

5.11 Tonabnehmer-Richtcharakteristik

Magnettonabnehmer sind vor allem für Saitenschwingungen empfindlich, die rechtwinklig zur Griffbrettoberfläche verlaufen. Hierbei pendelt die Saite zwischen Bereichen mit höherer und niedriger Magnetfeldstärke hin und her, woraus Flussänderungen in der Tonabnehmer-spule resultieren. Bei griffbrettparallelen Bewegungen schwingt die Saite in Bereichen mit annähernd gleicher Feldstärke, weshalb hierbei nur eine geringe Spannung induziert wird. Außer der Polarisationssebene der sich ausbreitenden Transversalwelle muss aber bei einigen Tonabnehmern (vor allem Humbucker) auch noch die Ausbreitungsrichtung beachtet werden.

5.11.1 Saiten-Polarisationsebene

Das in Abb. 5.11.1 dargestellte Richtdiagramm gibt Auskunft über die Abhängigkeit der Tonabnehmerspannung vom Winkel der Schwingungsebene. Zur Messung wurde hierzu eine D'Addario-Saite (PL-026, 0,66 mm Durchmesser) mit 85 Hz sinusförmig ausgelenkt; die Amplitude betrug 0,4 mm, die Distanz zwischen Magnetpol und Saite 2 mm, die Saite befand sich zentriert über dem Magnetpol (auf der Magnetachse) eines Telecaster-Stegtonabnehmers.

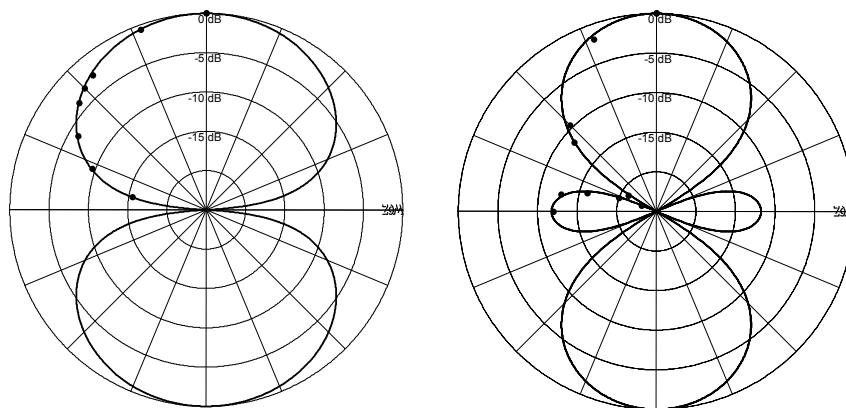


Abb. 5.11.1:
Richtdiagramm eines Magnettonabnehmers (Fender Telecaster, Steg). Der Kurvenzug gehört zur Modellrechnung, die Punkte zeigen Messwerte.
1. Harmonische (links),
2. Harmonische (rechts).

Über dem Zentrum des Magnetpols ergibt sich für die **1. Harmonische** eine kosinusförmige Winkelabhängigkeit: Maximale Empfindlichkeit bei griffbrettnormalen Schwingungen, vollständige Auslöschung bei griffbrettparallelen Schwingungen. Die Winkelabhängigkeit der **2. Harmonischen** zeigt eine Nullstelle bei 63° und ein Nebenmaximum bei 90° . Bei einem achsensymmetrischen Magnetfeld ergibt eine normal zur Symmetrieachse verlaufende, sinusförmige (und zentrierte) Schwingung einen Feldverlauf, der aufgrund der Symmetrie (gerade Funktion) nur gerade Potenzen der Reihenentwicklung enthalten kann, also neben einem hier unwichtigen Gleichanteil nur geradzahlige Harmonische aufweist. Dies ändert sich aber, sobald die Saite nicht mehr über der Magnetachse zentriert schwingt – sie kann ja durch Ziehen verschoben werden, oder wurde bereits bei der Herstellung der Gitarre außermittig platziert. **Abb. 5.11.2** zeigt Saitenpositionen einer American Standard Stratocaster (2002). Der Magnet-Achsabstand beträgt hierbei für alle drei Tonabnehmer einheitlich 10,4 mm. Da die Saiten aber nicht parallel, sondern divergierend vom Kopf zum Steg verlaufen, können gar nicht alle 6 Saiten zentriert über allen Magneten positioniert werden, und deshalb ist der Übertragungskoeffizient des Tonabnehmers nicht nur von der Schwingungsrichtung der Saite, sondern auch von der Saitenposition abhängig. Die in zwei Dimensionen verschoben werden kann.

