert ist, daß die Flußdichte des Nutzsignals in beiden Spulen jeweils eine entgegengesetzte Richtung hat. Vergleicht man diese Konstruktion mit dem parallelen Humbucker aus Bild 2-2, so muß man zu der Erkenntnis gelangen, daß neben der Brummkompensation, auch eine Verdoppelung der Ausgangsspannung erreicht wird.

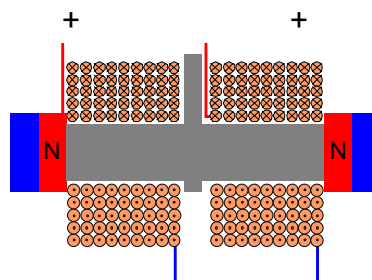


Bild 3-15: Prinzip des „liegenden“ Humbuckers

Dieses Prinzip wurde von Gibson in einigen Baßtonabnehmern verwendet. Der L-250 von Bill Lawrence aus Bild 1-32 dürfte ebenfalls auf dieser Konstruktion basieren.

4 Der geteilte Tonabnehmer

Vergleicht man den koaxialen Humbucker mit seinem „parallelen“ Verwandten, so muß man feststellen, daß er bezüglich Ausgangsspannung und Klang häufig einen Kompromiß darstellt. Andererseits ist mit der Verwendung eines parallelen Humbuckers prinzipbedingt eine Auslöschung bestimmter Frequenzen des Saitenspektrums verbunden, was sich auch klangverändernd auswirkt. Aber es geht auch anders:

4.1 Das Prinzip des geteilten Tonabnehmers

Man denke sich einfach einen Single-Coil-Tonabnehmer, der in der Mitte geteilt wird. Auf diese Weise erhält man zwei identische Spulen mit je drei - beim Baß zwei - Magneten. Das nächste Bild zeigt das Prinzip:

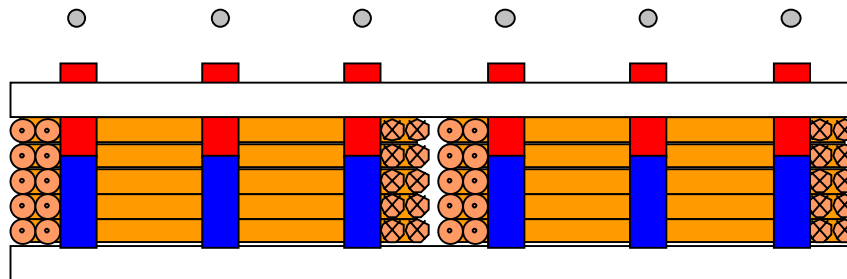


Bild 4-1: Prinzip des geteilten Tonabnehmers

Schaltet man die Spulen gegenphasig zusammen, so erhält man wieder einen Kompensationseffekt für von außen eingestreuete Magnetfelder. Im Grunde genommen ist der geteilte Tonabnehmer also nichts anderes, als eine Variation des parallelen Humbuckers. Allerdings erfaßt eine Spule jetzt nur die Hälfte der Saiten und jede Saite wird nur mit einem Pol abgetastet. In der Folge gibt es keine Frequenzauslöschungen. Eine Verdoppelung der Ausgangsspannung bei einer Reihenschaltung der Spulen findet allerdings auch nicht statt, da jede Spule nur einen Teil der Saiten überträgt.

Um das Verständnis zu erleichtern, betrachten wir jetzt nur die beiden inneren Magnete und nehmen an, daß sie eine eigene Wicklung besitzen (also ein geteilter Tonabnehmer für 2 Saiten).

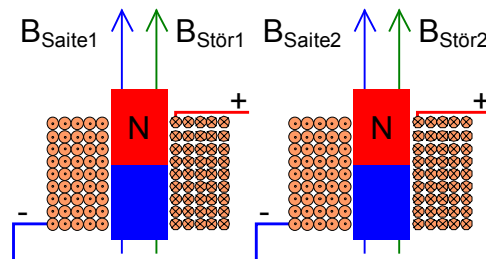


Bild 4-2: Geteilter Tonabnehmer mit magnetischer Störung

Jeder Magnet stellt für „seine“ Saite ein Magnetfeld zur Verfügung, in dem durch die Saitenschwingung eine Änderung der magnetischen Flußdichte erfolgt, die bekanntermaßen eine induzierte Wechselspannung zur Folge hat. Gleichzeitig erzeugt auch die eingestreuete Flußdichteänderung in beiden Spulen eine Induktionsspannung. Daraus läßt sich die folgende Formel für die gesamte induzierte Spannung ableiten:

$$u_{(t)} = -N \cdot \left(\frac{d\Phi_{\text{Saite1}}}{dt} - \frac{d\Phi_{\text{Saite2}}}{dt} \right) - N \cdot \left(\frac{d\Phi_{\text{Stör1}}}{dt} - \frac{d\Phi_{\text{Stör2}}}{dt} \right)$$

