

DIE AKUSTIK-GITARRE

AUFBAU UND FUNKTIONSWEISE



Gliederung

1. Überblick „Akustikgitarre“

- Konzertgitarre vs. Westerngitarre
- Das Griffbrett und die Tonhöhe

2. Funktionsweise – Wie entsteht der Klang?

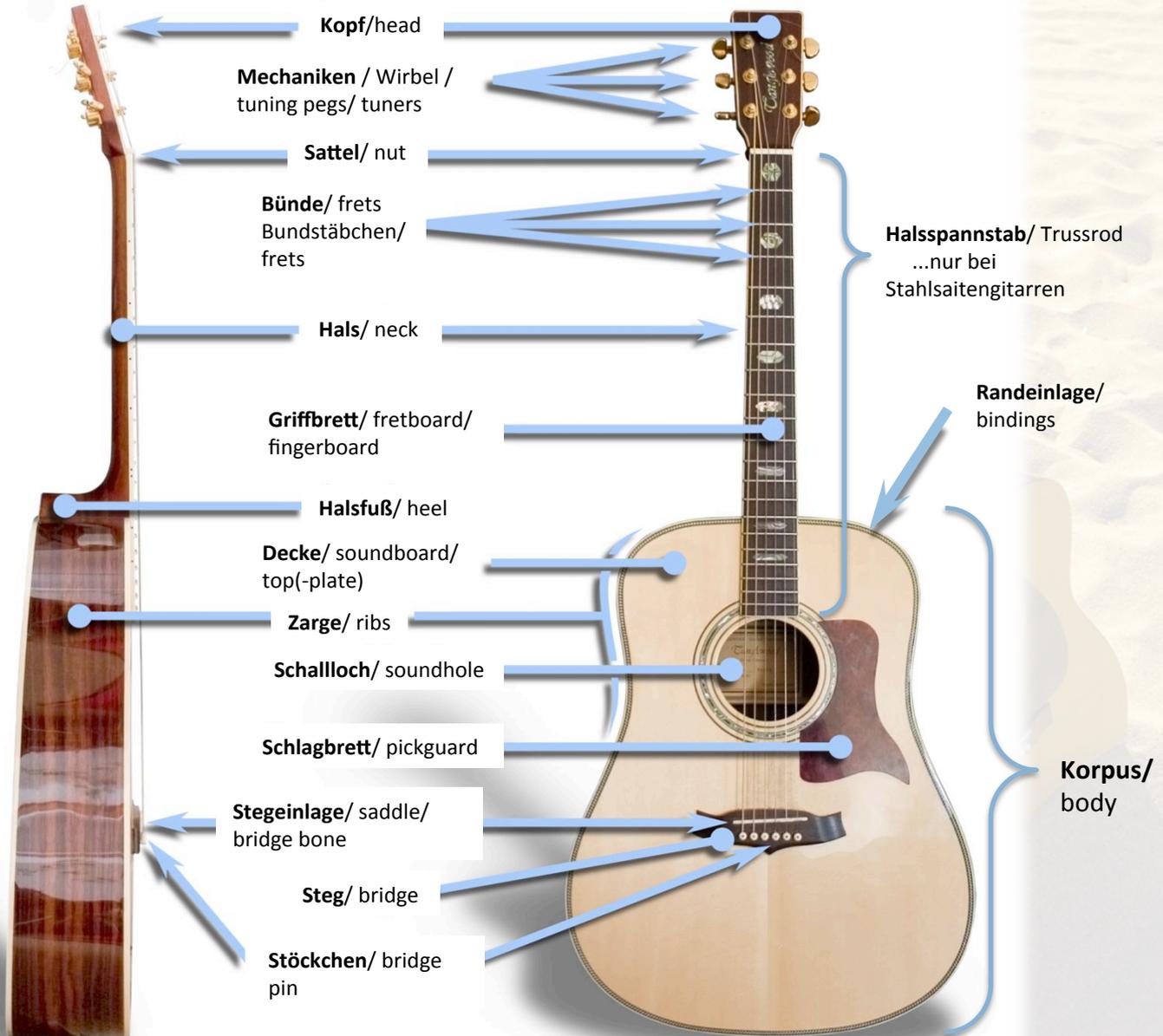
- Die Saite
- Der Korpus
- Die Kopplung Saite - Korpus