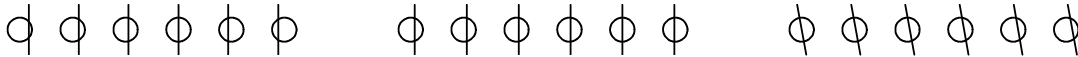


Abb. 5.11.2: Saitenpositionen über den Magnetpolen: Hals-, Mitte- bzw. Stegtonabnehmer (v. l. n. r.). Beim Stegtonabnehmer verlaufen die Saiten nicht rechtwinklig zur Tonabnehmer-Längsachse, sondern schräg.

Richtdiagramme wie in Abb. 5.11.1 gelten deshalb nur für den Einzelfall – eine Verallgemeinerung ist nur mit Einschränkungen möglich. Um die Abhängigkeit des Übertragungskoeffizienten von der Saitenposition zu erfassen, wurden verschiedene Tonabnehmer am Shakerprüfstand vermessen (**Abb. 5.11.3**). Die Saite wurde hierzu sinusförmig mit 85 Hz ausgelenkt und in konstantem Abstand über den Magnetpolen verschoben. Obwohl die Tonabnehmer von unterschiedlicher Bauart sind (Kap. 5.1 – 5.3), ergeben sich ähnliche Kurvenverläufe. Zwischen den einzelnen Tonabnehmern bestehen Unterschiede in der absoluten Empfindlichkeit (Lautstärke), und zusätzlich ist der Übertragungskoeffizient abhängig von der Saitenposition. Es überrascht nicht, dass direkt über einem Magnetpol der Spannungspegel am größten ist, und zwischen zwei Magnetpolen am kleinsten; dieser positionsabhängige Pegelunterschied beträgt beim Telecaster-Tonabnehmer 5dB, bei den anderen ist er etwas geringer. In den Abbildungen ist nur eine Hälfte jedes Tonabnehmers dargestellt, die Kurven sind symmetrisch zur Mitte, mit Ausnahme des Stratocaster-Tonabnehmers: Seine Magnetzyylinder ragen im Originalzustand unterschiedlich weit aus dem Tonabnehmergehäuse heraus (staggered magnets), wurden aber für diese Messung auf gleiche Höhe eingestellt.

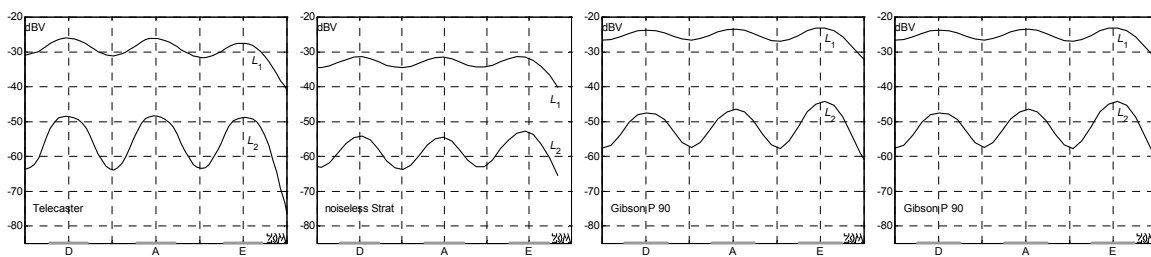


Abb. 5.11.3: Ortsabhängigkeit des Pegels der ersten bzw. zweiten Harmonischen, griffbrettnormale Saitenbewegung. 0,4 mm Amplitude, Saite/Magnetabstand 2mm, Shaker-Eigenverzerrungen kompensiert.

In **Abb. 5.11.4** sind entsprechende Ergebnisse für griffbrettparallele Saitenschwingung dargestellt. Hier werden neben prinzipiellen Gemeinsamkeiten auch deutlichere Unterschiede sichtbar. Allerdings darf man nicht der Versuchung erliegen, in diesen Kurven den Schlüssel zur Ursache interindividueller Klangunterschiede sehen zu wollen. In **Hörversuchen** konnte weder bei einer seitlichen Verschiebung der Saite (konstant gehaltene Saite/Magnet-Distanz) noch bei Änderung der Saitenschwingungsrichtung ein *wesentlicher* Effekt bemerkt werden. Dies schließt nicht aus, dass in Einzelfällen doch kleinere Klangeffekte hörbar werden, es relativiert aber deren Bedeutung. Beispielsweise ändert sich der Klang wesentlich mehr, wenn die Saite an einer anderen Stelle oder mit einem anderen Plektrum angezupft wird. Zwar macht es einen großen Unterschied, ob der Gitarrist die Saite "anhebt", und gegen das Griffbrett schnellen lässt, oder parallel zum Griffbrett anschlägt – dieser Unterschied kommt aber vom Aufprallen der Saite auf die Bünde, also von der mechanischen Schwingung.