Unter der Annahme, daß beide Spulen sehr dicht beieinander montiert sind, gilt mit guter Näherung

$$d\Phi_{\text{Stör1}} = d\Phi_{\text{Stör2}}$$

Das Ergebnis entspricht daher der Erkenntnis aus Formel 2-1:

$$u_{(t)} = -N \cdot \left(\frac{d\Phi_{\text{Saite1}}}{dt} - \frac{d\Phi_{\text{Saite2}}}{dt} \right)$$

Die resultierende Kompensation des Nutzsignals ist in diesem Fall jedoch kein Nachteil, da die beiden Spulen die Schwingungen verschiedener Saiten übertragen. Die beiden Flußänderungen sind also sehr unterschiedlich und voneinander unabhängig. Folglich wird sich keine Verringerung der Lautstärke ergeben.

Ergebnis:

Ein in zwei Spulen unterteilter Tonabnehmer mit gegenphasiger Zusammenschaltung und mit m_1 und m_2 Magnetpolen für die einzelnen Saiten erzeugt die folgende Ausgangsspannung:

$$u_{(t)} = -N \cdot \left(\sum_{n=1}^{m_1} \frac{d\Phi_n}{dt} - \sum_{n=m_1}^{m_1+m_2} \frac{d\Phi_n}{dt} \right)$$

Formel 4-1: Induktionsspannung eines geteilten Tonabnehmers

Da die einzelnen Teilspannungen voneinander unabhängig sind, ergibt sich keine Verringerung der Lautstärke der einzelnen Saiten.

Eingestreute magnetische Flußänderungen werden vollständig kompensiert.

Aus diesem Ergebnis kann man schließen, daß auch auf diese Weise ein brummkompensierter Tonabnehmer im Format eines Single-Coil gebaut werden kann.



Bild 4-3: Geteilter Tonabnehmer im Strat-Format

Das Konzept scheint ideal, aber aus der Tatsache, daß sich diese Form der Tonabnehmer nicht auf breiter Basis durchgesetzt hat, läßt sich schließen, daß wohl doch das eine oder andere Problem auftritt.

4.2 Problematische Interaktion der Spulen

Da die beiden Spulen aus Bild 4-2 in der Regel dicht zusammen liegen, reicht das Feld des einen Magneten zum Teil bis zur anderen Saite. In der Folge erzeugt diese Saitenschwingung in dieser Spule auch eine Änderung der Flußdichte, die eigentlich unerwünscht ist. Neben diesem Effekt, erzeugt die Flußdichteänderung des einen Magnetfeldes auch eine Induktionsspannung in der anderen Spule. Generell kann man also sagen, daß die Flußänderung in einer Spule immer von beiden Saitenschwingungen abhängt. Wir nehmen jetzt nur mal an, daß auch die zweite Saite eine Flußänderung in der Spule erzeugt und vernachlässigen weitere Effekte. Dann ist die Induktionsspannung

$$u_{(t)} = -N \cdot \left(\frac{d\Phi_{\text{Saite1}}}{dt} + \alpha \cdot \frac{d\Phi_{\text{Saite2}}}{dt} - \frac{d\Phi_{\text{Saite2}}}{dt} - \alpha \cdot \frac{d\Phi_{\text{Saite1}}}{dt} \right)$$

Daraus wird dann

$$u_{(t)} = -N \cdot (1 - \alpha) \cdot \frac{d\Phi_{\text{Saite1}}}{dt} + N \cdot (1 - \alpha) \cdot \frac{d\Phi_{\text{Saite2}}}{dt}$$

Formel 4-2: Spuleninteraktion eines geteilten Tonabnehmers

Dabei ist α ein Faktor zwischen 0 und 1, der angibt, wie stark der Einfluß der Saiten auf die jeweils andere Spule ist. Auch wenn diese Rechnung nur eine Abschätzung sein kann, um den auftretenden Effekt zu verstehen, liegt die zu ziehende Schlußfolgerung auf der Hand: Der Tonabnehmer besitzt bei den beiden inneren Polen eine „tote“ Stelle. Besonders beim sogenannten „Bending“ der Saiten tritt dieser Effekt störend in Erscheinung.