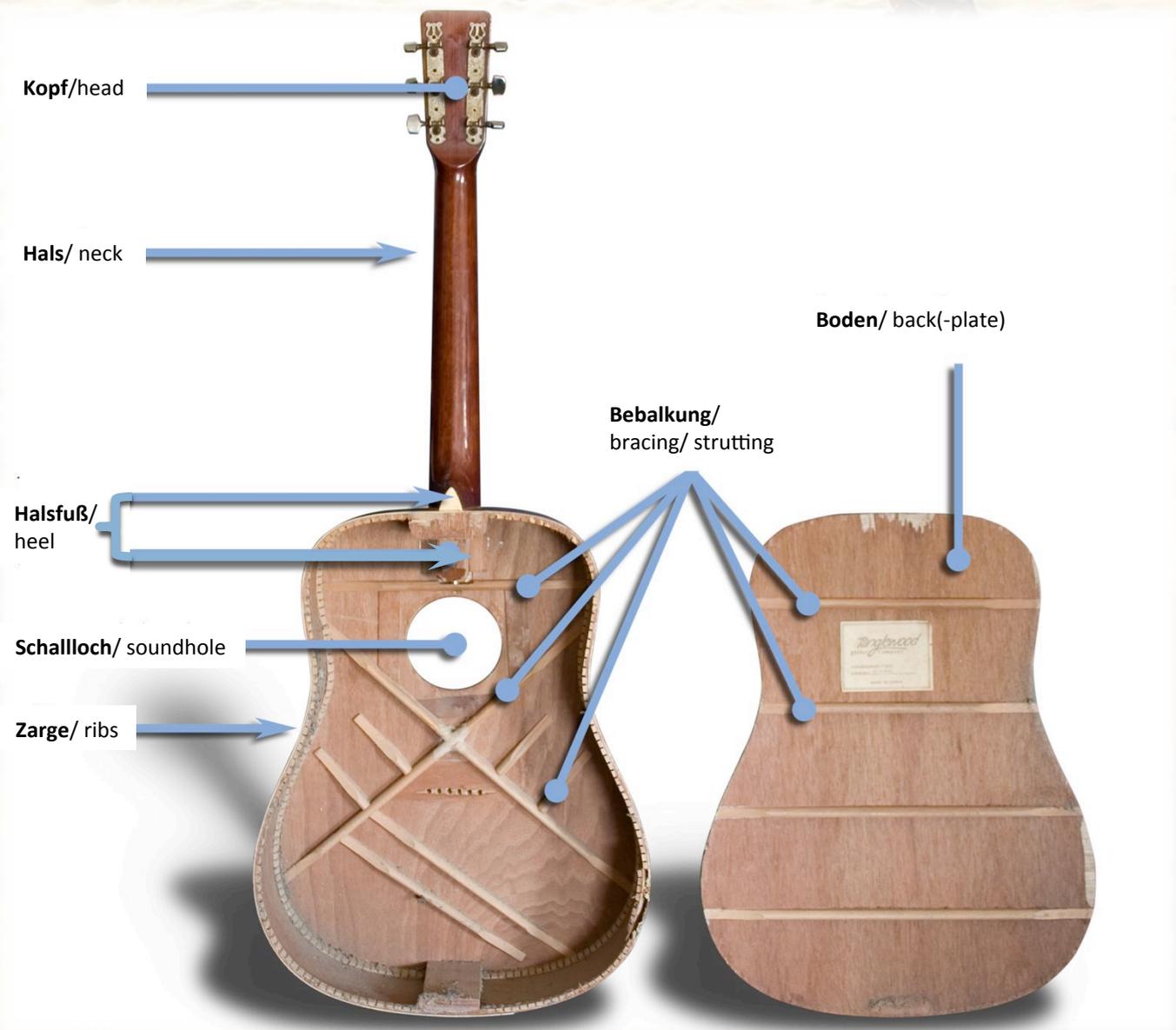
1. Überblick „Akustikgitarre“



1. Überblick „Akustikgitarre“



1. Überblick „Akustikgitarre“



Akustikgitarren

Konzertgitarre

Westerngitarre

Klassische Gitarre

- Decke: Fichte/Zeder
- Zargen & Boden: Palisander
- ...und viele weitere Varianten

