

Leider informieren nicht alle Saitenhersteller die Musiker über den tatsächlichen Saitenaufbau. Tom Wheeler überschreibt das Saiten-Kapitel in seinem Standardwerk "Guitar Book" mit "Welcome to Fantasyland". Und fährt fort: "Saitenwerbung strotzt häufig vor irreführender Information; man könnte glatt vergessen, dass der einzig seriöse Weg zum guten Klang über eigene Hörversuche führt". Es ist schon schwierig: Gerken et al. meinen z.B.: "Phosphor-Bronze-Saiten klingen etwas weicher als 80/20 Bronze- oder Messingsaiten", bei Day et al. heißt es hingegen: "Phosphorbronze klingt brillanter als Bronze". Beide Bücher sind mit nur zwei Jahren Abstand im GC-Carstensen-Verlag erschienen.

Die Materialangaben bei Gitarren-Saiten scheitern häufig am Marketing-Primat: So wird z.B. aus Messing (Kupfer-Zink-Legierung) im Englischen "**Bronze**". Der Grund ist die einfache Tatsache, dass "Brass" nicht nur Messing heißt, sondern auch Blech im Sinne von Blechblasinstrumente. Und wer möchte schon, dass seine Gitarrensaiten nach Blech klingen? Deshalb "Bronze" statt Brass, auch im Deutschen. Doch wie nennt man dann eine "echte" Bronze-Umspinnung (Kupfer-Zinn-Legierung)? Ebenfalls Bronze! Oder auch "Phosphor-Bronze", zur Unterscheidung von "Bronze". Der Hinweis auf Phosphor ist nicht unbedingt falsch: Der zur Porosität neigenden Bronze-Schmelze wird tatsächlich Phosphor zugesetzt. Er reinigt und reduziert die Porosität, und die hohe Härte von Cu_3P bringt Brillanz in den Klang. Wie viel die Hersteller aber beimischen, wird nicht bekannt gegeben.

Ähnlich Unklares bei "Pure **Nickel** Strings". Saiten aus reinem Nickel könnten niemals die hohe Zugspannung aushalten – es muss Stahl verwendet werden. Lediglich die Oberfläche (nickel plated) bzw. die Umspinnung (nickel wound) kann aus Nickel sein. Die Umspinnung kann sowohl aus reinem Nickel, als auch aus nickelbeschichtetem (-plattiertem) Stahl sein. So ganz genau wollen manche Saitenhersteller das aber nicht sagen. Nur die Werbung für die neueste Entwicklung sagt klar, was Sache ist: "Spezial-Saiten für Linkshänder" ...

3.2 Die Saitenlautstärke

Wenn man bei einer Gitarre den 9er-Saitensatz gegen einen 11er austauscht, klingt sie dann lauter? Die Praxis sagt ja, die Theorie rät zur Vorsicht: Zunächst sollte man anstelle der nur schwer ermittelbaren Lautstärke eine aussagekräftige Zwischengröße betrachten, wie z.B. den Wechselanteil der Stegkraft (Akustik-Gitarre, Steg-Tonabnehmer) oder die induzierte Wechselspannung (Magnet-Tonabnehmer). Hält man dann die Randbedingungen konstant (!), muss man feststellen, dass Stegkraft bzw. Spannung nicht vom Saitendurchmesser abhängen.

Zuerst zur **Stegkraft**: Die in die Saite beim Anzupfen eingeleitete Anregungskraft lässt sich im Modell als Summe zweier gleich großer Teilkräfte darstellen, die zu entgegengesetzt laufenden Transversalwellen führen (Kap. 2). Am Steg überlagern sich diese beiden Wellen wieder gleichphasig, so dass die Stegkraft (gemeint ist immer der Wechselanteil) der Anzupfkraft entspricht – unabhängig vom Saitendurchmesser. Trotzdem hat der Saitendurchmesser Auswirkungen auf den Klang, denn hiervon hängt die Quersteifigkeit (Anhang) und damit die Saitenauslenkung ab. Je dicker die Saite, desto größer darf die Anzupfkraft für vorgegebene Auslenkung sein, und desto lauter klingt die Gitarre – falls der Gitarrist dieses Potential nutzt. Bei *gleicher* Anzupfkraft prellen dickere Saiten weniger (Kap. 1.5.3) und klingen damit voluminöser als dünne Saiten. Ergänzend könnte man die Durchmesserabhängigkeit von saiteninternen Dämpfungsmechanismen und Abstrahlverlusten analysieren, was aber nicht oberste Priorität hatte und deshalb zurückgestellt wurde.