Bedingt durch die Tatsache, daß die eine Hälfte der Saiten bei der Umwandlung invertiert wird, entspricht die Induktionsspannung nicht dem tatsächlichen Schwingungsverlauf der Saiten. Das kann für einzelnen Obertöne der beiden Saiten zu Auslöschungen oder Verstärkungen führen. Dieses Problem wird auch im US-Patent 6,846,981 von David George Devers als Nachteil der geteilten Tonabnehmer beschrieben (siehe 3.5).

Desweiteren kann man diese erzwungene Phasendrehung auch als Laufzeitdifferenz zwischen den beiden Saitengruppen auffassen, die unser Ohr durchaus registrieren kann. Daraus kann sich gegebenenfalls ein anderes klangliches Empfinden ergeben, daß im Hinblick auf die originalen Schwingungen als „falsch“ bezeichnet werden muß.

Dreht man jetzt, wie beim parallelen Humbucker, einen Magneten um, so sind beide Saitengruppen wieder in Phase. Allerdings erhält man so jetzt ein zu Formel 4-2 entgegengesetztes Verhalten:

$$u_{(t)} = -N \cdot (1 + \alpha) \cdot \frac{d\Phi_{\text{Saite1}}}{dt} - N \cdot (1 + \alpha) \cdot \frac{d\Phi_{\text{Saite2}}}{dt}$$

Die einzelnen Teilspannungen vergrößern sich also. Wie stark der Effekt des α in der Praxis auftritt, ist von vielen Faktoren abhängig, von denen der Abstand der beiden beteiligten Magnetpole mit Sicherheit die größte Bedeutung hat. Je größer der Abstand ist, desto geringer wird der Einfluß des α sein.

Eine Schwächung dieses α -Effektes dürfte durch einen geringeren Abstand der beiden Magnete zu den Saiten möglich sein.

Um die Interaktion zuverlässig zu verhindern, gibt es aber eigentlich nur eine sinnvolle Möglichkeit: Die beiden Spulen müssen magnetisch gegeneinander abgeschirmt werden. Das könnte wieder durch den Einsatz von Führungsblechen erreicht werden. Vermutlich wird sich dann jedoch zwischen den beiden Spulen ein feldfreier Raum ergeben, der wiederum für eine „tote“ Stelle sorgt, wenn die Amplitude der Saitenschwingung ausreichend groß ist.

Ergebnis:

Beim geteilten Tonabnehmer treten immer gegenseitige Beeinflussungen der beiden inneren Pole auf. Je nach dem, ob die Magnete gleich- oder gegenphasig sind, ergibt sich eine Dämpfung oder eine Verstärkung.

Die Stärke dieses Effektes hängt vom Abstand der beiden Magnete und der Stärke der Magnetfelder ab.

Aufgrund der Dimensionen ist der Effekt der Interaktion bei einer Elektrogitarre größer als bei einem Elektrobaß.

Tatsächlich sind die meisten geteilten Tonabnehmer mit gegenphasig gepolten Magneten ausgerüstet,

Aus Platzgründen und nicht zuletzt auch um die Interaktion zu verringern, sind die Spulen der geteilten Tonabnehmer häufig versetzt angeordnet. In der Elektrogitarre wurden diese Konstruktionen allerdings selten eingesetzt. Diese Gitarren fanden keinen besonderen Anklang und blieben so die Ausnahme. Das Interaktionsproblem mag den Grund dafür geliefert haben.

Die bekannteste Anwendung von geteilten Tonabnehmern ist sicherlich der Fender „Precision“-Baß und seine Kopien. Hier sind die Abstände so groß, daß die Interaktion der beiden Spule keine große Rolle mehr spielt.



Bild 4-4: Geteilter Tonabnehmer des Precision-Baß

Wer aufmerksam ist, wird feststellen, daß jeder Teil des Tonabnehmers über vier Pole verfügt. Das wurde so gemacht, um die größere Amplitude der Baßsaiten besser erfassen zu können. Unter der Abdeckung finden sich nach wie vor die Konstruktion nach Bild 1-2a. Der Tonabnehmer des Jazz-Baß hat aus dem gleichen Grund die doppelte Anzahl von Polen.

Der amerikanische Tonabnehmerhersteller Lindy Fralin bietet seit einiger Zeit „Split-Singles“ im Format eines Humbuckers an, die sowohl mit festen Polen („Twangmaster“) als auch mit Schrauben („P-92“) verfügbar sind. Grundsätzlich handelt es sich hierbei um einen geteilten Tonabnehmer mit versetzter Anordnung wie in Bild 4-4, dessen beide Spulen in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht sind. In einigen Quellen werden diese Split-Singles auch als „Wide Range Humbucker“ bezeichnet, ein deutlicher Hinweis auf ihren potentiell helleren „Klang“.

