

7.2 Bünde

7.2.1 Bundpositionen

Der rechtshändige Gitarrist verändert die Länge der schwingenden Saite durch 'Greifen' mit der linken Hand. (Andere Greif- und Spieltechniken sind möglich). Er drückt hierzu die zu spielende Saite mit dem Finger gegen den Hals, bis sie Kontakt mit dem **Bund*** (auch Bundstäbchen, engl. FRET) bekommt. Bünde sind Metalldrähte mit T-förmigem Profil (**Abb. 7.3**), die quer zur Saitenrichtung in Griffbrettkerben eingesetzt sind. Ihr oberer, aus dem Griffbrett herausragender Teil ist verrundet, ihr unterer, im Griffbrett steckender Teil ist als Widerhaken ausgeführt, damit der Bund fest sitzt. Bünde erleichtern dem Gitarrist das saubere Intonieren (Tonhöhe definieren): Die Länge der schwingenden Saite kann nicht kontinuierlich abgegriffen werden, sondern nur in diskreten Intervallen. In erster Näherung ist es unbedeutend, an welchem Ort zwischen zwei benachbarten Bänden der Finger aufgesetzt wird; der für die Saite wichtige Kontakt entsteht am Bund. Bei genauer Betrachtung stellt man allerdings fest, dass speziell bei hohen (weit herausragenden) Bänden Kraft und Position des Fingers doch eine kleine Auswirkung auf die Tonhöhe haben können (s.a. Abb. 7.5).

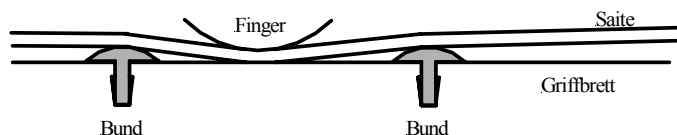


Abb. 7.3: Hals im Längsschnitt. Der Finger drückt die Saite im Normalfall nicht ganz bis zum Griffbrett durch.

Die *leere Saite* liegt am Sattel und am Steg auf. Ihre Länge (die **Mensur**, engl. SCALE) beträgt 24" – 25.5", also 61 – 65 cm. Aber auch Gitarren mit längerer Mensur (Bariton-Gitarre, LONG NECK GUITAR) sowie kürzerer Mensur (3/4-Gitarre) sind gebräuchlich. Elektrogitarren haben zumeist 21 – 24 Bünde, Sattel und Steg nicht mitgezählt. Die Länge des bundierten Halses, also die Griffbrettlänge, beträgt somit ca. 3/4 der Mensur. Bei einigen Gitarren liegen die Saiten nicht direkt im Sattel auf dem Griffbrett auf, sondern in einem direkt davor liegenden sog. **0-ten Bund**. Damit hat die Saite immer mit demselben Material Kontakt, egal ob sie leer gespielt oder gegriffen wird. Nachteilig macht sich dabei aber die höhere Reibung bemerkbar: Beim Stimmen sollte die Saite möglichst reibungsfrei in Längsrichtung über den Sattel bzw. über den 0-Bund gleiten können. Ist die Reibung zu groß, entsteht unerwünschte Hysterese.

Bei den **Bundabständen** findet man einen Unterschied zwischen einfacher Theorie und Wirklichkeit. Für eine vereinfachte Berechnung werden die Saite und deren Lager ideal angenommen. Die Gitarre ist temperiert gestimmt, ihre Halbtonintervalle betragen einheitlich ca. 6%:

$$I_H = \sqrt[12]{2} = 1,05946$$

Halbtonintervall

Bereits durch diese Entscheidung sind grundlegende Abweichungen von der reinen Stimmung definiert, die z.B. bei der kleinen Terz $-0,9\%$ und bei der großen Terz $+0,8\%$ betragen. Die reine Stimmung ist allerdings nicht das gewünschte Ideal (Kap. 8.1), die (gleichschwebend) temperierte Stimmung wird heute als Standard verwendet. Die Reziprozität zwischen Saitenlänge und Grundfrequenz ergibt für die Bundabstände eine geometrische Folge. Wenn der Abstand zwischen Sattel und 1. Bund ΔB beträgt, dann ist der Abstand zwischen n -tem Bund und $(n+1)$ -tem Bund $\Delta B / I_H^n$. Der Bundabstand verringert sich somit vom Sattel zum Steg (**Abb. 7.4**), gleichzeitig vergrößern sich Halsbreite und damit Bundlänge.

* Gelegentlich wird auch die Fläche zwischen zwei Bundstäbchen als Bund bezeichnet.

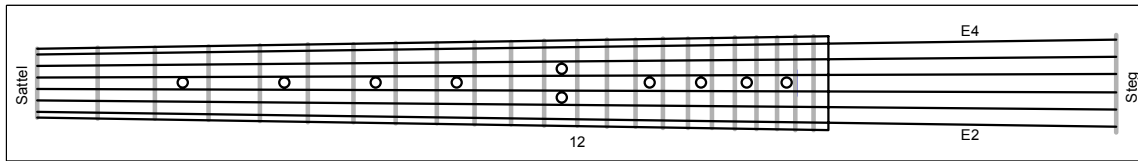


Abb. 7.4: Bundierter Hals (22 Bünde) mit Saiten und Steg. E_2 = tiefe E-Saite (beim Daumen), E_4 = hohe E-Saite. Die Oktave zur leeren Saite wird am 12. Bund bei halber Saitenlänge gegriffen. Der Verlauf der Saiten über den Sattel hinaus zur 'Kopfplatte' ist nicht gezeichnet.

Die o.a. Berechnung berücksichtigt aber nicht, dass sich die Saitenspannkraft beim Niederdrücken (Greifen) erhöht, woraus eine zusätzliche Tonhöhenänderung resultiert. Wenn eine Saite beispielsweise am 12. Bund gedrückt wird, so sollte sich eigentlich ihre Grundfrequenz verdoppeln. Das Niederdrücken bewirkt aber eine minimale Verlängerung der Saite, und diese bewirkt eine zusätzliche Frequenzerhöhung. Dass die Frequenz der verlängerten Saite höher und nicht niedriger wird, liegt an der (gegenüber der Längenänderung) dominanten Spannkraftänderung.

Bei den folgenden Berechnungen ist zwischen der Saitenlänge L und der Längenänderung ΔL zu unterscheiden; die Längenänderung ΔL wird **Dehnung** ξ genannt. Eine Saite, die im ungespannten Zustand die Länge L aufweist (Mensur + Reststücke* bis zur Saitenbefestigung), wird durch die Spannkraft Ψ auf die neue Länge $L+\xi$ gedehnt. Je stärker die Saite gedehnt wird, desto höher ist bei fester Mensur M die Grundfrequenz f_G .

$$\xi = \frac{4\bar{\rho}L}{E} \cdot \left(\frac{f_G \cdot M}{\kappa} \right)^2 \quad \text{Dehnung } \xi$$

$\bar{\rho}$ ist die mittlere Dichte (Anhang), E = Elastizitätsmodul, κ = Kern- / Außendurchmesser. Bei umspinnenen Saiten ist der E -Modul des Kerns anzusetzen, κ liegt zwischen 0,3 und 0,6. Die E_4 -Saite muss um 5,3 mm gedehnt werden (Normalstimmung, $L = 77$ cm), die E_2 -Saite um 1,7 mm ($\kappa = 0,42$). Man sieht, dass die Dehnung vom Quadrat der Grundfrequenz f_G abhängt, bzw. dass die Grundfrequenz proportional zur Wurzel aus der Dehnung verläuft. Aus dem Differentialquotient der Kurve erhält man die Abhängigkeit der relativen Änderungen:

$$\frac{\Delta f_G}{f_G} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta \xi}{\xi} \quad \text{relative Frequenzänderung}$$

Die relative Frequenzänderung ist halb so groß wie die relative Dehnungsänderung. Wohl-gemerkt: Es geht nicht um relative Längenänderungen! Wenn die Saite beim Niederdrücken am 12. Bund beispielsweise um 0,02 mm länger wird, so ändert sich ihre *Länge* um 0,026‰; dies ist nicht gemeint. Die *Dehnung* ändert sich um 3,8‰ (E_4), bzw. um 11,8‰ (E_2) – und dieser Unterschied macht Probleme. Selbst wenn die E_2 - und die E_4 -Saite gleich weit niedergedrückt werden, **verstimmt** sich die E_2 -Saite deutlich mehr. In der Praxis gibt man aber der E_2 -Saite einen größeren Abstand zum Griffbrett (2 – 3 mm lichte Weite am 12. Bund) als der E_4 -Saite (1 – 1,5 mm). Damit ist die Frequenzerhöhung bei der E_4 -Saite praktisch vernachlässigbar, bei der E_2 -Saite hingegen zu groß: $0,5 \cdot 11,8\%$ entspricht 10 cent.