Im **Magnet-Tonabnehmer** induziert die schwingende Saite eine elektrische Spannung, die proportional zur Saitenschnelle ist. Verdoppelt man die Amplitude der Saitenauslenkung, so bewirkt dies eine Verdopplung der Schnelle und damit auch eine Verdopplung der induzierten Spannung – zumindest, solange man ein lineares Modell zugrunde legt. In den Übertragungskoeffizient des Tonabnehmers gehen aber noch eine Reihe weiterer Faktoren ein: Wicklungs- und Magnetparameter, der Saite/Magnet-Abstand, die Schwingungsrichtung der Saite, und der Saitendurchmesser – um die wichtigsten zu nennen. Die ersten Betrachtungen gelten der induzierten Spannung bzw. deren Pegel.

Die Abhängigkeit der Tonabnehmerspannung vom Saitendurchmesser wurde am Shakerprüfstand experimentell bestimmt. Bei allen Messungen kam ein Stratocaster-Tonabnehmer zum Einsatz, über dessen D-Magnet eine Saite sinusförmig mit 85 Hz auf- und abbewegt wurde; die Schwingungsrichtung verlief entlang der Magnetachse, die Auslenkungsamplitude betrug 0,22 mm. Unterschiedliche Aussteuerungen zwischen 0,15 und 0,50 mm ergaben keine Hinweise auf wesentliche Nichtlinearitäten, die Spannung war in diesem Bereich proportional zur Auslenkung. Die lichte Weite zwischen Magnet und Saite betrug 2 – 5 mm, für diese Abstände wurden keine Auffälligkeiten festgestellt. Abstandsabhängig änderte sich der Spannungspegel für dünne Saiten um ca. 2,1 dB/mm, für dicke Saiten um ca. 2,7 dB/mm. Für Massivsaiten mit Durchmessern zwischen 0,23 mm und 0,66 mm ergab sich eine Proportionalität zwischen der Tonabnehmerspannung und der **Saitenquerschnittsfläche**. Verdoppelung des Saitendurchmessers vervierfacht die Ausgangsspannung (bei sonst gleichen Parametern).

Die Proportionalität zwischen Spannung und Querschnittsfläche gilt aber nur bei massiven Saiten, bei **umspunnenen Saiten** ist die Umspinnung magnetisch nicht voll wirksam. Im Versuch wurden die Kerndrähte der Fender-Saiten 150 (pure nickel wrap), 250 (nickel plated steel wrap) und 350 (stainless steel wrap) verglichen. Die Kerndrähte sind sechseckig, mit ca. 0,4 mm Dicke. Rein rechnerisch vergrößert die Umspinnung die Querschnittsfläche auf das siebenfache, die Messung ergibt aber nur eine Spannungsverdopplung (Kern ohne/mit Umspinnung).

Abb. 3.2 erklärt, warum die Umspinnung magnetisch so ineffizient ist: Die einzelnen Lagen berühren sich nur an schmalen Grenzflächen, und hiervon wird der magnetische Widerstand zum überwiegenden Teil bestimmt (Hertzsche Pressung). Ein Teil des Magnetflusses wird zwar seinen Weg ohne Luftspalte auf einer Schraubenbahn (Helix) entlang der Umspinnung finden, aber dieser Weg ist viel länger, und weist gegenüber dem Kern einen zehnmal so großen magnetischen Widerstand auf. Die magnetische Wirksamkeit der Umspinnung hängt neben der Permeabilität auch von der mechanischen Windungsspannung ab. Sind die Windungen straff aneinandergewickelt, so ergeben sich größere Berührflächen, und die Saite weist einen kleineren magnetischen Widerstand auf. Die in Abb. 3.2 grau eingezeichnete Ringfläche ist als Äquivalent aufzufassen: Ein derartiger Hohlzylinder hätte gleiche magnetische Eigenschaften wie die Umspinnung (Messergebnisse von Fender-Saiten).

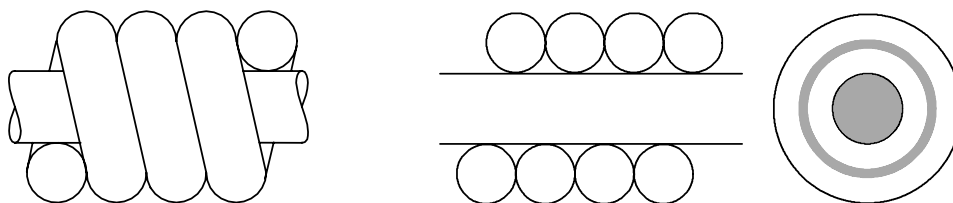


Abb. 3.2: Umsponnene Saite: Die im rechten Bild grau gezeichneten Flächen sind magnetisch wirksam. (Vergl. auch Abb. 3.1). Im Gegensatz zur Zeichnung ist der Kern der Fender-Saiten sechseckig.

