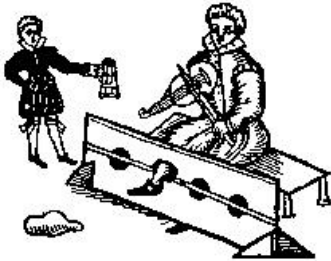


Kapitel 5: Schwingungserzeugung durch Saiten

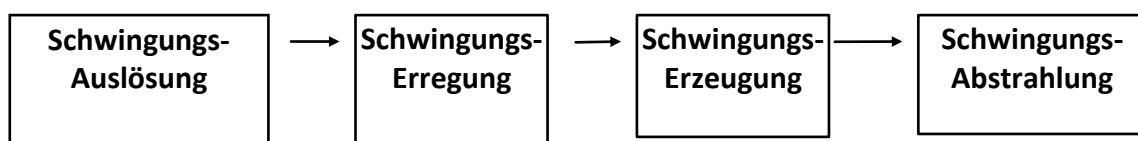


In den bisherigen Kapiteln sind akustische Schwingungen *beschrieben* und die Möglichkeiten von deren Verarbeitung im menschlichen Ohr und in Computern diskutiert worden. Nun stellt sich die Frage, wie akustische Schwingungen *entstehen* und wie Instrumente gebaut sein oder bedient werden müssen, damit musikalisch brauchbare Schwingungen hinaus in die weite Welt gesendet werden können.

5.1. Allgemeines zur Instrumentenkunde

Gewisse Menschen oder Menschengruppen werden im Musikerjargon oft mit Worten wie „Holzbläser“, „Schlagzeuger“, „Streicher“, „Blech“ oder „Keyboarder“ bezeichnet. Das Saxophon gehört zum „Holz“, das Alphorn zum „Blech“. Pianistinnen sind keine „Schlagzeugerinnen“ und ein Cembalo steht nicht bei den Zupfinstrumenten. Dass in der Windharfe Saiten geblasen oder im Clavichord Saiten geschlagen werden, ist für die Alltagsterminologie fast ebenso uninteressant wie die Tatsache, dass eine Maultrommel dem Akkordeon näher steht als der Trommel. Kurzum: im Alltag werden Tätigkeiten (wie zupfen, streichen, blasen und schlagen), Baumaterialien (wie Blech oder Holz, nicht jedoch Darm oder Nylon) oder äußeres Aussehen (wie Keyboard = Brett mit Tasten [„keys“]) oder Ähnlichkeit mit dem Klang anderer Instrumente (wie Maultrommel) oder Beschimpfungen (wie im Schlagzeug) munter durcheinander gemischt. Die Terminologie ist verständlich und begründbar. So ist die Bezeichnung „Blech“ deshalb gebräuchlich, weil Blech vor wenigen Jahrhunderten teuer war und der Besitz von Blechblasinstrumenten daher ein feudales Privileg gewesen ist. „Blasen“ durfte ein Dorfmusikant, nur eben nicht auf Blechinstrumenten.

In der musikalischen Akustik ist man um eine Terminologie bemüht, die nicht historische und sozialpsychologische, sondern physikalische Gegebenheiten widerspiegelt. Diese Terminologie weicht daher teilweise von der des Alltags ab. Sie beruht auf folgendem Funktionsschema aller Musikinstrumente:



Am **Klavier** illustriert: Die Saite ist der Schwingungserzeuger, der vom Hammer erregt wird. Der Hammer wird durch die Taste ausgelöst. Die Saite, die in einen gusseisernen Rahmen eingespannt ist, überträgt ihre Schwingung über den Steg auf den sog. Resonanzboden, der sie abstrahlt. Die Musikalische Akustik sieht im Schwingungserzeuger den „Kernbestand“ eines Instruments. Nicht nur, weil hier die Schwingung *entsteht*, sondern auch, weil für alle Instrumente mit genau definierter Tonhöhe ein Gesetz gilt, wonach die *Tonhöhe allein vom Schwingungserzeuger* (und nicht von der Erregung oder Abstrahlung) abhängt. Dies Gesetz wird später an allen konkreten Einzelfällen überprüft werden. Es ist evident, dass es eine wichtige Basis der Musikpraxis ist, denn nur aufgrund dieses Gesetzes kann eine GitarristIn beliebig stark und mit unterschiedlichen Gerätschaften an ihrer Saite zupfen, die Tonhöhe bleibt immer dieselbe.