* Hierbei ist die in Sattel und Steg auftretende Reibung zu berücksichtigen. Bei hoher Reibung gilt $L = M$.

Zur Korrektur dieses Frequenzfehlers könnte man die Bünde schräg einbauen. Von exotischen Konstruktionen abgesehen wird das aber nicht gemacht. Statt dessen baut man den Steg leicht schräg ein: Sein E_4 -Auflagepunkt ist vom Sattel genau doppelt so weit weg wie der 12. Bund, sein E_2 -Auflagepunkt ist allerdings um einige Millimeter zurück versetzt (= längere Saite). Wie viel hier korrigiert werden muss, hängt von den Saiten, den Lagern und der **Saitenlage** (lichte Weite zum Griffbrett) ab. Bei Nylonsaiten ist wegen des kleineren E -Moduls praktisch keine Korrektur erforderlich, bei Westergitarren findet man häufig 3 mm (E_2), bei der typischen Elektrogitarre können Verschiebungen von bis zu 6 mm (E_2) nötig werden.

Wie oben gezeigt, hängt diese **Stegverschiebung** nicht nur von der Grundfrequenz, sondern auch von der Art der Umspinnung ab. E_2 -, A- und D-Saite sind umspinnen, H- und E_4 -Saite sind es nicht, die G-Saite kann es sein. Die individuellen Saitendaten erfordern eine saiten-spezifische Verschiebung der Stegauflage. Viele Elektrogitarren haben deshalb einen Steg mit einzelnen Böckchen (auch Reiter genannt), die man über kleine Schrauben **justieren** kann. Wenn neue Saiten aufgezogen wurden, schlägt man einen Flageolett-Ton an (Saite beim Anzupfen zusätzlich genau bei halber Länge ganz leicht berühren) und justiert die Stegauflage so, dass die am 12. Bund durch Niederdrücken gespielte Oktave die gleiche Tonhöhe produziert wie dieser Flageolett-Ton. Manchmal müssen sich auch zwei benachbarte Saiten ein gemeinsames Böckchen teilen; dann sind Kompromisse bei der Bundreinheit erforderlich.

Welchen Einfluss die **Gesamtlänge** der Saite hat, soll an einem speziellen Beispiel dargestellt werden: Bei einigen Gitarren läuft die Saite jenseits von Steg und Sattel bis zu ihrer Befestigung noch über eine lange Distanz; in Extremfällen können da als Summe beider Seiten bis zu 25 cm dazukommen. Bei Gitarren mit Klemmsattel sind hingegen frei bewegliche Saitenlänge und Mensur praktisch identisch. Unter ansonsten gleichen Bedingungen unterscheiden sich in diesem Fall die Dehnungen um den Faktor $88/63 = 1,4$. Die beim Niederdrücken der Saite entstehende (absolute) **Dehnungsänderung** ist aber nur von der Mensur und dem Saite-Bund-Abstand abhängig, nicht von der Gesamtlänge. Dies bedeutet: Je länger die Saite jenseits von Steg und Sattel ungehindert weiterlaufen kann, desto weniger verstimmt sie sich beim Niederdrücken*. Im Beispiel ist die relative Dehnungsänderung (und damit die Verstimmung) der festgeklemmten Saite 1,4 mal so groß wie die der nicht festgeklemmten Saite. Dies ist zu berücksichtigen, falls eine Gitarre auf Klemmsattel umgerüstet werden soll.

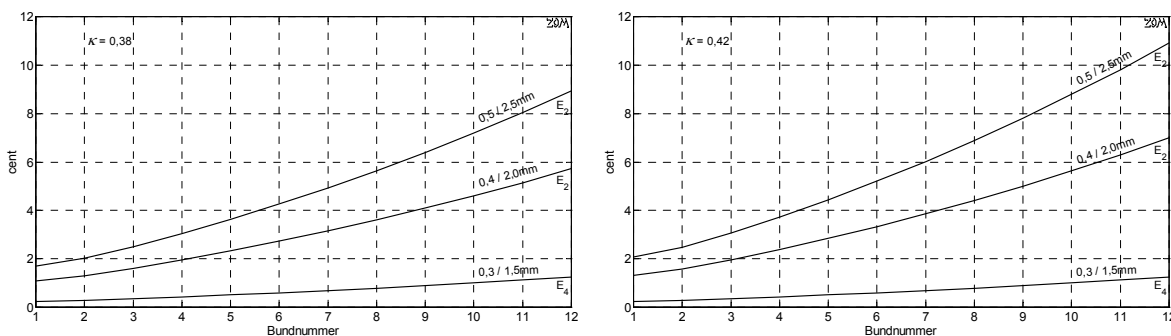


Abb. 7.5: Relative Verstimmung durch Herabdrücken der Saite auf den Bund. Mensur: $M = 0,625\text{m}$; $L = 0,72\text{m}$. Saite-Bund-Abstand (1.Bd. / 12.Bd.) = $0,3 / 1,5\text{mm}$ (E_4); $0,4 / 2,0\text{mm}$ (E_2); $0,5 / 2,5\text{mm}$ (E_2). Linkes Bild: Kern- / Außendurchmesser = $\kappa = 0,38$. Rechtes Bild: $\kappa = 0,42$. Stegposition nicht korrigiert.

* Wäre die Saite durch ein Gewicht gespannt, so würde sich die Zugspannung beim Niederdrücken überhaupt nicht ändern, die Verstimmung wäre vernachlässigbar (nur minimale Längenänderung).

Mit dem Schrägstellen des Steges lassen sich die o.g. Probleme dahingehend beheben, dass die Oktave (12. Bund) ohne Verstimmung spielbar ist. Dies bedeutet nun aber noch nicht, dass damit auch alle anderen Bündel korrekt intonierbar sind. **Abb. 7.5** zeigt die beim Niederdrücken der Saite entstehenden relativen Verstimmungen – zunächst ohne schräg gestellten Steg. Hierzu wurde angenommen, dass der Saite-Bund-Abstand (die Saitenlage) linear zwischen 1. und 12. Bund anwächst; für die tiefe E-Saite sind zwei verschiedene Fälle berechnet. Im linken Bild beträgt das Verhältnis von Kern- zu Außendurchmesser $\kappa = 0,38$, im rechten Bild 0,42. Ein kleinerer Kerndurchmesser ergibt eine kleinere Verstimmung, erhöht aber die Gefahr des Saitenbruchs.

Im linken Bild von **Abb. 7.6** wurde der Steg schräg gestellt. Die Änderung für die E₄-Saite ist sehr gering (0,5mm), für die beiden Fälle der E₂-Saite sind 2,5 bzw. 3,9 mm erforderlich. Damit ist bereits eine gute Lösung erreicht, Verstimmungen um 1 cent müssen eigentlich nicht mehr korrigiert werden. Verschiebt man nicht nur den Steg, sondern zusätzlich auch noch den Sattel (in Richtung zum Steg), so ist eine weitere Verbesserung erreichbar (rechtes Bild). Genauigkeiten von 0,1 cent (0,006%) sind aber nur noch von theoretischem Interesse. Bei diesen Berechnungen wurde zugrunde gelegt, dass die Saite vom Sattel in einer geraden Linie zum Bundkopf läuft, und von dort weiter zum Steg. Da beim Spielen der Finger der Greifhand aber keinen Linienkontakt herstellt, sondern die Saite hinter* dem Bund niederdrückt, entsteht eine zusätzliche Saitenverlängerung; die nötige Sattelverschiebung wird dadurch größer.

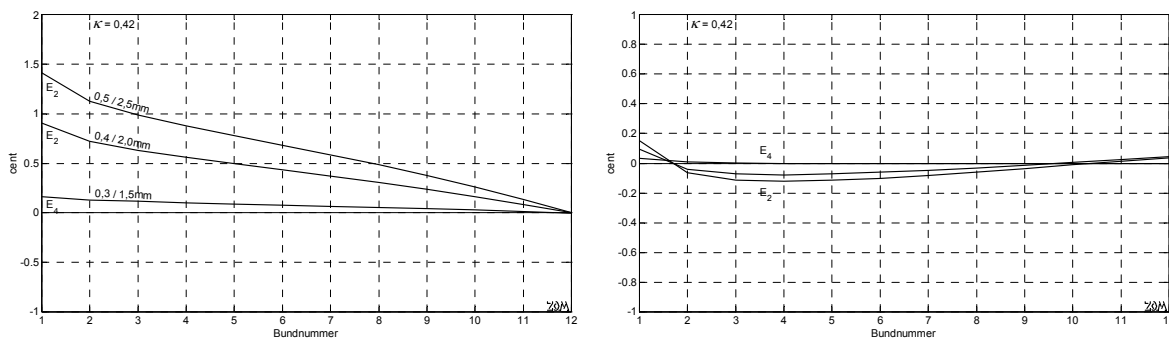


Abb. 7.6: Daten wie in Abb. 7.5, jedoch $\kappa = 0.42$ (unverändert). Im linken Bild wurde nur der Steg verschoben, im rechten Bild zusätzlich der Sattel. Für die E₄-Saite ist die errechnete Sattelverschiebung mit 0,05 mm irrelevant, für die E₂-Saite errechnen sich 0,3 bzw. 0,5 mm (nur Linienkontakt am Bundkopf).