Die Tonabnehmer sind mit AlNiCo 5 Magneten ausgestattet und verfügen nach Herstellerangabe über 8.000 bis 10.000 Windungen.



Bild 4-5: P-92 von Lindy Fralin

Vom Design her machen diese geteilten Tonabnehmer deutliche Anleihen beim Fender Humbucker. Man muß also darauf achten, sie nicht zu verwechseln. Sie dürfte, aufgrund der versetzten Anordnung der Spulen, etwas anders klingen als der Tonabnehmer in Bild 4-3.

5 Gemeinsam sind wir still! – RW/RP-Tonabnehmer

Da nicht jeder Gitarrist einen breiten Humbucker in seine Stratocaster einbauen wollte, um sich des Brummens zu entledigen, übertrug man das Prinzip des Humbuckers auf die Zusammenschaltung der Tonabnehmer. Dabei gibt es abermals zwei Möglichkeiten.

5.1 Ruhe durch zusätzliche Kompensation

Analog zum koaxialen Humbucker kann eine Kompensationsspule zusätzlich zu den Tonabnehmern in der Gitarre untergebracht werden. Sie muß dann gegenphasig in Reihe oder parallel mit den Tonabnehmern geschaltet werden. Bei einer Parallelschaltung wirkt die Kompensationsspule jedoch als Last für den Tonabnehmer und die gesamte Konstruktion ist dann nur noch halb so „laut“. Eine solche Kompensationsspule wird häufig auch als „Dummy“-Spule bezeichnet.

Dieses Prinzip der Brummkompensation wurde zum Beispiel in einigen Bässen von Alembic eingesetzt. Auf folgendes ist zu achten:

1. Die Kompensationsspule darf keine Magnete enthalten.
2. Sie muß baugleich und identisch mit den Spulen der anderen Tonabnehmer sein.
3. Die Achsausrichtung der Kompensationsspule muß mit denen der Tonabnehmerspulen übereinstimmen.
4. Die Kompensationsspule muß möglichst nahe bei den Tonabnehmern montiert sein.
5. Alle Tonabnehmer müssen gleich sein.

Weicht man von diesen Anforderungen ab, so ist die Kompensation nur unvollständig. Im schlimmsten Fall funktioniert sie gar nicht. Dieses Verfahren birgt jedoch mehrere Nachteile:

1. Da es heutzutage Mode ist, verschiedene Tonabnehmer in seiner Gitarre zu verwenden, kann die Kompensation nie vollständig sein, es sei denn, für jeden Tonabnehmer wird eine eigene angepaßte Kompensationsspule verwendet.
2. Aufgrund des Abstandes von Kompensationsspule und aktiver Spule ist die Kompensation in der Regel nicht vollständig.

3. Durch das Zusammenschalten mit der Kompensationsspule verändert sich die Resonanzfrequenz und ihre Ausprägung. Folglich verändert sich der „Klang“ des Tonabnehmers mit Kompensation. Bei einer Reihenschaltung wird die Resonanzfrequenz tiefer, bei der Parallelschaltung höher.
4. Eine Kompensationsspule kann immer nur einen Tonabnehmer kompensieren. Schaltet man mehrere Tonabnehmer mit dieser Spule zusammen, geht das zu Lasten der Störunterdrückung.

Da entsprechende Kompensationsspulen in der Regel nicht zu beschaffen sind, wurde dieses Verfahren nur in wenigen Instrumenten ab Werk eingebaut. Eine nachträglich Umrüstung ist daher schwierig.

Natürlich kann man auch einen normalen Tonabnehmer als Kompensationsspule „mißbrauchen“. Einen vierten Tonabnehmer für eine Stratocaster zu beschaffen, ist letztendlich nur eine Frage des Preises. Da dann auch die Magnete in der Spule vorhanden sind, haben alle Tonabnehmer die gleichen elektrischen Eigenschaften. Bei einer Reihenschaltung sinkt die Resonanzfrequenz dann um den Faktor $\sqrt{2}$, bei der Parallelschaltung erhöht sie sich um diesen Faktor und der „Klang“ wird etwas heller.

Allerdings muß man jetzt darauf achten, daß die Kompensationsspule mit ihren Magneten weit genug von den Saiten entfernt ist. Andernfalls ergeben sich ungewollte Auslöschungen des Nutzsignals. Durch die notwendige Entfernung zum eigentlichen Tonabnehmer, ist die eingestreute Störung in beiden Spulen leider nicht mehr identisch. Folglich leidet die Kompensation in ihrer Effizienz ein wenig. Wie stark es dann tatsächlich noch brummt, hängt von den tatsächlichen Verhältnissen ab. Eine vollständige Kompensation ist jedoch in jedem Fall ausgeschlossen!