Flamenco-Gitarre

- Decke: Fichte/Zeder
- Zargen & Boden: Zypresse
- niedrigere Saitenlage
- dünnere Holz-
Wandstärken
- Geringere Zargenhöhe

Flattops

Formen:

- Dreadnought
- Jumbo
- Concert (O)
- Grand Concert (OO)
- Auditorium (OOO)
- Grand Auditorium
- Orchestra Models

...viele verschiedene
Holzkombinationen

Archtops (gewölbte Decke)

- flaches Griffbrett
- Standard 52mm & 650mm
- 12. Bund
- offen (offene Mechanik)

- Nylonsaiten
- Carbonsaiten

Griffbrett
Sattelbreite & Mensur
Hals-Korpusübergang
Kopfplatte

Saiten

- i.d.R. gewölbtes Griffbrett
- 41 - 48mm & ~645mm
- 14. Bund
- meistens massiv

- Stahlsaiten

1. Überblick „Akustikgitarre“ - Konzertgitarre vs. Westerngitarre

- Nylonsaiten
- Carbonsaiten

Saiten

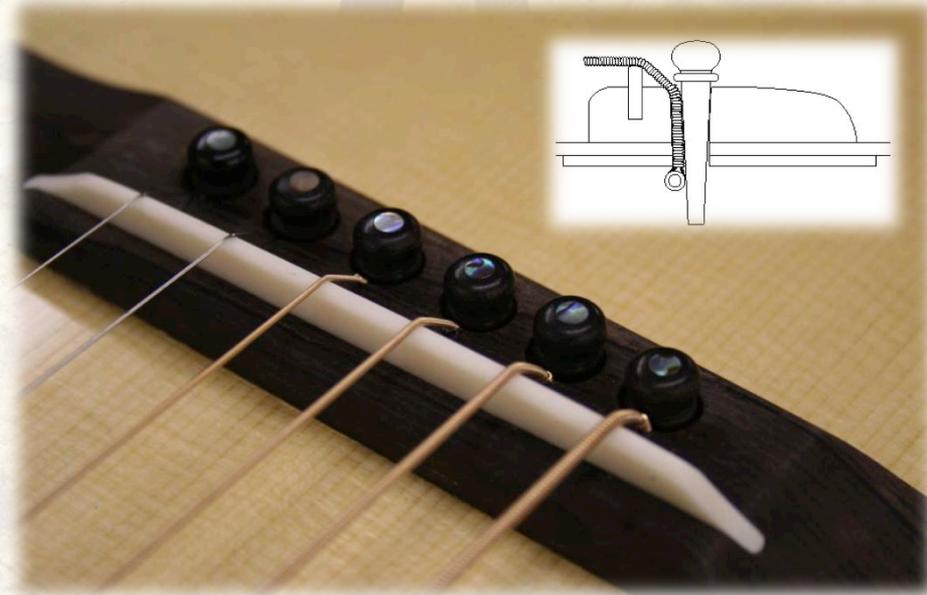
- Stahlsaiten

→ Zugkraft bei Stahlsaiten viel größer!
→ zugkraftbedingte Konstruktionsunterschiede!