Zusammengefasst ergibt sich folgende Konstruktionsvorschrift: Zuerst wird die theoretische Mensur M festgelegt, z.B. 625 mm. Der Abstand zwischen Sattel (0. Bund) und 1. Bund errechnet sich daraus zu: $M \cdot (1 - \sqrt[12]{0,5}) = M / 17,817$. Den Abstand zwischen dem n -ten und $(n+1)$ -ten Bund erhält man, indem man den Abstand zwischen dem n -ten Bund und dem Stegsattel durch 17,817 teilt. Oder: der n -te Bund liegt $M / 1,05946^n$ vom Steg entfernt. Nun wird der Sattel leicht schräg gestellt: Seine Position unter der E₄-Saite bleibt unverändert, unter der E₂-Saite wird er um ca. 1 mm in Richtung Steg verschoben. Danach wird der Stegauflegepunkt so verschoben, dass am 12. Bund eine exakte Oktave gespielt werden kann. Mit diesen Einstellungen sollte jede Saite gleichschwebend temperiert gestimmt sein. Eine zusätzliche Kontrolle mit Messgerät oder Gehör ist anzuraten, ggf. sind kleine Modifikationen nötig.

* "hinter" bedeutet: In Richtung Kopfplatte.

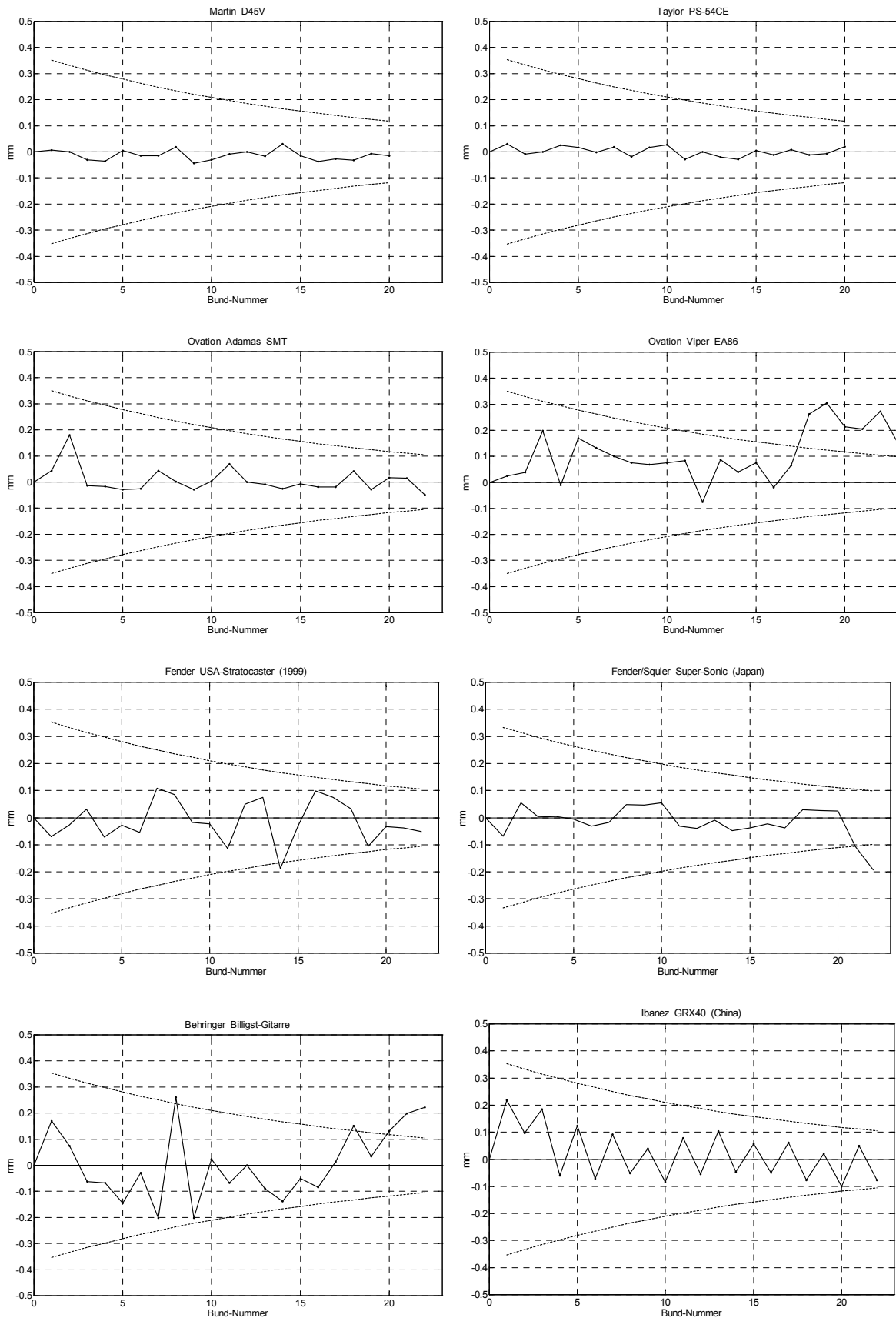
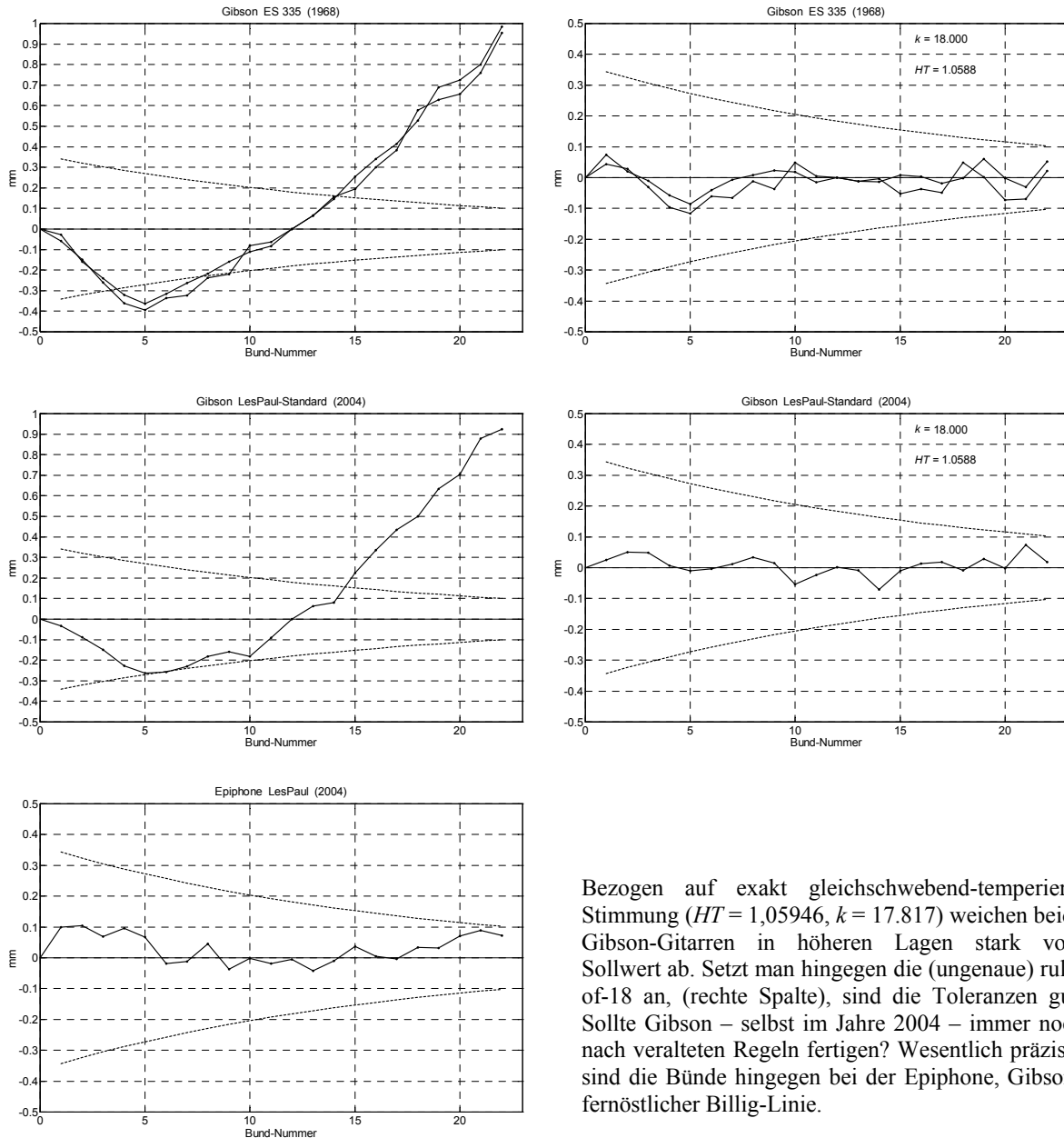


Abb. 7.7a: Abweichung der gemessenen Bundposition von der theoretischen Position. Messtoleranz $\pm 0,05\text{mm}$. Die gestrichelt gezeichneten Grenzlinien kennzeichnen Tonhöhenabweichungen von ± 1 cent.