Die **Umspinnung** einer Saite trägt in mehrfacher Weise zum Klang bei: Die *Masse* der Umspinnung erhöht die Saitenmasse, ohne aber deren Steifigkeit wesentlich zu vergrößern. Die *Härte* der Umspinnung bestimmt den Obertongehalt, wenn die Saite auf die Bünde aufprallt. Die *magnetischen* Eigenschaften der Umspinnung bestimmen die Saitenlautstärke. Nun ist ja die **Lautstärke** eine schwer beschreibbare Größe, die von vielen Parametern abhängt, z.B. vom Pegel der Teiltöne, der wiederum auf die elektrischen Teiltonspannungen des Tonabnehmersignals zurückgeführt werden kann. Unter der Annahme einer griffbrettnormalen Saitenschwingung hängt die elektrische Grundtonspannung vom Saitenquerschnitt, von der Saitenschnelle und vom Saite/Magnet-Abstand ab. Im Grundtonbereich ist das Tonabnehmer-Übertragungsmaß noch nicht stark frequenzabhängig, es wird als konstant angesehen (könnte aber auch frequenzabhängig modelliert werden, siehe Kap. 5). Die lichte Weite zwischen der Saite und dem Tonabnehmermagnetpol wird zunächst ebenfalls als konstant angenommen, so dass als zu betrachtende Parameter nur mehr Saitenschnelle und -querschnitt verbleiben.

Die Grundtonspannung ist proportional zur Saitenschnelle (Induktionsgesetz) und zur Saitenquerschnittsfläche (Messergebnisse): $U \sim v \cdot S$. Die Saitenschnelle hängt von der Grundfrequenz und der Saitenauslenkung ab, die wiederum auf Anzupfkraft und Quersteifigkeit s_Q zurückgeführt werden kann. Die Quersteifigkeit ist (für konstante Distanz zum Steg) direkt proportional zur Saitenspannkraft, die für alle 6 Saiten ähnliche Werte aufweist.

Unterstellt man eine konstante Anzupfkraft F , so folgt für die Saiten-Auslenkung ξ :

$$\xi = F/s_Q; \quad s_Q \sim \Psi; \quad \Psi \sim S \cdot f_G^2; \quad \left. \vphantom{\xi} \right\} \quad \xi \sim \frac{1}{S \cdot f_G^2}$$

Die Saitenschnelle ist proportional zum Produkt aus Auslenkung und Frequenz, so dass für die Spannung eine einfache Frequenzabhängigkeit übrigbleibt, unabhängig vom Querschnitt:

$$v \sim \frac{1}{S \cdot f_G}; \quad v \cdot S \sim 1/f_G; \quad U \sim v \cdot S \quad \left. \vphantom{v} \right\} \quad U \sim 1/f_G$$

Wären alle 6 Saiten der Gitarre massiv, so gäbe die E₂-Saite unter den oben getroffenen Voraussetzungen gegenüber der E₄-Saite die vierfache Spannung ab. Und da bei jeder Saite die zweite Harmonische (= der erste Oberton) gegenüber dem Grundton die doppelte Frequenz aufweist, wäre auch hierfür dieselbe Relation zu finden. Diese einfache Überlegung lässt sich zwar nicht so ohne weiteres auf *alle* Teiltöne übertragen, trotzdem kann auch ohne große Lautheitsberechnung gesagt werden, dass die Basssaiten gegenüber den Diskantsaiten zu laut wären. Die umspinnenen Saiten sind nun aber gegenüber den massiven Diskantsaiten magnetisch weniger effizient, und deshalb erzeugen alle Saiten (über Tonabnehmer-Verstärker-Lautsprecher) in erster Näherung eine ähnlichen Lautstärke.

Abb. 3.3 zeigt die Abhängigkeit des Grundtonpegels von der Frequenz; diese Darstellung kann als grobe Orientierung für die Saitenlautstärke dienen (obwohl natürlich Lautstärke und Pegel zwei verschiedene Größen sind). Wären alle Saiten massiv, so ergäbe sich die gestrichelt eingezeichnete $1/f$ -Gerade. Als dicke Linie sind Messwerte eingezeichnet, die mit einem Fender-150-Saitensatz (42-32-24-16-11-9) ermittelt wurden. Alle Messungen erfolgten über demselben Magnet eines 1972-Stratocaster-Tonabnehmers. Das rechte Bild zeigt Ergebnisse von einem typischen bronzesumspinnenen Saitensatz (Messung am Stratocaster-Pickup).