Die Schwingungserzeuger werden nach ihrem Materialtyp und nach ihrer Dimensionalität eingeteilt. **Materialtypen:** elastische Saiten, Luft(rohre), schwingende Elektronen(zustände), Festkörper aus Holz oder Metall. **Dimensionen:** eindimensional (Saiten, Luftrohre, elektrische Schwingkreise), zweidimensional (Membrane, dünne Platten), dreidimensional (Festkörper wie dicke Gongs, Xylophonplatten, Triangel). Der Unterschied zwischen ein- und mehrdimensionalen Schwingungserzeugern liegt vor allem in der Struktur der abgestrahlten Schwingung. Sie ist nur bei eindimensionalen Schwingungserzeugern periodisch und somit Ausgangspunkt eindeutiger Tonhöhenempfindungen. - Da immer wieder das Wort „elastisch“ auftaucht, hier eine kurze Definition: wird ein elastisches Material durch Einwirken einer Kraft verformt (z.B. eine Saite ausgelenkt), so wirken Gegenkräfte, die nach Aufhören der verformenden Einwirkung die Ursprungsform wiederherstellen. „Elastische Körper“ müssen also eine „Form“ haben. Gase haben dies nur, wenn sie sich in einem „Rohr“ befinden, weshalb in der Musikpraxis nicht Luft an sich, sondern eine in ein Rohr eingesperrte Luftsäule als elastischer Körper behandelt wird.

Das folgende Schema ist als Fazit der akustischen Überlegungen die Basis der Terminologie einer „systematischen Instrumentenkunde“:

	1-dimensional			2-dimensional	3-dimensional
	Saiten-instrumente	Luftin-strumente	Elektronische Instrumente	Membran-instrumente	Festkörper-instrumente
<i>Schwingungs-erzeugung</i>	Saite	Luftsäule (Luftrohr)	elektronische Schwingkreise	elastische Membranen	teil-elastische Festkörper
<i>Schwingungs-erregung</i>	streichen	blasen durch Lippen	analog	schlagen	schlagen
	zupfen	blasen durch Rohrblatt	digital	blasen	zupfen
	schlagen	blasen durch Schneide		reiben	reiben, streichen
	blasen				

Abb. 5.1 Systematik der Instrumente

Beispiele: Saite streichen (Geige), zupfen (Gitarre), schlagen (Hammerklavier), blasen (Windharfe). Luftrohr durch Lippen (Trompete), durch Rohrblatt (Oboe), durch Schneide (Flöte) blasen. Membrane schlagen (Trommel), blasen (Kazoo), reiben (Becken mit Bogen). Festkörper schlagen (Xylophon), zupfen (Sanza), reiben, streichen (Klangschale mit Bogen).

5.2. Eigenschaften der Saite als Schwingungserzeuger

Experiment 5.2a. Saite und Tonhöhe

Eine Saite wird (a) auf unterschiedliche Art und Weise erregt und (b) die Schwingung der Saite selbst, des Instrumentenkörpers und der angeregten Luft miteinander verglichen. Wir messen jeweils die Frequenz und die Form der Schwingung. Ersteres quantitativ mittels eines Frequenzmessgeräts, letzteres qualitativ über ein Oszilloskop. Zur qualitativen Kontrolle wird auch unser musikalisches Ohr eingesetzt.

Ein Kontaktmikrofon (das ausschließlich Festkörperschwingungen aufnimmt) ist am Korpus des Saiteninstrumentes angebracht, es überträgt die Schwingung des Teils, an dem es befestigt ist. Ein (Luft-)Mikrofon nimmt die abgestrahlten Schallwellen auf.

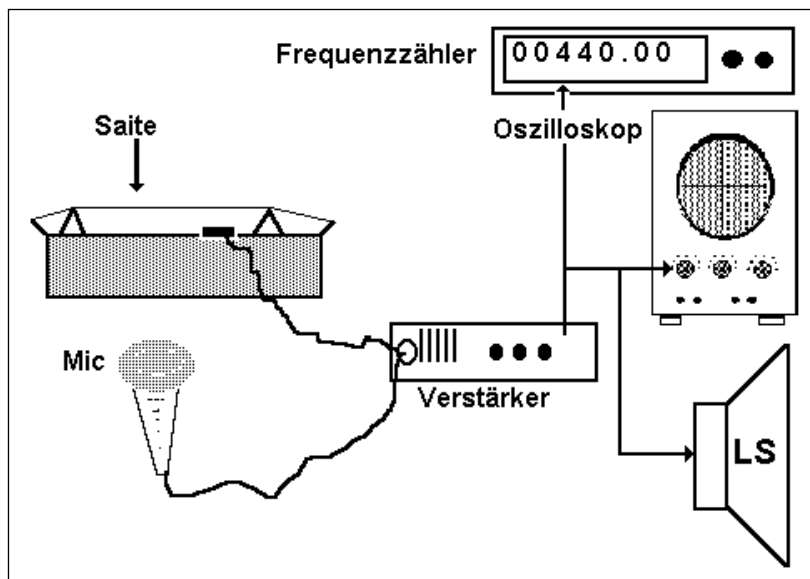


Abb. 5.2 Versuchsaufbau

Ergebnis des Experiments:

- Die Frequenz der Schwingungen ist an *allen* in diesem Experiment zugänglichen Stellen dieselbe: an allen Orten des Instruments *und* in der Luft. Auch mittels Ohr kann überprüft werden, dass stets dieselbe Tonhöhe erzeugt wird.
- Diese Frequenz (und damit die Tonhöhe) ist nicht von der Art der Saitenerregung abhängig, auch nicht von der Intensität.
- Unterschiedliche Erregungen erzeugen lediglich andere

Schwingungsbilder. An den unterschiedlichen Stellen des Instruments werden ebenfalls unterschiedliche Schwingungsbilder - bei stets gleichbleibender Frequenz - festgestellt.

- Erregungsart und Art der Abstrahlung haben Auswirkungen auf die Dauer und den Verlauf des gehörten Tons.

Wir werfen einen propädeutischen Blick in ein **Hammerklavier**: die tiefsten Saiten bestehen aus einem mit Kupfer- oder Eisendraht umspinnenen Stahldraht, die nächst höheren aus dickem Draht, ca. Mitte bestehen alle aus gleich dickem Draht. Von der Tiefe bis zur Mitte wird also neben der Saitenlänge auch die Dicke der Saite variiert. Ab Mitte wird nur noch die Länge variiert. Wir können zwar nicht überprüfen, wie groß die Spannungen der jeweiligen Saiten sind, durch deren Variation KlavierstimmerInnen das Klavier stimmen, nehmen aber - zu Recht - an, dass diese bei gleichem Material für alle Saiten ziemlich gleich ist. (In der Tat hat ein bestimmtes Material eine bestimmte Spannung, bei der die Saite optimal schwingt. JedeR weiß das, die/der einmal versucht hat, einer Gitarre eine „falsche“ Saite aufzuziehen! Die Materialien der Gitarrensaiten sind auf die jeweilige Tonhöhe/Spannung hin optimiert.) Beim Klavier werden also die folgenden Parameter einer Saite variiert:

- Länge (bei allen Saiten),
- Dicke oder Querschnitt oder Masse (vornehmlich bei den tiefen Saiten),
- Spannung (nur in kleinen Grenzen beim Stimmen).

Experiment 5. 2b. Saitenlänge und Frequenz

Wir untersuchen zunächst an einem Kontrabass den Zusammenhang von Länge einer Saite und Frequenz des erzeugten Tons. Bleiben während des Versuchs Dicke, Querschnitt, Masse und Spannung der Saite unverändert, so bekommen wir nach Experiment 5. 2a Aussagen, die allgemein gültig sind.

Ergebnis:

Für ein und dieselbe Saite gilt: Je kürzer die Saite, umso größer die Frequenz und umso höher der Ton.

Unabhängig von der Frequenz des Grundtons (Schwingung der unverkürzten Saite) sind die Frequenzverhältnisse bei denselben Längenverhältnissen zweier Saiten stets gleich. Ein bestimmtes Längenverhältnis (zum Beispiel 2:3) führt stets zum selben Frequenzverhältnis, also bei dünnen, langen, schlaffen, rotgrünen Saiten, Stahl-oder Nylonsaiten.

Der Zusammenhang von Längen- und Frequenzverhältnis wird durch die Formel beschrieben:

$$\text{Länge}_1 : \text{Länge}_2 = \text{Frequenz}_2 : \text{Frequenz}_1$$

(„Längen und Frequenzen verhalten sich umgekehrt proportional“.) Unser musikalisches Gehör verbindet mit bestimmten Frequenzverhältnissen bestimmte musikalische Intervalle. (Man kann auch sagen: gewisse Intervalle sind durch die Frequenzverhältnisse definiert.) Abbildung 5.3 zeigt das Gesamtsystem der abendländischen Intervallik.

Bei den meisten Saiteninstrumenten werden die Saitenlängen dadurch verändert, dass auf einem Griffbrett die Saitenlängen „abgegriffen“ werden. Dies geschieht nach folgender Arithmetik:

Grundton (1:1)	
Oktav (1:2)	1:2
Quinte (2:3)	1:3
Quarte (3:4)	1:4
große Terz (4:5)	1:5
kleine Terz (5:6)	1:6
---	1:7
(großer) Ganzton (8:9)	1:8
(kleiner) Ganzton (9:10)	1:9
usw.	
(chromatischer) Halbton (15:16)	

Abb. 5.3 Die musikalischen Intervalle und die Saitenlängenverhältnisse

Erläuterung am Beispiel der großen Terz: bei $1/5$ Saitenlänge wird „abgegriffen“, die Saite wird um $1/5$ verkürzt, so dass nur noch $4/5$ der Saite schwingen. Der höhere Ton ($4/5$ Saitenlänge) ist um eine große Terz höher als der tiefer Ton (ganze Saite). Verkürzte „Terz-Saite“ verhält sich zur ganzen „Grundton-Saite“ wie 4 zu 5. Das Intervall der großen Terz entspricht dem Längenverhältnis 4 : 5 oder (gleichbedeutend) dem Frequenzverhältnis 5 : 4.