Bezogen auf exakt gleichschwebend-temperierte Stimmung ($HT = 1,05946$, $k = 17.817$) weichen beide Gibson-Gitarren in höheren Lagen stark vom Sollwert ab. Setzt man hingegen die (ungenaue) rule-of-18 an, (rechte Spalte), sind die Toleranzen gut. Sollte Gibson – selbst im Jahre 2004 – immer noch nach veralteten Regeln fertigen? Wesentlich präziser sind die Bünde hingegen bei der Epiphone, Gibsons fernöstlicher Billig-Linie.

Abb. 7.7b: Abweichung der gemessenen Bundposition von der theoretischen Position. Messtoleranz $\pm 0,05$ mm. Die gestrichelt gezeichneten Grenzlinien kennzeichnen Tonhöhenabweichungen von ± 1 cent.

In **Abb. 7.7** sind die gemessenen Bundpositionen einiger Gitarren dargestellt. Da Bundstäbchen verrundete Metalldrähte, und keine Endmaße sind, ist ihre exakte Position nur ungefähr bestimmbar; die Messunsicherheit beträgt ca. $\pm 0,05$ mm. Bei Taylor und Martin erkennt man eine vorbildliche Genauigkeit, bei den anderen Gitarren sind die Abweichungen zwar größer, aber immer noch gut akzeptabel – lediglich Gibson fällt aus dem Rahmen. Interessant sind die beiden Fender-Gitarren: Die japanische "Billig"-Produktion ist keinesfalls weniger präzise als die amerikanische – ganz im Gegenteil. Für alle Abbildungen wurden Mensur und Sattelposition so festgelegt, dass sich ein optimaler Verlauf ergab. Die effektive Saiten-Auflageposition ist nämlich nur sehr schwer bestimmbar (Kerben-Verrundung, Saiten-Biegesteifigkeit).

7.2.2 Bundmaterialien

Das am häufigsten verwendete Bundmaterial ist **Neusilber** (GERMAN SILVER, NICKEL SILVER, ARGENTAN, ALPAKKA[§]). Das Edelmetall Silber ist hierin allerdings nicht, bzw. nur in Spuren, enthalten. Neusilber ist eine Sammelbezeichnung für Kupfer/Nickel/Zink-Legierungen, die man auch 'hochnickellegiertes Sondermessing' nennen könnte. Die reine Kupfer/Zink-Legierung wird **Messing** (engl. BRASS) genannt, auch das kommt als Bundmaterial zum Einsatz, wenngleich selten. Kupfer alleine ist von rötlicher Farbe, Zinkzusatz ergibt gelbliche Farbtöne, Nickel verschiebt die Farbe über grünlich zu silberweiß – daher der Name Neusilber. Nickel- und Zinkzusatz erhöhen aber vor allem die Härte, und die sollte hoch sein, weil sich durch den Kontakt mit den Stahlsaiten die Bündel beim Spielen abschleifen. Nickel erhöht außerdem die Anlauf- und Korrosionsbeständigkeit. Der für silberweiße Farbe erforderliche hohe Nickelgehalt von >30% ist bei Gitarrenbünden allerdings nicht zu finden; üblich sind 12% Nickelzusatz (akustische Konzert-Gitarre) oder 18% Nickelzusatz (E-Gitarre).

Durch den direkten Saitenkontakt kommt den Bündeln eine klangbestimmende Funktion zu. Deshalb gibt es die unterschiedlichsten Materialien und Formen. Neben Neusilber und Messing ist noch **Glockenbronze** (engl. BELL BRASS) zu nennen. Auch das ist eine Kupfer-Legierung, allerdings nicht mit Zink-, sondern mit Zinn-Zusatz. Die silberweiße Glockenbronze enthält ca. 77 – 80% Kupfer, der Rest ist Zinn. Gegenüber Neusilber ist die Korrosionsneigung etwas größer, was aber in der Regel keine Probleme bereitet. Obwohl Zinn ein weiches Metall ist, erreichen Cu/Sn-Legierungen eine ähnliche Härte wie Neusilber.

Die für den Gitarrist sichtbaren **Abmessungen** sind Breite und Höhe des Bundkopfes. Kleine Bündel, die häufig bei Vintage-Gitarren zu finden sind, liegen in ihrer Breite zwischen 1 und 1,7 mm, die Höhe liegt zwischen 0,6 und 0,8 mm (Small Frets). Mittlere Bündel bringen es auf $B = 1,8 - 2,6$ mm, $H = 0,7 - 1,1$ mm (Medium Frets), große Bündel auf $B = 2,6 - 3$ mm, $H = 0,9 - 1,5$ mm (Jumbo Frets).

Der **Sattel** (engl. NUT) wird aus Knochen oder einem speziellen, reibungsarmen Kunststoff hergestellt, gelegentlich auch aus Metall. Der Herstellerphantasie sind bei der Namensgebung keine Grenzen gesetzt: Vintage Bone, Bonoid, Ebonol, Graphite, Graph Tech, TUSQ, um nur einige zu nennen. Auf Reibungsarmut wird deshalb so großer Wert gelegt, weil die Saite beim Stimmen und Ziehen hysteresefrei durch den Sattel rutschen muss. Haftreibung verhindert bis zu einem gewissen Grad das Nachrutschen und schafft einen Indifferenzbereich. Besonders niedrige Reibung versprechen Rollensättel; sie sind aber breiter als normale Sättel und nicht problemlos als Ersatz einbaubar. Die Saite sollte fest und doch reibungsarm in der Sattelkerbe liegen. Gut geeignet sind V-förmige Sattelkerben, die zur Kopfplatte hin eine kleine Auflagefläche gewähren und zur Halsseite hin abrupt enden. Form und Tiefe der Sattelkerbe wird mit der **Sattelfeile** aus dem Sattel-Rohling herausgearbeitet. Es gibt aber auch Sättel mit justierbarer Saitenhöhe, hier muss nicht gefeilt werden. Daneben ist noch der Klemmsattel zu nennen, der aber Feinstimmer am anderen Saitenende erfordert.

Bündel und Sattel sind an ihren seitlichen Enden verrundet, um die Finger des Gitarristen nicht zu verletzen. Dies betrifft aber weniger die Gitarren-Physik, sondern eher UVV, Juristerei und Pathologie. Einen Bezug zur Physik kann man aber doch herstellen: Holzabmessungen sind feuchteabhängig, Buntmetallabmessungen ("Bundmetall") nicht. Wenn an einer Gitarre im Winter plötzlich die Bundenden fühlbar werden: Abfeilen, oder für höhere Luftfeuchtigkeit sorgen!

[§] Uneinheitliche Schreibweise. N.B.: Alpaka = Lama.