- unterschiedliche Saitenbefestigung am Steg



direkte Zugkraftwirkung der Saiten
auf den Steg



direkte Zugkraftwirkung hauptsächlich
auf die Decke

1. Überblick „Akustikgitarre“ - Konzertgitarre vs. Westerngitarre

- Nylonsaiten
- Carbonsaiten

Saiten

- Stahlsaiten

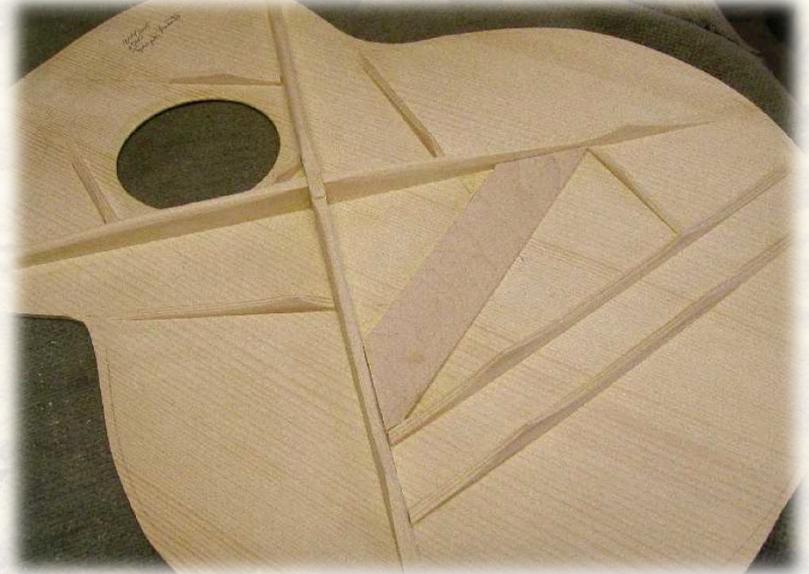
→ Zugkraft bei Stahlsaiten viel größer!

→ zugkraftbedingte Konstruktionsunterschiede!

- unterschiedliche Saitenbefestigung am Steg
- unterschiedliches Bracing



fan bracing



X-bracing

1. Überblick „Akustikgitarre“ - Konzertgitarre vs. Westerngitarre

- Nylonsaiten
- Carbonsaiten

Saiten

- Stahlsaiten

→ Zugkraft bei Stahlsaiten viel größer!

→ zugkraftbedingte Konstruktionsunterschiede!

- unterschiedliche Saitenbefestigung am Steg
- unterschiedliches Bracing
- Trussrod



→ durch (Ent-/)Spannen: Ausgleich der Zugkraft bedingten Halskrümmung

Das Griffbrett und die Tonhöhe

- Mensur legt max. Saitenlänge fest
- gleichtemperierte Stimmung
 - „hörbare Frequenzsprünge“ zwischen Halbtönen äquidistant
 - Oktave = Frequenzverdoppelung
- plus 12 Halbtöne $\hat{=}$ 1 Oktave $\hat{=}$ $2 \cdot f$
 - ↑
 - in 12 HT aufteilen: $(\sqrt[12]{2})^{12}$
 - $\sqrt[12]{2} = 1,059463\dots$

$$\text{Abstand des } i. \text{ Bundes vom Sattel} = \text{Mensurlänge} - \frac{\text{Mensurlänge}}{(\sqrt[12]{2})^i}$$

Problem: gilt nur, wenn Saitenspannung konstant ist!

M
e
n
s
u
r



1. Überblick „Akustikgitarre“ – Das Griffbrett und die Tonhöhe

- beim Niederdrücken der Saite erhöht sich die Spannung

→ Alle Töne (bis auf die leere Saite) zu hoch

→ **Mensurzugabe** (stegseitig!)