Anwendung: „aus Addition wird Multiplikation“

Umgangssprachlich sagt man „eine große Terz *und* eine kleine Terz sind eine reine Quint“ und es herrscht die Vorstellung des Notenbildes, dass Intervalle „addiert“ werden. „Quint + Quart = Oktav“ usw. Die entsprechenden Längen oder Frequenzverhältnissen jedoch können nicht zusammengezählt, sondern müssen miteinander multipliziert werden.

<i>Sprachgebrauch</i>	<i>Saitenlängenverhältnisse</i>	<i>Frequenzverhältnisse</i>
Quint + Quarte = Oktav	$(2:3) \times (3:4) = (1:2)$	$(3:2) \times (4:3) = (2:1)$
gr. Terz + kl. Terz = Quint	$(4:5) \times (5:6) = (1:2)$	$(5:4) \times (6:5) = 3:2$
usw.	usw.	usw.

oder bildlich/schematisch dargestellt:

Oktav 1:1			
Quinte 2:3		Quarte 3:4	
gr. Terz 4:5	kl. Terz 5:6	kl. Terz 5:6	Ganzton 9:10
Ganzton 8:9	Ganzton 9:10		

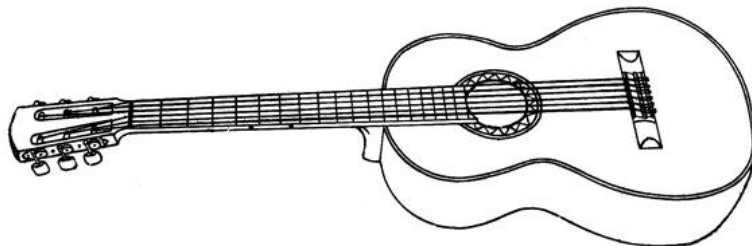


Abb. 5.4 Bünde der Gitarre

(mit der Länge $2/3$) nochmals um $1/4$, so erhält man die Quarte über der Quinte, als $3/4$ der kürzeren Saite von $4/5$, das heißt $3/4$ von $4/5$ oder $3/4 \times 4/5$. Auch rein rechnerisch ist nachzuvollziehen, dass $(2:3) \times (3:4) = (2/3) \times (3/4) = 2/4 = (1:2)$ ist, während $(2:3) + (3:4) = 17/24$ und nicht $1/2$ ist.

Die Begründung für diese „Additions-/Multiplikationsregel“ ist folgende Überlegung am Beispiel „Quint + Quart“: kürzt man eine Saite erst um $1/3$, so entsteht die Quinte über dem Grundton; kürzt man diese kürzere Saite

Diese Additions-Multiplikationsregel ist auch ein Grund dafür, dass die Bünde auf einer Gitarre kontinuierlich kleiner werden. Und die Tatsache, dass musikalisch empfundene Differenzen mathematisch-physikalisch betrachtet Verhältnisse sind, kommt uns schon bekannt vor: genau so war es bei der Schallintensität kurz vor der Einführung von Dezibel (Kapitel 2.2).

Alle hier festgestellten musikalischen Verhältnisse gelten nur für „gute“ Saiten - MusikerInnen wissen hiervon ein Lied zu singen. Ist eine Saite nicht absolut homogen, z.B. unterschiedlich dick, so sind die gegriffenen Intervalle ebenfalls verstimmt. Es gibt eine Formel, mit der sich die Frequenz aus Materialeigenschaften bestimmen lässt, sie lautet:

$$f = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{S}{\rho F}}$$

Dabei ist L die Saitenlänge, S die „Spannung“ (Kraft), ρ die Dichte des Materials und F die Querschnittsfläche. (Streng genommen muss noch ein konstanter Faktor hinzugenommen werden, der aber bei den Verhältnissen [Intervallen] keine Rolle spielt.)