Aufgrund der vorliegenden Verhältnisse, kann man eine mit Kompensationsspule ausgerüstete Elektrogitarre eigentlich nur als „brummunterdrückt“ bezeichnen. Möchte man sein Instrument wirklich brummfrei haben, so ist der Austausch der Tonabnehmer durch echte koaxiale Humbucker wesentlich sinnvoller.

5.2 Zwei Fliegen mit einer Klappe - RW/RP

Wenn man das Prinzip des parallelen Humbuckers generell auf die Zusammenschaltung von zwei Single-Coils überträgt, so ist es zumindest möglich, eben jene Kombinationen der Tonabnehmer brummfrei zu realisieren. Folgendes wird dazu benötigt:

1. Ein Tonabnehmer, der über eine umgekehrte Polarität der Magnete verfügt (Reverse Polarity).
2. Alle Tonabnehmer müssen bezüglich der Daten (Windungszahl, Magnete,...) gleich sein.

Weicht man vom letzten Punkt ab, so kann die Kompensation aus den schon bekannten Gründen nicht vollständig sein. Der Kompensationstonabnehmer muß wieder gegenphasig mit dem anderen Tonabnehmer zusammengeschaltet werden. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Verwendung sogenannter RW/RP-Tonabnehmer. Die Bezeichnung steht für „Reverse Wound / Reverse Polarity“. Diese Tonabnehmer werden dann gleichphasig angeschlossen, da die Phasendrehung schon „ab Werk“ durch eine umgekehrte Wickelrichtung der Spule realisiert wurde.

Viele Hersteller bieten ihre Single-Coils auch als RW/RP an. Für sich alleine haben sie die gleiche Übertragungscharakteristik wie ein vergleichbarer „normaler“ einzelspulgiger Tonabnehmer. Genau wie diese sind die RW/RP's auch anfällig für magnetische Einstreuungen.

Erst im Zusammenspiel mit ihren normalen Kollegen entfalten sie ihre beruhigende Wirkung. Im Gegensatz zur reinen Kompensationsspule erfüllen die RW/RP's also zwei Aufgaben. Erstens die Kompensation und zweitens die Wandlung der Saitenschwingung. Hier werden also tatsächlich zwei Fliegen mit einer Klappe erschlagen.

Aber auch hier gibt es ein paar Nachteile, die nicht verschwiegen werden sollen:

1. Aufgrund des Abstandes der beiden Tonabnehmer ist das Störfeld in beiden Spulen nicht zu 100 Prozent identisch. Dementsprechend kann die Kompensation nie vollständig sein.
2. Werden mehr als zwei Tonabnehmer zusammengeschaltet, ist die Kompensation wieder nicht vollständig, da der Anteil der Störungen aus den „normalen“ Tonabnehmern nun überwiegt. Generell kann man sagen, daß jeder RW/RP nur einen herkömmlichen Tonabnehmer kompensieren kann.

3. In einigen Gitarren gibt es einen „Out-of-Phase“-Schalter, der einen Tonabnehmer in seiner Polarität umdreht. In der Kombination mit einem RW/RP führt seine Benutzung in die „Katastrophe“. Jetzt wird das Nutzsignal kompensiert und die Gitarre wird sehr leise. Dafür brummt es aber um so mehr.

Das Verfahren ist also eher eine Art Kompromiß, da die einzelnen Tonabnehmer ja immer noch anfällig für magnetische Störungen sind. Daher ist auch hier die Verwendung von coaxialen Humbuckern eigentlich die bessere Variante.

Etlliche Hersteller bieten in ihren Elektrogitarren mit Single-Coils als Standard einen RW/RP-Tonabnehmer an. Als Musiker sollte man diesen Kompromiß nur eingehen, wenn der gewünschte Klang der Single-Coils nicht mit einem coaxialen Humbucker zu realisieren ist oder eine gegenphasige Kombination mit einem RW/RP explizit nicht benötigt wird!

6 Eine Spule brummt nicht – Der „Lace-Sensor“

Die bisher gezeigten einzelspuligen Tonabnehmerkonzepte zeigten alle eine mehr oder weniger starke Nebengräschempfindlichkeit, die nur durch den Einsatz einer zweiten Spule reduziert werden konnte. Das es auch anders geht, wurde 1987 von Donald A. Lace gezeigt. Er verwendete nur eine Spule, kombinierte sie jedoch trickreich mit mehreren Magneten und Führungsblechen und erreichte so auch eine signifikante Nebengeräuschdämpfung. Diese als „Lace-Sensor“ bekannt gewordenen Tonabnehmer wurden am 7. März 1989 in den USA unter der Nummer 4,809,578 patentiert und sind Grundlage weiterer Entwicklungen.