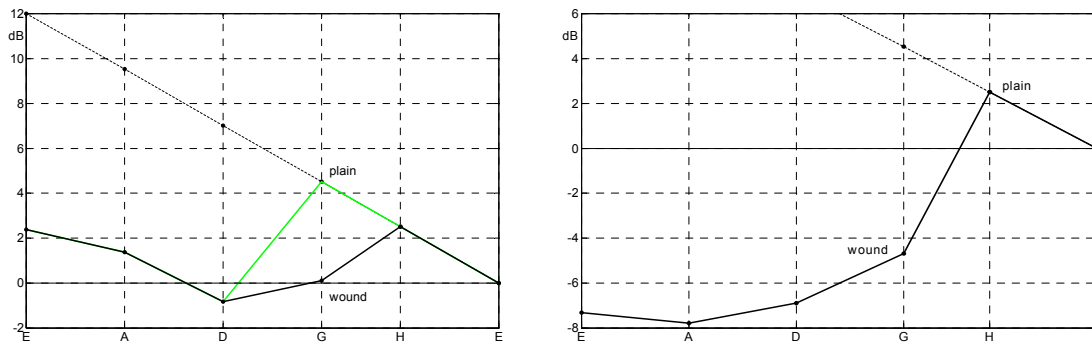


Abb. 3.3: Grundtonpegel der 6 Gitarrensaiten (Magnet-Pickup). Links Nickel-, rechts Bronze-Umspinnung.

Ein wesentlicher Parameter der umspunnenen Saiten ist das Verhältnis von Kern-/Außendurchmesser, das für E₂-Saiten um 0,33, für G-Saiten um 0,6 liegt – mit herstellertypischen Streuungen (Kap. 1.2). Die magnetische Ineffizienz der Umspinnung ist vor allem geometriebedingt, und deshalb nur wenig durch ferromagnetische Parameter zu beeinflussen.

Vergleichsmessungen an Fender-E₂-Saiten der Baureihen 150 (nickel-wrap), 250 (nickel plated steel-wrap) und 350 (stainless steel-wrap) ergaben für 150 und 350 vergleichbare Spannungspegel; im Vergleich hierzu erzeugte die 250-er Saite 1 dB mehr. Etwa die Hälfte dieser Effizienzsteigerung könnte man dem etwas größeren Kerndurchmesser zuschreiben, eine genaue Ursachenforschung würde aber eine unerreichbar hohe Präzision erfordern: Für 0,1 dB Messgenauigkeit müsste der Kerndurchmesser auf 0,6% genau ermittelt (und produktionstechnisch konstant gehalten) werden; bei 0,4 mm sind das 2,4 µm Toleranz! Des weiteren müsste der Saite/Magnet-Abstand auf ca. 40 µm genau eingestellt werden können. Das scheint machbar, ist aber bei einem ganz aus Kunststoffen aufgebauten Prüfstand nicht ganz trivial. Bei allen Pegelangaben sind deshalb **Toleranzen** von einigen Zehntel dB zu erwarten.

Die Tonabnehmerindustrie hat sich der unterschiedlichen Saitenlautstärken schon früh angenommen, und verstellbare bzw. unterschiedlich lange Magnete in die Tonabnehmer eingebaut (**staggered Magnets**, Kap. 5.4.6). Offenbar werden die Unterschiede aber als eher unbedeutend bewertet, denn bei einer Vielzahl von Magnettonabnehmern stehen alle 6 Magnete gleich weit aus dem Tonabnehmergehäuse heraus. Vor eigenmächtigen Modifikationen sei jedoch gewarnt: Es empfiehlt sich nicht, bei alten Fender-Tonabnehmern die Magnete zu verschieben; der haarfeine Wicklungsdraht liegt direkt auf den Magneten auf und kann sehr leicht beschädigt werden. Bei modernen Tonabnehmern mit Kunststoffspulenträger ist ein Verschieben möglich, aber auch in diesem Fall sollte man sicherheitshalber beim Hersteller anfragen.

Ergänzend zu den Shakermessungen erfolgte auch eine Beurteilung der Saitenpegel an einer mit 150er-Fendersaiten bespannten Stratocaster (flush pole pieces). Ein versierter Gitarrist gab sein Bestes, um die einzelnen Saiten mit gleicher Kraft anzuzupfen. Mit Mühe gelang es, zwischen der D- und G-Saite einen signifikanten Unterschied im **Gesamtpegel** zu erkennen: Der Pegel der G-Saite war gegenüber der D-Saite ca. 4 dB größer. Die Pegelunterschiede der restlichen Saiten waren wegen unzureichender Reproduziergenauigkeit nicht genau genug bestimmbar, und sowohl bei Rhythmus- als auch bei Solospiel nicht wahrnehmbar. Der D/G-Unterschied war gerade eben wahrnehmbar – wenn man sich darauf konzentrierte. Sobald der Gitarrist aber seine Aufmerksamkeit der zu spielenden Musik widmete (was man wohl als Normalzustand werten muss), fielen Saiten-Unterschiede nicht mehr auf. Ob hierbei in einem sensomotorischen Regelkreis kompensiert wurde, oder ob sich die Wahrnehmungsschwelle verschob, wurde nicht weiter untersucht.