5.3. Im Innern der „Black Box“ Saite

Überlegung 1

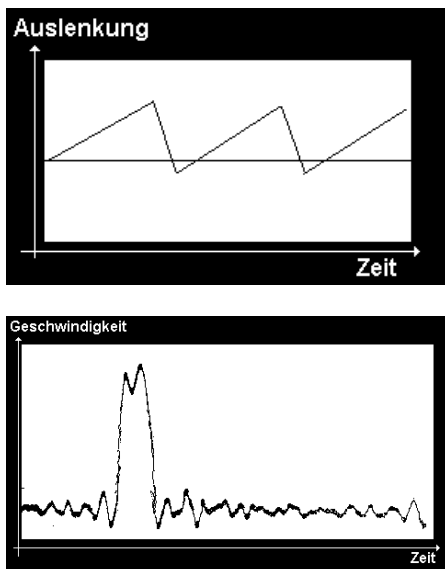


Abb. 5.5 Saitenbewegung beim Streichen

Wird eine Saite mittels Bogen gestrichen, so passiert folgendes: Der Bogen haftet an der Saite und nimmt, indem er sich bewegt, die Saite ein Stück weit mit, lenkt sie aus. Wenn die rücktreibende Kraft der elastischen Saiten stärker als die Haftreibung Bogen-Saite ist, dann gleitet die Saite am Bogen entlang zurück in ihre Ruhelage (oder darüber hinaus), wird aber gleich wieder durch den sich stetig weiter bewegenden Bogen gebremst bis die Saite wieder haftet. Der zeitliche Verlauf der Saitenauslenkung ist dann der von Abbildung 5.5 oben (der waagrechte Strich kennzeichnet die Ruhelage der Saite): In der Tat hat die von einer Saite und den Saiteninstrumenten abgegebene Schwingung große Ähnlichkeit mit einer Sägezahnschwingung. Die Saite hat dabei kurzfristig (während der Rückbewegungsphase) eine sehr hohe, ansonsten eine relativ geringe Geschwindigkeit. Im unteren Teil von Abbildung 5.5 sieht man die Geschwindigkeitsänderungen, die von einer periodischen Verdrillung der Saite herrühren.

Überlegung 2

Hiernach ist zu erwarten, dass das Hin- und Her der Saite, das ja letztendlich für die Frequenz der Saitenschwingung verantwortlich ist, von der Geschwindigkeit und den Hafteigenschaften des Bogens abhängt. Dies ist aber nicht der Fall! Weder spielt für die Frequenz der Saitenschwingung eine Rolle, wie gut der Bogen haftet (d.h. mit Kolophonium eingerieben ist), noch wie schnell er bewegt wird. Die Saitenfrequenz ist beim Streichen dieselbe wie beim Zupfen der Saite - sie hängt nur von „internen“ Eigenschaften der Saite ab, nicht von der Erregung.

Die Bogenbewegung muss die Saite zu „Eigenschwingungen“ anregen, die so stark und dominant sind, dass die Haft- und Gleitreibung beim Streichen keine Rolle spielen. Was ist die „Eigenschwingung“ einer Saite? Um die „Eigenschwingung“ der Saite - gedanklich - zu testen, zupfen wir und betrachten zunächst nur *einen einzigen Saitenpunkt*: Die Saite wird einmalig aus der Ruhelage gebracht, nach Loslassen der auslenkenden Kraft wirkt die rücktreibende Kraft, die Saite schnell über ihre Ruhelage hinaus bis sie durch entgegengesetzt rücktreibende Kräfte wieder zurückgeholt wird usw. Ist die rücktreibende Kraft der Auslenkung proportional, so entsteht - wie bei einer Schaukel - eine periodische Schwingung, die aufgrund von Energieverlust durch Reibung gedämpft ist.

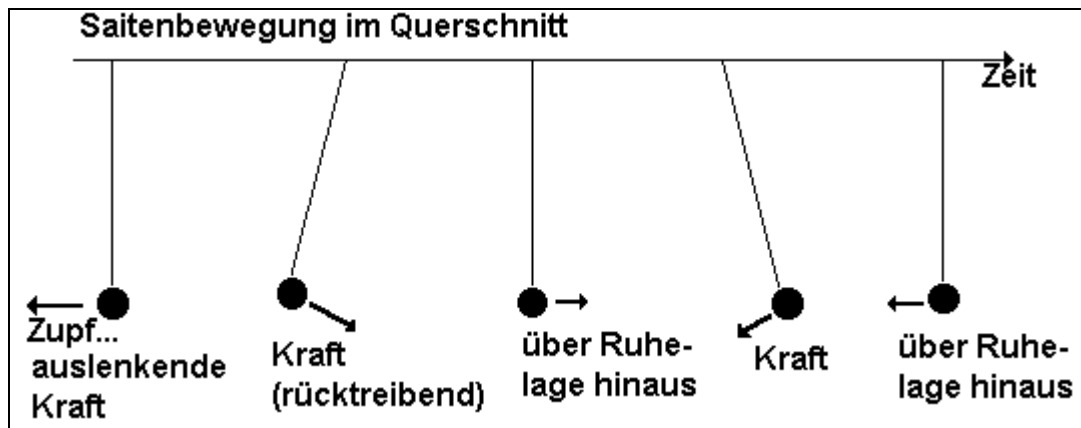


Abb. 5.6 Bewegung eines isolierten Saitenpunktes (Querschnitt)