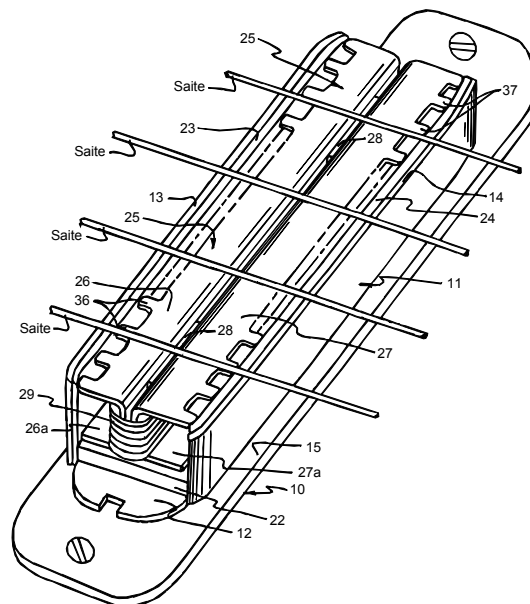


Bild 6-1: Aufbau eines Lace-Sensors

Diese neuen Tonabnehmer waren offensichtlich so gut, daß sie eine ganze Zeit sogar von Fender in der Stratocaster eingesetzt wurden.

7 Spezielle Bauformen

7.1 Quad Rails

Der amerikanische Hersteller Kramer bietet eine ganz besondere Tonabnehmerbauform an: Die sogenannten „Quad-Rails“. Es handelt sich dabei um zwei parallele Humbucker im Strat-Format, die wiederum parallel auf einer gemeinsamen Grundplatte montiert werden, was zu den Abmessungen eines normalen Humbucker führt. Die Anschlüsse der Spulen sind getrennt herausgeführt, sodaß beliebige Zusammenschaltungen möglich sind. Das Ziel der Entwicklung war es, einen Tonabnehmer zu entwerfen, der für Hard-Rock mit großen Verzerrungen einsetzbar ist, aber trotzdem auch die Übertragungseigenschaft eines Single-Coil brummfrei liefern kann.



Bild 7-1: Quad Rails von Kramer

Theoretisch sind insgesamt 156 Kombinationen aller Spulen möglich. In der Praxis machen jedoch nur jene Kombinationen Sinn, die eine vollständige Brummunterdrückung liefern. Wenn man alle Möglichkeiten in einer Tabelle erfaßt, findet man 20 solcher Kombinationen.

Setzt man zwei dieser Tonabnehmer ein, so wird die Anzahl der möglichen und sinnvollen Kombinationen schier unendlich (440). Angesichts dieser Vielfalt wird man sich in der Praxis auf nur wenige Kombinationen beschränken, um den Aufwand für die notwendigen Schalter zu reduzieren.

7.2 Hex-Pickups

Neben den bisher besprochenen Konstruktionen existieren auch noch Bauformen mit sechs oder zwölf einzelnen Spulen. Diese hexaphonischen Tonabnehmer werden immer dann eingesetzt, wenn es darum geht, die Schwingungen der Saiten getrennt abzunehmen und zu verarbeiten. Die Ansteuerung eines Gitarrensynthesizers ist dafür ein gutes Beispiel. Im Jahre 2003 hat Gibson eine digitalisierte Version der „Les Paul“ vorgestellt. Neben den beiden Humbuckern findet sich in Stegnähe ein hexaphonischer Tonabnehmer.



Bild 7-2: Hex-Pickup der „Gibson Digital“

Zusammen mit 6 unabhängigen Analog-Digital-Wandlern, eröffnet dieses Instrument die Möglichkeit, die Saiten getrennt mit Effekten zu versehen und zu verstärken.



Bild 7-3: Hex-Pickups für das VG-8-System

Für das von Roland eingeführte VG-8-System gibt es mittlerweile von verschiedenen Herstellern Produkte. Als Grundlage des Sound Processing dient auch wieder ein Hex-Pickup.

Die Existenz von zwei Polen pro Saite legt den Verdacht nahe, daß es sich bei diesem Tonabnehmer um ein aus Humbuckern bestehendes System handeln könnte, was aus Sicht der Brummfreiheit Sinn machen würde.

Allerdings sind die Hex-Pickups keine generell neue Erfindung, denn schon 1948 beschrieb Leo Fender im US-Patent 2,455,575 eine Variante des „Horseshoe Pickups“ mit 6 einzelnen Spulen.