7.2.3 Das Buzz-Feiten-System

Howard B. Feiten beschreibt in seinem USA-Patent Nr. 6642442 (uspto.gov) ein System zur temperierten Stimmung für bundierte Musikinstrumente. Durch kleine Abweichungen von der traditionellen Stimmung soll hiermit eine *extraordinarily pleasing intonation* erreicht werden. Gemäß Feiten haben Gitarrenbauer bis zum Jahre 2002 geflissentlich übersehen, dass Gitarren auch richtig gestimmt sein müssen: *"One very important aspect of acoustic guitars that has been overlooked is proper intonation"*. Da werden die Gitarrenbauer aus Old Europe zwar eine andere Meinung haben – indes, nicht immer ist der Gitarrist mit dem Ergebnis seines Strebens nach ausgeglichener Stimmung zufrieden. Well, here comes "Buzz" Feiten:

In seiner Patentbeschreibung erklärt Feiten, dass Gitarren nach der *Pythagorean Scale* bundiert werden. Man möchte einwenden "ja dann", und – je nach Temperament – noch ein sarkastisches "die amerikanischen vielleicht" hinzufügen, doch gemach. Zunächst wird der Begriff pythagoreisch erläutert, um Missverständnisse auszuschließen: *"The Pythagorean Scale is based upon the fourth, the fifth, and the octave interval ratios."* Zweifelsfrei: Pythagoreisch. Nur: Was hat das mit der Gitarre zu tun? In Europa, insbesondere in Old Europe*, wird die seit dem 18. Jh. vorwiegend gleichschwebend temperiert gestimmt, nicht pythagoreisch. Doch lassen wir Feiten weiter erklären: *"To determine fret positions, guitar builders use a mathematical formula based on the work of Pythagoras, called the rule of 18 (the number used is actually 17.817). This is the distance from the nut to the first fret."* Möge die vorliegende Arbeit gegen derart viele Fehler in einem Absatz gefeit sein, denkt man da als Autor unwillkürlich. Also: Die 18er-Regel (rule of 18) erzeugt für die Bundpositionen eine geometrische Folge, d.h. eine gleichschwebende Stimmung. Diese geht nicht auf Pythagoras zurück, dessen Stimmung – wie Feiten ja selbst erläutert – auf Quinten, Quarten und Oktaven beruht. Was mit *"this is the distance..."* gemeint sein könnte, bleibt ebenfalls im Dunkel griechischer Geschichte. Die (hier nicht mehr zitierten) folgenden Erläuterungen des Patents erklären dann aber nachvollziehbar und korrekt, was die 18er-Regel besagt. Halten wir fest: Howard B. Feiten sieht als Grund für die unzureichende Stimmgenauigkeit die durch Anwenden der 18er-Regel erhaltene pythagoreische (Quinten-) Stimmung. Das ist falsch, hat den Patentprüfer (den *amerikanischen* Patentprüfer) aber offensichtlich nicht gestört.

Weiter O-Ton Feiten: *"Prior to the mid 1600's, pianos had evolved from a 'just' intonation to 'equal temperment'; i.e., tuning the instrument so that all the notes were mathematically equidistant from each other. ...It was only partially successful and resulted in the entire keyboard sounding slightly out of tune, especially in the upper and lower registers. In the mid-1600's, an enormous breakthrough occurred in piano technology. The 'well tempered' keyboard was conceived."* Lassen wir zur "reinen Stimmung" (just intonation) J. M. Barbour Stellung nehmen: *"There is no such thing as just intonation, but rather, many different just intonations; of these, the best is that which comes closest to the Pythagorean tuning"*. Im Mittelalter war also tatsächlich Handlungsbedarf, und "equal temperament", also gleichschwebend-temperierte Stimmung, war ein Fortschritt, der Modulationen quer durch den ganzen Quintenzirkel ermöglichte. "Equal temperament" darf aber nicht mit Feitens "well tempered tuning" verwechselt werden! H. B. Feiten unterscheidet nämlich zwischen "equal temperament" und "well tempered". "Well tempered" ist eine speziell modifizierte, ehemals gleichschwebend-temperierte Stimmung.

* Der Ethnologe Donald Rumsfeld spezifizierte diesen (sonst eher geografisch zu verstehenden) Unterschied durch seine subjektiven, differentialdiagnostischen Betrachtungen, die vom Philosophen Joschka Fischer um eine Bewertung der Herkunft europäischer bzw. amerikanischer Kultur ergänzt wurden.

Hierzu wieder Feiten: *"the universally accepted method for intonating guitars represents a form of "equal temperament" ... a method that was abandoned in the 1600's by piano tuners".* Moment, Herr Feiten: Sagten Sie nicht gerade, Gitarren werden pythagoreisch gestimmt? *"Based upon the fourth, the fifth, and the octave interval ratios."* Mein lieber Herr Gesangsverein, hoffentlich wissen nach Lektüre der Patentschrift noch alle, wie denn nun gestimmt wird. Hierzu ein kleiner Exkurs in die zeitgenössische Literatur, der zeigt, welche Breitenwirkung eine aktuelle – wenngleich fehlerhafte – Patentschrift haben kann:

Musik Produktiv, einer der Giganten im deutschen Musikhandel, meint hierzu: *Buzz Feiten erreicht durch die Veränderung der Mensur eine "wohltemperierte" Stimmung der Gitarre.* "Wohltemperiert" ist hier wohl etwas missverständlich, denn Feiten will ja gerade diese Stimmung nicht. Weiter Musik Produktiv: *Ein Klavierstimmer erklärte Buzz Feiten, dass ein Stimmgerät keine wohltemperierte Stimmung erzeugen kann.* Man kann die spitzfindige Erkenntnis außer Acht lassen, dass ein Stimmgerät als Messgerät niemals selbst eine Stimmung erzeugen kann, man kommt aber nicht umhin, schon wieder eine wesentliche Diskrepanz zu erkennen: Der Klavierstimmer wollte eine gespreizte Stimmung erreichen (Railsback). Das ist nach üblicher deutscher Terminologie etwas anderes als eine wohltemperierte Stimmung, die sofort mit Bach/Werckmeister (vermeintlich gleichschwebend) in Verbindung gebracht wird.

Oder **Musik-Thomann**, ein Versand-Riese: *Man verlies sich bei der Berechnung der Mensur und dem Einstellen der Intonation auf alte, überlieferte Formeln. Diese Erbstücke basierten auf einer Methode, die Klavierstimmer schon im 16. Jh. entwickelt haben: Der gleichtemperierten Stimmung. Die allgemein gebräuchliche Formel zur Plazierung der Bünde wurde schon von Pythagoras entwickelt worden. Aber es gibt einen Fehler, weil in diesem Bereich die Steifheit der Saite einen zu starken Störeffekt verursacht.* Da wird "equal temperament" mit "gleichtemperierte Stimmung" übersetzt – eher unüblich, aber mit gutem Willen verständlich. Und wieder Pythagoras. Abschließend: *Immer mehr Gitarristen in der ganzen Welt lassen ihr bestes Stück von autorisierten Retrofittern modifizieren.* Ja, da soll's viele Internet-Angebote geben, Gitarristen brauchen das vielleicht. Cave Inflammatio!

Oder **Proguitar** (noch nicht ganz ein Riese): *Die Formel für die Plazierung der Bünde wurde schon von Pythagoras entwickelt.* Vermutlich ein früher Strat-Fan.

Vielleicht lässt sich ja etwas Klarheit in dieses Durcheinander bringen: Pythagoras wird gerne mit der Erkenntnis zitiert, dass bei konstanter Saitenspannung Frequenz und Saitenlänge reziprok sind (Monochord = Einsaiter). Aber schon vorher wussten Ägypter, Sumerer, Chinesen, Inder und vermutlich viele weitere Völker der Antike um die physikalisch/mathematischen Zusammenhänge – allerdings hatte die pythagoreische Schule größeren Einfluss auf die westliche Welt, und hinterlies vor allem schon frühzeitig schriftliche Dokumente (Euklid, Didymos, Ptolemäus u.v.a.). Diese pythagoreische Schule brachte ein auf Quinten und Oktaven aufgebautes Tonsystem hervor, das heute als das **pythagoreische Tonsystem** bezeichnet wird (Kap. 8.1). Es wird bis in das 16. Jh. in Reinform von den Kanonikern, und modifiziert von den Harmonikern praktiziert [Simbriger/Zehelein, Barbour]. Als aber ab dem 16. Jh. Tonarten mit immer mehr Vorzeichen aufkamen, machten sich die subjektiv empfundenen Unstimmigkeiten des pythagoreischen Systems zunehmend bemerkbar. Als Abhilfe ersann man zwei Verbesserungen:

1. Die Vergrößerung der Stufenzahl innerhalb einer Oktave, und
2. Die Temperierung, d.h. den Feinabgleich einzelner Töne.