je dicker und härter die Saite, desto größer die Mensurzugabe



bei klassischen Gitarren häufig nicht nötig



besonders bei tiefen Saiten notwendig

- beim Niederdrücken der Saite erhöht sich die Spannung

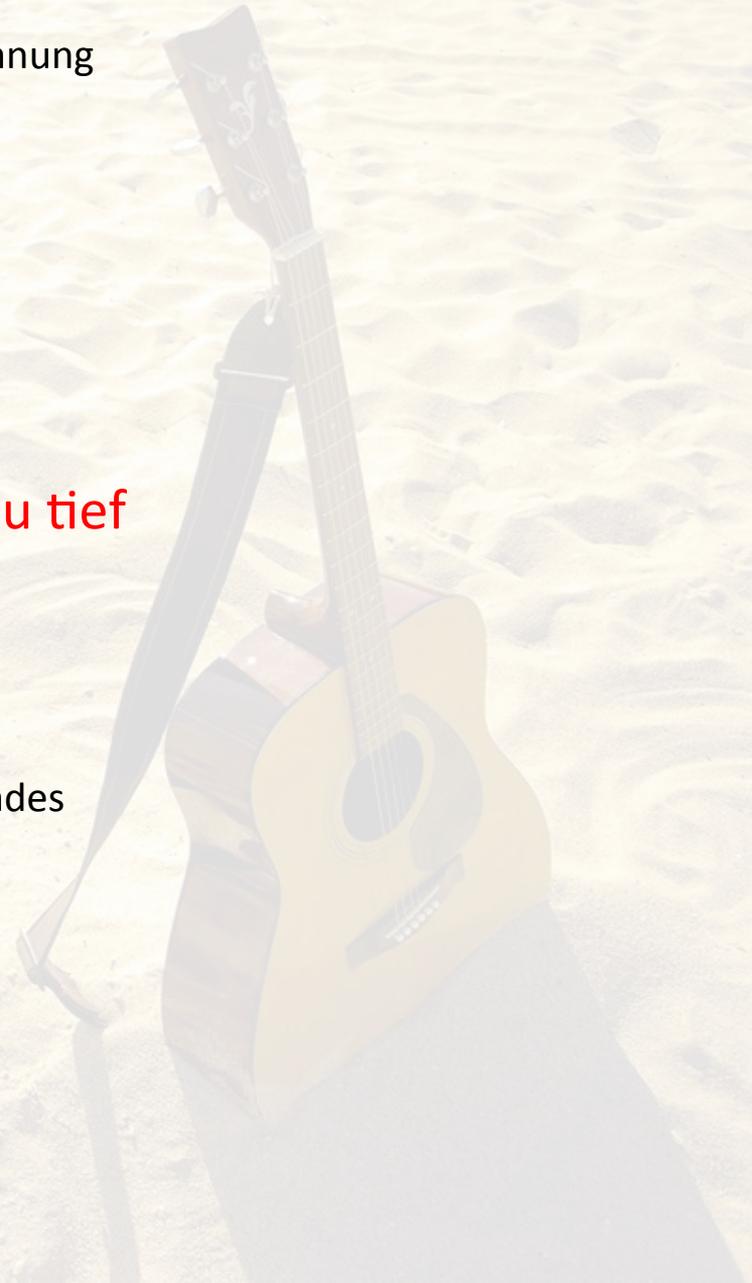
→ Alle Töne (bis auf die leere Saite) zu tief

➔ Mensurzugabe (stegseitig!)