7.3 Aktive Tonabnehmer

Seit einigen Jahren werden vermehrt auch auf der Elektrogitarre sogenannte aktive Tonabnehmer verwendet. Hierbei handelt es sich grundsätzlich um eine Kombination eines passiven Systems der bekannten Bauarten mit nachgeschaltetem Verstärker und Filter. Es gibt sie sowohl als Single-Coil, als auch als Humbucker. Durch dieses Konzept lassen sich sehr störungsarme Tonabnehmer mit flexibler Übertragungscharakteristik erzeugen. Hier ein Beispiel von Shadow mit einen 5-Band Equalizer:



Bild 7-4: Aktiver Tonabnehmer mit EQ (Shadow EQ-5)

Alle aktiven Tonabnehmer haben die Gemeinsamkeit, daß sie zum Betrieb eine Spannungsquelle benötigen, eine Tatsache, die immer noch viele Gitarristen vom Einsatz dieser Sensoren abhält. Tatsächlich stellt der Einsatz einer Batterie in der Elektrogitarre nicht wirklich ein Problem dar und klanglich sind diese Tonabnehmer nicht besser oder schlechter als ihre passiven Brüder. Wenn es schlecht klingt, liegt das grundsätzlich nicht am Konzept, sondern am Entwickler!

Probleme bereiten die aktiven Tonabnehmer lediglich in Kombination mit passiven Varianten. Hier sind aufgrund der unterschiedlichen Impedanzniveaus ein paar Besonderheiten zu beachten, auf die an dieser Stelle aber nicht weiter eingegangen werden soll.

8 Zusammenfassung

Nach einer Zeit von nun mehr 70 Jahren darf die Entwicklung des elektromagnetischen Tonabnehmers aus der Sicht als Wandler quasi als abgeschlossen betrachtet werden. Auch wenn es immer wieder Hersteller gibt, die mit „neuen“ Produkten auf den Markt drängen, stellt man bei genauerem Hinsehen fest, daß doch nur wieder eine Variation der schon bekannten Konstruktionen vorliegt. Man kann die Entwicklung der Tonabnehmer grob in drei Schritten darstellen:

1. Einführung und Verwendung des einzelspuligen Tonabnehmers (Single-Coil) bis 1955. Diese Zeit ist durch eine zunehmende Verkleinerung der Tonabnehmer gekennzeichnet. Zusätzlich kam es den Herstellern auch darauf an, ein möglichst einfaches Konzept zu verwenden, um die Produktionskosten so gering wie möglich zu halten. Aus dieser Zeit haben im Grunde genommen nur die Bauformen von Fender (Telecaster, Stratocaster) und Gibson (P-90) am Markt überlebt. Format und Konstruktion von Fender haben dabei einen Standard definiert, der durch seine Einfachheit besticht. Trotz unterschiedlicher Konzepte der einzelnen Hersteller konnte das Kernproblem, die Nebengeräuschempfindlichkeit, allerdings nicht entscheidend verbessert werden.
2. Einführung und Verwendung des doppelspanuligen Tonabnehmers (Humbucker) seit 1955. Mit dem Humbucker konnte Gibson den zweiten Standard in Sachen Tonabnehmer definieren, auf den die meisten heute erhältlichen doppelspanuligen Wandler basieren. Bedingt durch die Reihenschaltung von zwei Spulen konnte die grelle Klangfarbe der Single-Coils jedoch nicht erreicht werden, was anfänglich zu Akzeptanzproblemen bei den Musikern führte. Mit der 1962 eingeführten Modifikation wurde der „Klang“ zwar etwas heller, blieb aber trotzdem hinter dem direkteren Verhalten der Einzelspuler zurück. Lediglich der „FilterTron“ von Gretsch bildete hier eine Ausnahme.
3. Einführung und Verwendung des koaxialen Humbuckers seit 1969. Die prinzipbedingte geringe Ausgangsspannung wurde im Zuge der weiteren Entwicklung kontinuierlich verbessert. Heute sind Sensoren verfügbar, die eine akzeptable Ausgangsspannung aufweisen und trotzdem die Übertragungscharakteristik eines Stratocaster- oder Telecaster-Tonabnehmers bieten können.

Innerhalb der gesamten Zeit wurden immer wieder Veränderungen an den einzelnen Tonabnehmertypen vorgenommen, die hauptsächlich auf Grund zahlreicher Umstellung in der jeweiligen Produktion oder der Auswahl der verwendeten Materialien entstanden. Eine grundsätzliche Änderung des Wandlerprinzips erfolgte jedoch nicht.

Wie gezeigt wurde basiert die Umwandlung der mechanischen Saitenschwingung in eine elektrische Spannung einzig auf dem Induktionsgesetz. Dabei hat die Stärke des verwendeten Dauermagneten und die Anzahl der Windungen Einfluß auf die Höhe der Spannung.