Überlegung 3

Nun besteht die Saite aber aus elastisch miteinander verbundenen Einzelteilen. Wird an einer Stelle ausgelenkt, so braucht es eine gewisse Zeit, bis sich diese Auslenkung auf die anderen Saitenteile ausbreitet. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist die „Wellengeschwindigkeit“ in der Saite. Die folgenden Bilder geben einen Eindruck, wie die Auslenkung am einen Ende eine „Wanderwelle“ auslöst, die am andere Ende entweder absorbiert oder reflektiert wird:

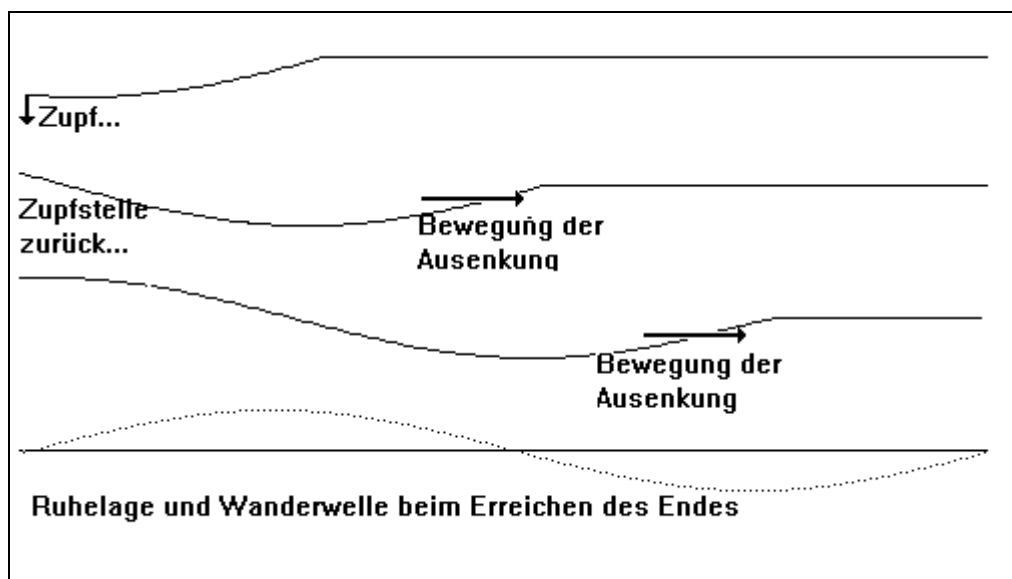


Abb. 5.7 Wanderwelle in der Saite

Nach der Reflexion überlagern sich die ursprüngliche und die reflektierte Welle. Alles läuft sehr schnell ab. Soll die Saite dauerhaft schwingen, so müssen ein paar 100 Hin- und Herbewegungen stattfinden. Es bilden sich also Zustände aus, die einigermaßen stabil sind, und solche Zustände können nur dann eintreten, wenn die materialbedingte Wellengeschwindigkeit und die Länge in einem solch „harmonischen Verhältnis“ stehen, dass hin- und herlaufende Wellen regelhafte Knoten und Bäuche bilden. Was hier plausibel gemacht wird, kann in Experimenten gezeigt, in Simulationen demonstriert und mathematisch hergeleitet werden. Im Kurs verwenden wir zur Demonstration ein sog. *Seilwellengerät*, mit einem die Saite anregenden Motor und einer 60 cm langen Schnur. Es zeigt folgende Bilder je nach Spannung der Schnur:

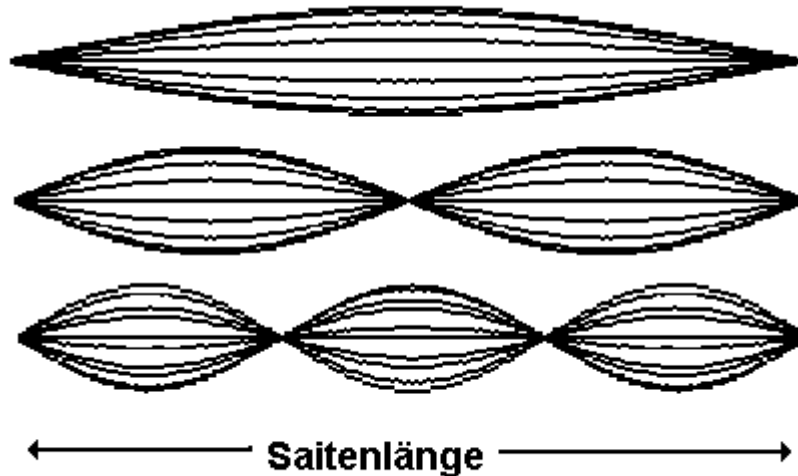
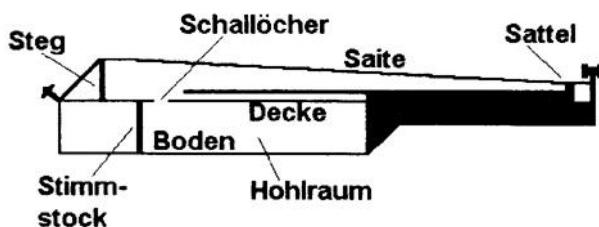