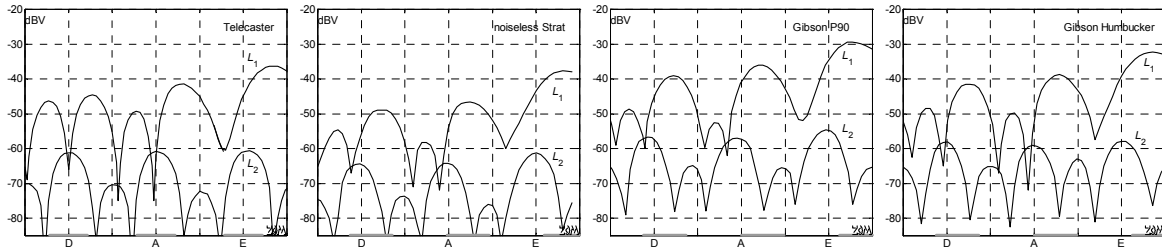


Abb. 5.11.4: Ortsabhängigkeit des Pegels der ersten bzw. zweiten Harmonischen, griffbrettparallele Saitenbewegung. 0,4 mm Amplitude, Saite/Magnetabstand 2mm, Shaker-Eigenverzerrungen kompensiert.

In **Abb. 5.11.5** sind die Messergebnisse aller 4 Tonabnehmer übereinandergezeichnet. Die Kurven wurden vertikal so verschoben, dass die Streuungen minimiert waren. Bei griffbrettnormaler Schwingung ergeben sich kaum Unterschiede bei den 1. Harmonischen; bei den 2. Harmonischen sind in den Minima etwas größere Unterschiede zu erkennen, die aufgrund ihrer Pegelabstände zu den 1. Harmonischen aber unerheblich bleiben. Griffbrettparallele Saitenschwingungen verursachen größere Unterschiede, da hierbei Nullstellen der Übertragungsfunktionen (d.h. Auslöschungen) durchlaufen werden, und auch kleine Magnetfeld-Unsymmetrien Auswirkungen auf den Spannungspegel haben können. Die unterschiedliche Höhe der Maxima im rechten Bild von Abb. 5.11.5 ist auf die endliche Magnet-Anzahl zurückzuführen, die zu einem nach außen divergierendem Magnetfeld führt. Wäre eine große Zahl gleichartiger Magnete aufgereiht, würden sich (außer bei den Randmagneten) gleich hohe Maxima ergeben.

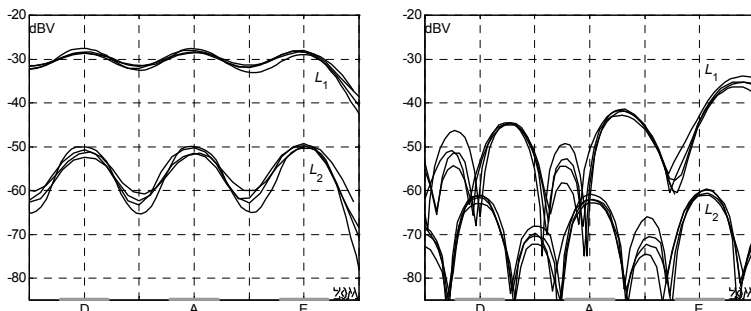


Abb. 5.11.5: Ortsabhängigkeit des Pegels der ersten bzw. zweiten Harmonischen, griffbrettnormale Saitenbewegung (links), griffbrettparallele Saitenbewegung (rechts).

Im Bereich der E-Saite zeigen alle Kurven einen ähnlichen Verlauf, obwohl:

- der Telecaster-Magnet zylinderförmig ist (plane Stirnfläche),
- der Stratocaster-Magnet angefast ist (umlaufende Abschrägung, "beveled"),
- beim P90 Rundkopfschrauben das Feld eines Balkenmagneten bündeln,
- beim Humbucker je Saite ein Zylinder und eine Schraube das Feld bündeln.

Zur Tonabnehmermitte hin sind zwar (bei griffbrettparalleler Saitenschwingung) über 10 dB Unterschied zu erkennen, deren Relevanz aber wieder in Frage zu stellen ist: 1) Die reale Saite führt keine rein griffbrettparallele Schwingung aus; 2) wäre dieser Unterschied bedeutend, würden die A- und D-Saite anders klingen als die E-Saite – was im Hörversuch nicht bestätigt werden konnte. Vielmehr erzeugte z.B. der Stratocaster-Tonabnehmer bei allen 3 Saiten den erwarteten Klang, ohne saitenspezifische Besonderheit. (Die Tonhöhe war natürlich schon unterschiedlich).