Eine frequenzändernde Wirkung ist nicht vorhanden. Der einzige Einfluß auf die Amplitudenstatistik der übertragenen Saitenschwingung ist durch die Position des Tonabnehmers, der magnetische Breite (Apertur) einer Tonabnehmerspule und gegebenenfalls durch den Abstand der beiden Spulen eines parallelen Humbuckers gegeben. Diese Einflüsse definieren jeweils ein Kammfilter dessen Kammfrequenzen nur von der Mensur, der Grundfrequenz der schwingenden Saite und der Position und Apertur der Spulen abhängig sind. Entsprechend arbeitet das Wandlerprinzip tatsächlich „klangneutral“.

Diese Erkenntnis scheint in einem krassen Gegensatz zur Realität zu stehen, gibt es doch sehr viele baugleiche Tonabnehmer mit ganz unterschiedlichem „Klang“. Die Begründung dafür ist jedoch einzig in den elektrischen Eigenschaften und des daraus resultierenden Übertragungsverhaltens der verschiedenen Tonabnehmer zu suchen.

Generell kann man sagen, daß jedes der hier vorgestellten Wandlerkonzepte, innerhalb bestimmter Grenzen, eine beliebige Übertragungsscharakteristik annehmen kann. Aus der Tatsache, daß der prominenteste Vertreter der Single-Coils ursprünglich einen sehr grellen, metallischen Klang hatte und sein Gegenspieler aus dem doppelspanuligen Lager eher weich bis brilliant „klingt“, darf nicht geschlossen werden, daß es nicht auch anders herum sein kann!

Als Beweis sei hier auf die vielen Einzelspuler mit wesentlich mittigerer Performance von Seymour Duncan, DiMarzio und anderen Herstellern hingewiesen. Schaltet man bei einem parallelen Humbucker die Spule nicht in Reihe sondern parallel zusammen, so erreicht man die doppelte Resonanzfrequenz und gelang so klanglich in die Regionen der Stratocaster-Tonabnehmer. Als weiteres Beispiel sei hier auch der „FilterTron“ mit seiner hohen Resonanzfrequenz erwähnt. Es kommt eben nur darauf an, wie man es macht!

9 Literatur

9.1 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	06.4.2005	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.

9.2 Patente

Folgende Patente wurden zur Recherche für diesen Artikel verwendet:

Titel	Datum	US-Pat.	Autor	Inhalt
[3] Electrical stringed musical instrument	10.08.1937	2,089,171	George D. Beauchamp	Elektrogitarre und Tonabnehmer
[4] Magnetic pick-up for musical instruments	31.07.1939	2,145,490	George R. Miller	Tonabnehmer mit individuell einstellbaren Polen
[5] Electrical pickup for stringed musical instruments	01.09.1942	2,294,861	Walter L. Fuller	Beweglicher elektromagnetischer Tonabnehmer
[6] Pickup unit for instruments	07.12.1948	2,455,575	Clarence L. Fender	Horseshoe-Pickup
[7] Individual magnet adjustable pickup	30.09.1952	2,612,072	Harry De Armond	Magnetischer Tonabnehmer mit individuell einstellbaren Polen
[8] Pickup	30.06.1959	2,892,371	Joseph Raymond Butts	Filter-Tron-Patent
[9] Magnetic pick-up for stringed musical instrument	28.07.1959	2,896,491	Seth E. Lover	Grundlegendes Humbucker-Patent
[10] Electromagnetic pickup for electrical musical instruments	22.02.1966	3,236,930	Clarence L. Fender	Tonabnehmer mit magnetischen Führungsblechen
[11] Electrical pickup for a stringed musical instrument	04.11.1975	3,916,751	Willi Lorenz Stich	„Liegender“ Humbucker
[12] Electrical pickup for stringed instruments having ferromagnetic strings	17.04.1984	4,442,749	Lawrence P. DiMarzio	Koaxialer Humbucker
[13] Transducer for stringed musical instruments	10.11.1998	5,834,999	Christopher Ian Kinman	Koaxialer Humbucker
[14] Pickup for electric guitars, and method of transducing the vibration of the guitar strings	18.09.2001	6,291,759	William T. Turner	Koaxialer Humbucker
[15] Electromagnetic humbucker pick-up for stringed musical instruments	25.01.2005	6,846,981	David George Devers	Koaxialer Humbucker mit gegenphasigen Magneten

10 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 Plastikboxen 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 Produktionstechnikern und ist in dieser Funktion für die internationale Industrialisierung von integrierten digitalen Videoschaltungen verantwortlich.