Abb. 5.8 Stehende Wellen am Modell

Zusammenfassung: Durch einmaliges Zupfen oder durch Streichen mit einem Bogen wird die Saite zu Eigenschwingungen erregt, die einigermaßen stabil sind. Technisch lässt sich das Phänomen der Eigenschwingung als „stehende Welle“ oder Überlagerung stehender Wellen erklären, was wiederum eine Folge der endlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit in der Saite ist. Bei ein und derselben Saite ist diese Ausbreitungsgeschwindigkeit immer gleich (d.h. von der Frequenz unabhängig) und die Größe der Knoten und Bäuche und damit die Frequenz der stabilen Zustände hängt nur noch von der Saitenlänge ab.

5.4 Funktionen des Instrumentenkörpus bei Saiteninstrumenten

Eine Saite kann noch so gut schwingen, hören kann man das Saiteninstrument nur, wenn die Saite die Luft zu Schwingungen anregt, die sich zum menschlichen Ohr fortpflanzen. Hat die Saite eine nicht oder kaum schwingungsfähige Befestigung wie bei E-Gitarren oder E-Bass, so werden nur wenige Luftmoleküle durch die Saitenschwingung erregt. Man hört fast nichts. Daher Abbildung 3.1! Die Saitenschwingung muss aber, wenn nicht elektrische Tricks eingesetzt werden sollen, auf Körper übertragen werden, die Schwingungen besser abstrahlen, d.h. an die Luft abgeben können. Bei einer Geige sieht der entsprechende Mechanismus folgendermaßen aus:



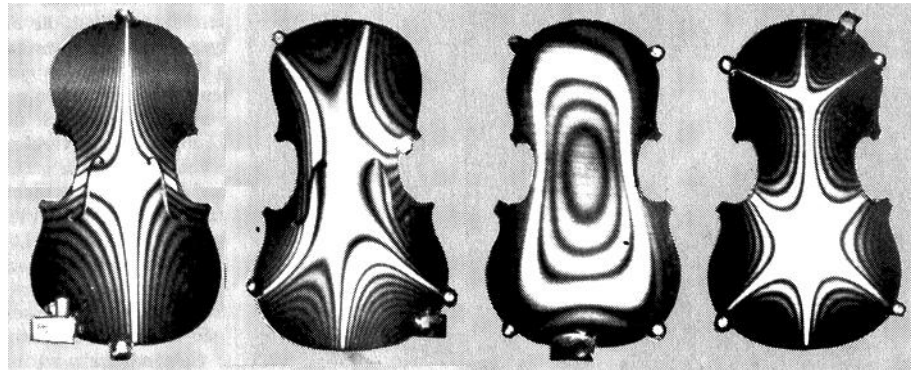
Die Saite überträgt ihre Schwingungen nicht auf den Sattel, aber auf den Steg (der somit streng genommen nicht ein „Ende“ der Saite ist). Der Steg überträgt seine Schwingungen auf die Decke der Geige, die gut abstrahlt, von dort über den Stimmstock auf den Boden der Geige, der ebenfalls gut abstrahlt, und über Decke und Boden auf den Luftraum im Innern

der Geige, der durch die Schalllöcher mit der Außenluft in Berührung steht.

Die akustische Bedeutung sämtlicher hier genannten Bestandteile kann man einerseits dadurch testen, dass man deren Schwingungsverhalten stört (Dämpfer auf den Steg setzen, Decke oder Boden mit der Hand dämpfen, die Schalllöcher abdichten), oder aber dadurch, dass man die

entsprechenden Stellen mit Kontakt- oder Luftmikrofon „ausmisst“. Boden und Decke der Geige sind zwar keine idealen Lautsprechermembranen, die alle Frequenzen gleichmäßig abstrahlen, aber sie schwingen in sog. „Moden“ auf recht chaotisch-schöne Weise und bei sehr merkwürdigen Frequenzen:

Auch der Hohlraum im Inneren hat Resonanzfrequenzen. Sind diese zu stark, so hört man bei einigen Frequenzen einen Klangfarbenwechsel („Wolf“). Das Besondere der Geige ist aber, dass zwar jeder einzelne Bestandteil ausgeprägte Eigentümlichkeiten aufweist, insgesamt aber das Schwingungsverhalten der Geige relativ ausgeglichen ist - vorausgesetzt, es handelt sich um eine Stradivari.