Die Temperierung kann ungleichschwebend, und gleichschwebend sein. Simbringer/Zehlein datieren den Beginn der Temperierung auf 1482: *Bartolomeo de Ramis fordert, dass der Unterschied zwischen Terz ($5:4 = 1,2500$) und vierter Quint ($81:64 = 1,2656$) durch Temperierung ausgeglichen werde.* Barbour vermutet 1496, und listet 17 verschiedene Temperaturen auf, die er "Meantone Temperament" und "Comma Temperament" nennt. Um 1533 legt Lanfranco den Grundstein für die gleichschwebende Stimmung (Equal Temperament), in der Folgezeit beschäftigen sich u.a. Vincenzo Galilei und Marine Mersenne (1636) mit der Frage, wie ohne Taschenrechner die zwölfte Wurzel aus 2 zu ziehen sei (bzw. eine möglichst gute Näherung hierfür). Große Bekanntheit erreichen dann die um 1700 durchgeführten Arbeiten von Neidhardt und **Werckmeister**. Fast 200 Jahre später berichtet Alexander Ellis, dass "the best British piano tuners", also Klavierstimmer, keine akzeptable gleichschwebende Stimmung produzieren konnten, und 1938/1943 veröffentlichen **Railsback** und Schuck/Young in der JASA die bei Klavieren festgestellte **gespreizte** Stimmung; hierbei werden hohe Töne geringfügig zu hoch, und tiefe Töne geringfügig zu tief gestimmt.

Hier knüpft nun wieder das Feiten-Patent an: *"In the mid-1600's, an enormous breakthrough occurred in piano technology. The 'well tempered' keyboard was conceived, and with it, a new standard for piano keyboard intonation which we still use today."* In the mid-1600's, also im 17. Jh., waren Mersenne und Co. gerade beim Wurzelziehen und entwickelten die gleichschwebende Stimmung. Heißt "well tempered" also bei Feiten "gleichschwebend"? Kann auch nicht sein, denn das hat er (völlig korrekt) "equal tempered" genannt. Aber warum schreibt er dann (mit Zustimmung seines Patentprüfers): *"The inventors believe that the reason that guitars still sound out of tune, in spite of 'perfect' intonation, is that the universally accepted method for intonating guitars represents a form of 'equal temperment' ... a method that was abandoned in the 1600's by piano tuners!"*? Rätselhaftes Amerika! Doch weiter: *"When a piano tuner intonates a piano, he uses one string as his 'reference' note, typically, A-440 (or Middle "C"). He then 'stretches' the intonation of the octaves, plus or minus a very small amount of pitch. These units are called cents"*. Das also ist des Doodle's Kern. Man könnte auch ohne den historischen Zuckerguss (schon die alten Griechen ...) die Patentidee wie folgt formulieren: *Ähnlich wie Klaviere sollten Gitarren gespreizt gestimmt werden.*

Das rechtfertigt einen Blick in die JASA: Schuck/Young zitieren in ihrer Arbeit (JASA 1943) die von **Railsback** gefundene Spreizung. Unterhalb von E_2 und oberhalb von etwa E_6 ist tatsächlich ein erheblicher Effekt zu erkennen, die Klavierstimmung weicht um bis zu 30 cent von der exakt gleichschwebenden ab. Kein Wunder: Im tiefsten Tonkeller muss das untersuchte Pianoforte aus nur ca. 1 m Saitenlänge 27,5 Hz wuchten, ganz oben sind's ca. 4 kHz aus nur 5 cm Saitenlänge – da spielen dispersionsbedingte Inharmonizitäten schon eine Rolle. Bei der Gitarre, nun wie soll man sagen, ohne transatlantische Inkonzilianz aufkommen zu lassen: So direkt 27,5 Hz kann die normal gestimmte Gitarre eher nicht erzeugen, und auch 4,2 kHz sind auf leeren Saiten ein, sagen wir mal, noch unrealisierter Wunsch. Ganz davon abgesehen, dass beim Klavier in Mittellage die unterschiedliche Saitenfrequenz mit fast gleich dicken, aber unterschiedlich langen Saiten erzielt wird, während bei der Gitarre gleich lange, aber unterschiedlich dicke Saiten aufgezogen sind. Schuck/Young sagen explizit: *"The sharpening is least in the two octaves below middle C"*. Sharpening betrifft die Partialtöne und kann synonym für Spreizung gesetzt werden, middle C liegt auf der E_4 -Saite am 8. Bund. Die Saitentonhöhen der Gitarre fallen somit genau in den Bereich, in dem der Piano-Effekt minimal ist. Aber immerhin: 2 cent pro Oktave können lt. Schuck/Young bzw. Railsback schon zusammenkommen, also ca. 0,12%. Beim Piano. Dessen E_4 -Saite ca. 1mm dick ist. Also rund viermal so dick wie eine entsprechende Gitarrensaite! Und deshalb auch viel inharmonischer im Teiltonaufbau.

Irgend etwas muss aber doch dran sein, am Feiten-Patent. Sagt nicht **Larry Carlton**, der kalifornische Gitarren-Gott, über das Feiten-Tuning (übersetzt von Musik-Thomann): *"Ich spiele Gitarre seit ich sechs Jahre alt bin und endlich ist sie auch richtig in tune."* Hierfür könnten einem natürlich mehrere Gründe einfallen*. Wie wär's hiermit: Larry C. wird gerne Mr. 335 genannt – weil er eine Vorliebe zu Gibsons 'Halbresonanzen' zeigte. Falls auf seinen edlen Vintage-Hölzern die Bünde ebenso falsch platziert waren wie auf allen vom Autor nachgemessenen Gibson-Hälsen, könnte eine Überarbeitung der Hälse tatsächlich hörbaren Gewinn gebracht haben. Ob die alleinige Anwendung der Feiten-Offsets aber wesentliche Vorteile bringt, muss jeder Gitarrist selbst heraushören. Hier sind die für E-Gitarren vorgeschlagenen Feiten-Tuning-Offsets, die nach erfolgter Sattel- und Stegpositionierung eingestellt werden:

E:	0 / 0	0 / 0
H:	+1 / 0	0 / -1
G:	-2 / 1	0 / +1
D:	-2 / 1	0 / +1
A:	-2 / 0	0 / +1
E:	-2 / 0	-1 / 0

Feiten-Patent USA-6642442, uspto.gov:

Tuning-Offset in cent gegenüber der gleichschwebend-temperierten Stimmung. Die erste Zahl gilt für die leere Saite, die zweite für die am 12. Bund gegriffene Oktave. Anzuwenden bei E-Gitarren (linke Spalte) bzw. Akustik-Gitarren (rechte Spalte).

Das Feiten-Patent unterscheidet bezüglich der Tuning-Offsets nur zwischen Electric Guitar, Steel String Acoustic Guitar, und Nylon String Guitar. Dass bei umspinnenen Saiten das Verhältnis von Kern- zu Umspinnungs-Durchmesser die Teiltoninharmonizität beeinflusst, wird ignoriert. Andererseits ist aber schon höchste Präzision erforderlich, wie eine Offset-Tabelle für Akustik-Gitarren zeigt: Die hohe E-Saite soll am 12. Bund exakt auf die (reine) Oktave gestimmt werden, bei allen anderen Saiten wird die Oktave um **1 cent** verstimmt. Ganz am Rande: Wird die Saite um **1°C** erwärmt (auch so eine Art Temperaturänderung), dann erniedrigt sich (bei konstanter Einspannung) die Saitenfrequenz um 9 cent. Um im Feiten-Tune zu bleiben, darf die Saite ihre Temperatur beim Spielen also um höchstens 0,1°C ändern! *Lasst, Vater, genug sein ...* [Schiller]. Und vom selben Autor: *Und der Mensch versuche die Götter nicht, und begehre nimmer und nimmer zu schauen, was sie gnädig bedecken mit Nacht und Grauen.* Und weil noch Platz ist, der unvergessene K.-H. Hansen: *Leicht redet daher vom Tausendstel der Jüngling – bis er das Hundertstel erreicht, ist er ein Greis.*

Anekdotisches zum Abschluss: Kommt ein kalifornischer Gitarren-Gott, dessen Name aus rechtlichen Gründen besser unerwähnt bleibt, zum Konzert nach Deutschland. Bringt seine Billig-Klampfe♥ vorher noch schnell ins Musikgeschäft, Steg justieren. Geht aber nicht, weil: Steg ist mit doppelseitigem Klebeband so fest drauf, dass beim forcierten Verschieben Beschädigung droht. Musikgeschäft traut sich nicht, denn der Mensch versuche die Götter nicht, siehe oben, und am selben Abend ist ja das Konzert (pardon, der Gig), und wenn so ein Gott schon mal nach Old-Europe kommt, will man ihm ja nicht gleich die Gitarre versauen. Also: Gitarre unrepariert zurück. Abends: Gott spielt göttlich, trotz des verschobenen Stegs. Oder wegen eines speziellen Tunings? Wer kennt sich mit Göttern schon so genau aus?

* Larry C. ist schon im reiferen Alter, und nicht eben erst 7 geworden. Spontan keimt auch noch der Gedanke auf: Was hätte aus Jimi H. werden können, wenn der rechtzeitig ...

♥ Die Edelhölzer wollte er vermutlich nicht mit auf Tour nehmen.