Bei vielen Saiten-Zupfinstrumenten (indische Sitar, zahlreiche Lauten oder Leiern) gibt es „Resonanzsaiten“, die nicht gezupft werden, aber mitschwingen. Sie begünstigen letztendlich nur die Abstrahlung, ohne jedoch dem gesamten Spielvorgang neue Energie zuzuführen. Die gesamte Schallenergie kommt aus der Handbewegung der SpielerIn (also der Verbrennung von Nahrung in den Muskeln des Menschen) - unterschiedliche Lautstärken sind ausschließlich Folge der mehr oder weniger guten Abstrahlung.

Ein besonderes Instrument ist die **Windharfe**, bei der ca. 6 gleich gestimmte Saiten vom Wind zur Schwingung angeregt werden. Die von der Oldenburgerin Jutta Kelm rekonstruierten und nachgebauten rein-akustischen Windharfen haben einen Korpus, der im Gegensatz zu anderen Saiteninstrumenten eine ausgeprägte Resonanzfrequenz besitzt, die mit der Grundfrequenz der Saiten identisch ist. Der Wind erregt je nach Richtung, Geschwindigkeit und Intensität eine der möglichen stehenden Wellen der Saite. Es gibt eine sich selbst verstärkende Rückkopplung zwischen Saitenschwingung und Korpus-Resonanzschwingung. Bei Änderung des Windes ändern sich die angeregten stehenden Wellen. Man hört harmonikale „Obertonmelodien“.

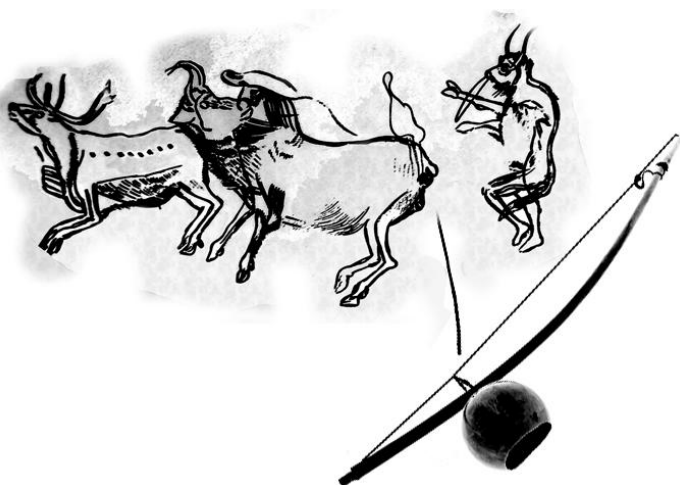


Abbildung 5.11 Berimbau (rechts unten) und die möglicherweise älteste Abbildung eines Musikinstruments („Jagd-Mundbogen“) in der französischen Grotte des Trois-Frères (1912 entdeckt).

Bei der **Berimbau** (ein aus Afrika stammendes Instrumente, das heute in Brasilien zur Begleitung von Capoeira verwendet wird) wird ein Stahldraht als Saite über einen Holzbogen gespannt. Die Saite wird mit einem Stock

geschlagen. Durch spezielle Schlagtechniken und die Wahl unterschiedlicher Anschlagsorte wird erreicht, dass einige der stehenden Wellen der Saite verstärkt werden, die durch eine Kalebasse durch Resonanz noch verstärkt werden können. Kalebassen-Resonanz und Saitengrundfrequenz sind aufeinander abgestimmt. - Ähnliche Effekte können sich auch beim präparierten Klavier nach John

Cage ergeben. Hier können gewisse Schwingungsmöglichkeiten einer Saite (durch Radiergummi etc.) unterdrückt oder (durch Nägel etc.) verstärkt werden. Werden zudem Reißnägel auf die Hämmer gesteckt, so klingt das Klavier wie ein Berimbau. Beliebt ist auch der Resonanzeffekt, bei dem die Dämpfung der Klaviersaiten gelöst wird und diese dann durch ein akustisches Signal von außen zu Eigenschwingungen angeregt werden.

[Video eines Konzerts mit Berimbau \(RomiraMusotto, Dezember 2007\)](#)

Diverse Tonbeispiele für Abstrahlung und Klangerzeugung: [Banjo](#), [„nasale“ arabische Instrumente \(Gruppe „Sarband“\)](#), [Geige und Sitar \(Menuhin/Shankhar\)](#)

Wer stimmt die Saz?



Die hier abgebildete Saz hat sehr merkwürdige Bündel! Wer kann sie stimmen?