7.3 Hals- und Saitengeometrie

Die Saite erfährt an ihren Lagern (Kopf- und Stegsattel) eine Richtungsänderung um $4^\circ - 30^\circ$, dieser **Saitenknick** sorgt für die nötige Auflagekraft, aber auch für unerwünschte Reibungskräfte. Ebenso entsteht beim Niederdrücken (Greifen) der Saite ein Knick, an dem Spannkraft und Spielkraft interagieren. Die folgenden beiden Kapitel beschreiben diese Knickgeometrie, Kap. 7.4 widmet sich den hierbei auf die Saite einwirkenden Kräften.

7.3.1 Kopf- und Halswinkel

Bei den meisten Elektrogitarren verläuft die Griffbrett-Oberseite nicht parallel zur Korpus-Oberseite, der Hals ist vielmehr ganz leicht nach hinten abgewinkelt. Der Stegauflagepunkt rückt dadurch weiter von der Korpus-Oberseite weg, was einen größeren Steg-Knickwinkel und damit höhere Steg-Auflagekräfte ermöglicht. Typischerweise beträgt der Halswinkel zwischen $0^\circ - 7^\circ$. Er ist beim eingeleimten Hals unveränderlich; beim geschraubten Hals kann er mit Justierschrauben, Distanzplättchen (SHIMS) oder 'spanabhebend' eingestellt werden.

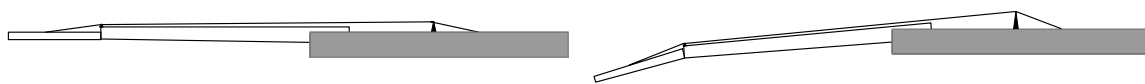


Abb. 7.8: Kopf-, Hals- und Saiten-Knickwinkel. Im linken Bild sind die Winkel zwischen Kopfplatte und Hals, bzw. zwischen Hals und Korpus 0° , im rechten Bild 10° bzw. 5° . (Die Angabe des spitzen Winkels, z.B. 10° anstelle von 170° , ist üblich). Die Saiten-Knickwinkel sind im rechten Bild größer, damit ergibt sich eine stärkere Auflagekraft am Sattel bzw. am Steg.

Die Justage von Halswinkel, Halskrümmung (Stahlstab) und Steghöhe (**Abb. 7.8**) ermöglicht es, die Saitenlage nach den Wünschen des Gitarristen zu justieren. Weitergehende Maßnahmen greifen bei der Bundhöhe an, diese bleiben aber dem Spezialist vorbehalten. Änderung von Halswinkel bzw. Steghöhe bewirkt bezüglich der Saitenlage dasselbe, Tonabnehmerabstand und Steg-Saitenknickwinkel ändern sich allerdings. Wenn die Gitarre in höheren Lagen (um den 12. Bund) gespielt wird, und die Saiten schnarren zu stark, muss entweder der Steg angehoben oder der Hals etwas nach vorne gekippt werden. Wenn jetzt beim Spiel in unteren Lagen die Saitenlage zu hoch ist, kann der Stahlstab vorsichtig (!) stärker gespannt werden. Die Hersteller empfehlen eine leicht konkave Griffbrettkrümmung (zwischen Sattel und Steg). Hier muss aber jeder Gitarrist seine Ideallinie finden. Wer für Solospiel eine niedrige Saitenlage bevorzugt, kann den Hals auch linealgerade einstellen – konvexe Krümmung ist aber zu vermeiden. Wer hauptsächlich Akkorde in tiefen Lagen spielt, wird eine stärkere Konkavität bevorzugen. Die Unterschiede bewegen sich aber immer nur im Bereich von wenigen Zehntel Millimetern.

Zuletzt nochmals die **Warnung**: Der Stahlstab kann abreißen, dann muss zum Austausch u.U. das (aufgeleimte) Griffbrett entfernt werden, oder (falls eingeschraubt), der Hals ausgetauscht werden. Deshalb Vorsicht vor Heimwerkern – und ambitionierten "Fachverkäufern"!

Die Auswirkung des Halswinkels auf den **Klang** ist und bleibt ein Mysterium: In dem Buch "The Gibson" [13] wird der Halswinkel (HW) der 52er **Les Paul** mit 1° angegeben. In den Folgejahren gibt es diesbezüglich mehrere Änderungen, die Neuauflage (Ende der 60er) kommt mit HW bis zu 7° auf den Markt. Der 1952er Originalausgabe mit 1° HW wird "very good sustain" attestiert, der 53er Les Paul (3°) immerhin noch "good sustain".

Als dann 1960 der HW auf 5° anwächst, bemerkt man *"less sustain"*, und *"in the 1970s it was increased to 7°. A lot of players at that time complained that the guitar sound became harsh and had less sustain compared to the older models. The reason was of course the much steeper angle of the neck"*. Of course? Das Buch liefert Vermutungen, ohne Begründungen. In der 5-seitigen Les-Paul-Historiographie werden so viele Detailänderungen beschrieben, dass man meinen könnte, nur Saitenanzahl und Name blieben unverändert. Geändert wurden: Die Bünde, Hals- und Korpusmaterial, der Halsquerschnitt, die Anzahl der Hals- und Korpusteile, die Stegkonstruktion (mindestens 7 Varianten!), die Tonabnehmer ... der Halswinkel war da nur ein Detail von vielen! Mangels genauerer Daten werden aber solche Vermutungen begierig aufgegriffen und verbreiten sich explosionsartig in der Gitarrenwelt. "Die alten Les Pauls, inzwischen für sechsstelligen Liebhaberpreise gehandelt, enträtselt: der Halswinkel war's."

Lassen wir hierzu zwei Experten zu Wort kommen: *"Die ersten Gibson Gold-Tops hatten eine sehr flache Halsneigung... Diese Anordnung ließ das Sustain leiden. So um 1953 wurde die Halsneigung größer... sorgte für verbessertes Sustain."* Soweit Bacon/Day im Les-Paul-Book. Ganz anders schreibt Jun Takano in *The Gibson*: *"The angle of the neck joint was 1° when the Les Paul Model was introduced. The sustain of the guitar was very good because of the shallow angle of the neck. In 1953, when the bridge was changed to a stud type, the angle of the neck joint was altered to 3°. However, sustain was still good, because the neck angle remained shallow."* Während Bacon/Day meinen, dass mit größer werdendem Halswinkel das Sustain besser wird, vermutet Takano genau das Gegenteil: *"As the angle of the neck gets shallower, the string tension* gets lower and sustain gets longer."* Beide Autoren berichten jedoch übereinstimmend über den Steg: Auch er wurde 1953 geändert, und somit gibt es zumindest zwei potentielle Ursachen für Sustain-Änderungen.

Änderungen beim Halswinkel können zweierlei bewirken: Sie verändern die Geometrie des Instruments, und damit dessen Eigenschwingungen, und sie können den stegseitigen Saiten-Knickwinkel verändern. Aber: Der hängt von *zwei* Saitenteilstücken ab! Als ab 1954 mit Einführung der Tune-O-Matic Bridge eine erneute Stegänderung anstand, konnte der Knickwinkel eingestellt werden und ward fürderhin nicht mehr dem Halswinkel ausgeliefert.

Da man den Hals einer 1954er Les Paul nun nicht probeweise herausreißen und unter anderem Winkel einleimen will, bleibt nur das etwas dürftige **Fazit**: Über den Halswinkel gibt es viele Spekulationen, da sollte nicht noch eine weitere hinzukommen. Lassen wir stattdessen nochmals die Fachliteratur Revue passieren:

"Besonders gut ist der Klang, wenn der Halswinkel 3,5° beträgt. Man kann sagen, dass der Ton bei 3,5° eher singend ist, bei 4° ist er fetter in den Bässen, dafür singt er nicht so." Gitarrenbauer Thomas Kortmann, *Gitarrist.net*. Nun hätten wir natürlich schon noch gerne gewusst, wie's bei 3,6° klingt. *"Der Klang einer E-Gitarre wird vor allen Dingen von den Saiten-Knickwinkeln bestimmt."* *E-Gitarren*, S.89. Das wird all jene freuen, die minderwertige Tonabnehmer haben. *"Es wird häufig erzählt, Gibson habe mit dem neuen McCarty-Steg auch den Halswinkel erhöht. Das ist ein Mythos, denn es stimmt nicht. Eine Les Paul mit Stud hat den gleichen Halswinkel wie eine frühe mit Trapeze. Deutlich größer wurde der Halswinkel erst 1955... und ein noch besseres Sustain war die Folge."* *G&B, Gibson-Sonderheft, 2002, S. 15*. Ob das eine kausale oder temporäre Folge war, wird nicht näher spezifiziert.

* Wobei die Spekulation über die Saitenspannung sicher keine physikalische Grundlage findet: Bei unveränderter Saite hängt die Tonhöhe nur von der Saitenspannung ab – diese bleibt folglich unverändert.

7.3.2 Saitenniederhalter (String Tree)

Die Saiten der Gitarre liegen auf zwei schmalen Stegen auf, die *Kopfsattel* und *Stegsattel* genannt werden. Damit hier ein spielfreier Kraftschluss entsteht, muss die Saite eine Richtungsänderung erfahren, d.h. unter einem Knick verlaufen. Dieser Knickwinkel ist gitarrenspezifisch, er variiert beim Kopfsattel zwischen 5 – 15°. Um diesen Knick am oberen Saitenenden zu erreichen, verläuft bei der klassischen Methode die Kopfplatte relativ stark nach hinten abgewinkelt, so dass z.B. bei der Martin D45 ein kopfseitiger Saitenknickeinkel von 15° entsteht. Auch Gibsons Elektrische erreichen diesen Wert oder übertreffen ihn sogar noch. Anders bei Fender: Weil hier aus Gründen der Materialökonomie die Kopfplatte nicht abgewinkelt wird, ergibt sich nur ein kleiner Knickwinkel (**Abb. 7.9**), sodass beim Spielen leerer Saiten Schnarrgeräusche entstehen. Abhilfe schafft eine hakenförmige Saitenführung, die insbesondere die H- und E₄-Saite (bei einigen Gitarren auch die D- und G-Saite) umlenkt und zur Kopfplatte hinzieht.

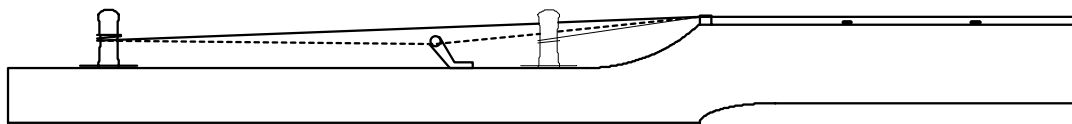


Abb.7.9: Querschnitt durch die Kopfplatte einer Stratocaster. Ohne Saitenniederhalter beträgt bei der E₄-Saite der Saitenknickeinkel nur 2°, mit Niederhalter 6° (gestrichelt). Bei der E₂-Saite (dünn gezeichnet) ist auch ohne Niederhalter der Knickwinkel ausreichend groß.

String-Trees werden in verschiedenen Formen angeboten: Als Vintage-Original (geprägter Blechstreifen = Butterfly), als Rollenlager (Roller String-Tree), als Beilagscheibe oder als dünner querstehender Stift. Sie vergrößern den Knickwinkel am Stegsattel, aber sie erzeugen auch eine zusätzliche **Reibung** bei Saitenlängsbewegungen, und das wird als unerwünscht betrachtet. Der Umschlingungswinkel kann am String-Tree einer Fender-Gitarre bis zu 7° betragen, was eine zusätzliche Reibungskraft erzeugt, die sogar noch etwas größer ist als die vom Kopfsattel verursachten Reibung. Allerdings: Ein Gibson-typischer Saitenknickeinkel von z.B. 15° ist 2,5 mal so groß wie sein fenderiger Konkurrent, und trotzdem ist in Gitarristenkreisen nichts über die Unbespielbarkeit dieser Gitarren bekannt. Das soll nun nicht heißen, Reibung wäre generell kein Problem: Es gibt scharfkantige Butterfly-String-Trees, an denen sich die Saiten-Umspinnung regelrecht festkrallt. Ohne nun in die Experten-Diskussion einzusteigen, was – bei Leo – auf den umspinnenen Saiten ein String-Tree zu suchen habe, lässt sich in diesem Fall für Abhilfe sorgen: Mit einer feinen Feile, oder/und mit einem praktisch unsichtbaren Teflonstreifen. Hilft der Mechanik, und schadet nicht der Optik. Auch Öl, Vaseline oder Maschinenfett ist geeignet, die Reibung zu reduzieren.

Verändert ein String-Tree den **Klang**? Gemeint ist jetzt nicht die erhoffte Verbesserung durch Vergrößerung der Saitenauflegekraft, sondern zusätzliche, ggf. unerwünschte Effekte. Sehr theoretisch betrachtet können sich durch diese Zusatzmasse die Eigenfrequenzen der Kopfplatte verstimmen, das hat aber keine praktische Relevanz. Ähnlich ist es bei den Eigenfrequenzen der über der Kopfplatte verlaufenden Saiten: Schlägt man leere Saiten an und dämpft mit der Hand diese Saitenreste, treten beim "elektrischen Klang" keine hörbaren Änderungen auf. Und der *akustische* Klang einer E-Gitarre ist sowieso unerheblich (Kap. 8).

7.4 Saitendynamik

An dieser Stelle steht *Dynamik* nicht im Gegensatz zu *Statik*, sondern weist im Sinne von *Dynamis* auf die an der Saite angreifenden Kräfte hin. Dieses Thema wurde schon in Kap. 1 und 2 beschrieben, aber eher theoretisch, ohne Bezug zu einer speziellen Saitenlagerung. In Kap. 7.4.1 erfolgt nun die Analyse der realen Spielsituation, wenn der Finger der Greifhand die Spielkraft F aufbringen muss, um die Saite herunterzudrücken bzw. um Bendings zu erzeugen (die Saite zu "ziehen"). Da die Saite hierbei bis zum Bund ausgelenkt werden muss, kommen zwei Themenkreise zusammen: Die Saitendynamik und die Gitarrengeometrie. In Kap. 7.4.2 folgt die Betrachtung der von der Saite auf die Lager (Steg- und Kopfsattel) übertragenen Kräfte, sowohl im statischen Zustand, als auch bei der schwingenden Saite.

7.4.1 Spielkräfte

Die Finger müssen beim Niederdrücken der Saite die quer zur Saitenrichtung verlaufende Kraft F aufbringen. Nimmt man als Beispiel an, dass eine Saite am 12. Bund in Querrichtung um die Distanz η ausgelenkt werden soll, so beträgt die hierfür aufzuwendende Querkraft F :

$$F = 4 \cdot \Psi \cdot \eta / M \qquad \Psi = \text{Spannkraft, } M = \text{Mensur}$$

Die Spannkraft Ψ ergibt sich aus der Schwingungs-Differentialgleichung zu:

$$\Psi = \pi \bar{\rho} \cdot (A \cdot M \cdot f_G)^2 \qquad A = \text{Gesamtdurchmesser, } \bar{\rho} = \text{mittlere Dichte}$$

Hieraus errechnet sich die beim Greifen am 12. Bund aufzuwendende Spielkraft zu:

$$F = 4\pi \bar{\rho} \cdot \eta \cdot M \cdot A^2 \cdot f_G^2 \qquad \text{Kraft zum Niederdrücken der Saite}$$

Die Spielkraft ist proportional zur **Mensurlänge**: Elektrogitarren mit 25,5"-Mensur (648 mm) erfordern um 6,25% höhere Kräfte als 24"-Gitarren (610 mm). Die Spielkraft ist proportional zur **Saitenlage**: Wenn der Abstand zwischen Saite und Bund um 10% vergrößert wird, so erhöht sich die Spielkraft ebenfalls um 10%. Die Spielkraft ist proportional zum Quadrat des **Saitendurchmessers**: Wenn statt einer 9-mil-E-Saite eine 10-mil-E-Saite verwendet wird, so erhöht dies die Spielkraft um 23%. Die Spielkraft ist für alle Saiten dieselbe, wenn sich der Durchmesser reziprok zur Grundfrequenz verhält. Bei den umspinnenen Saiten ist hierbei zu berücksichtigen, dass ihre effektive Dichte um ca. 10% geringer ist als die der massiven Saiten (Anhang A1). Leicht spielbare Saiten erfordern Spielkräfte zwischen 0,5 – 1,5 N, bei dicken Saitensätzen sind die Spielkräfte ungefähr doppelt so groß.

Beim **Saitenziehen** wird die Saite nicht nur gegen den Bund gedrückt, sondern zusätzlich in Querrichtung gedehnt, was zu einer deutlich wahrnehmbaren Tonerhöhung führt. Bei einer schnellen Querbewegung des greifenden Fingers kann hiermit ein Vibrato erzeugt werden, bei langsamen Bewegungen entstehen Glissandi, die häufig einen Ganzton betragen. Da die Saiten-Spannkraft Ψ proportional zum Quadrat der Frequenz verläuft, bedeutet eine Tonerhöhung um einen **Ganzton** eine Spannkraft-Zunahme um 26%. Die Spannkraft ist proportional