➔ Folge: leere Saite(n) klingen zu tief

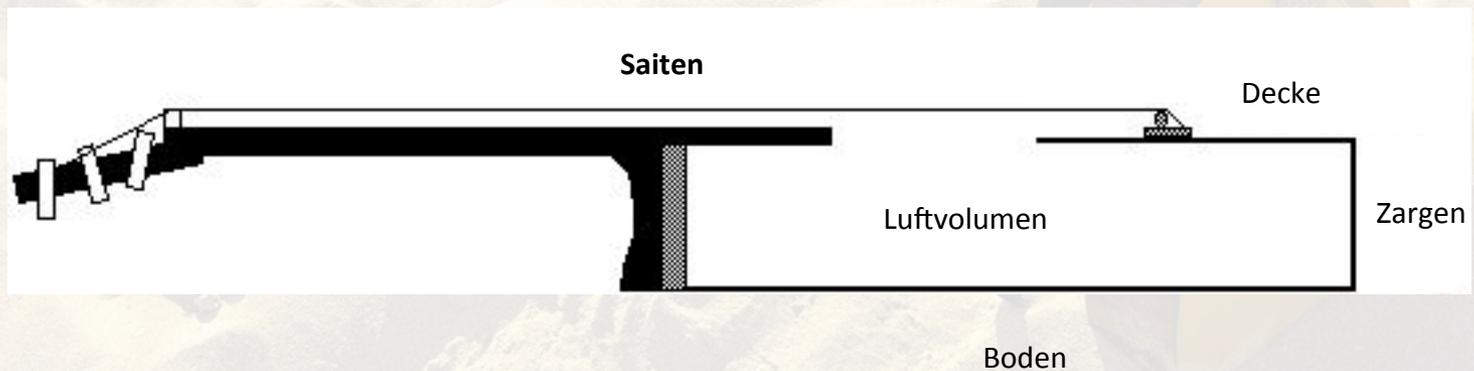
➔ Sattelkompensation

Versatz des Sattels in Richtung des 1. Bundes



2. Wie entsteht der Klang?

Gitarre als System gekoppelter Oszillatoren



Die Saite

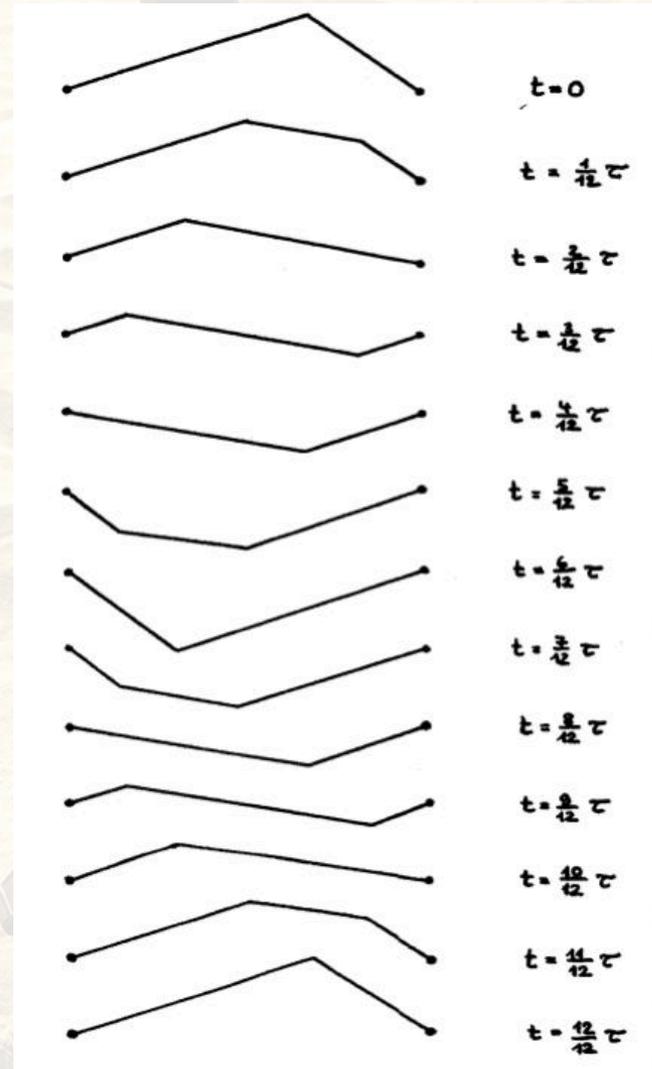
Transversalwellen

Anzupfen \rightarrow Auslenkung (in Querrichtung)

\rightarrow **ideale Saite:**

- ebene Polarisation
 - frequenzunabhängige Ausbreitung
 - keine Verluste
 - ideale Reflexionen
- \rightarrow stehende Wellen

eine Schwingungsperiode



Auslenkung d. Saite

Die Saite

Transversalwellen

Anzupfen → Auslenkung (in Querrichtung)

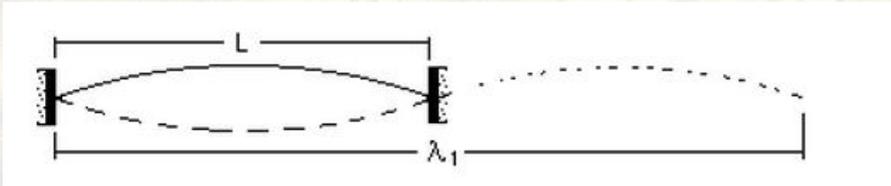
→ ideale Saite

- Grundfrequenz:

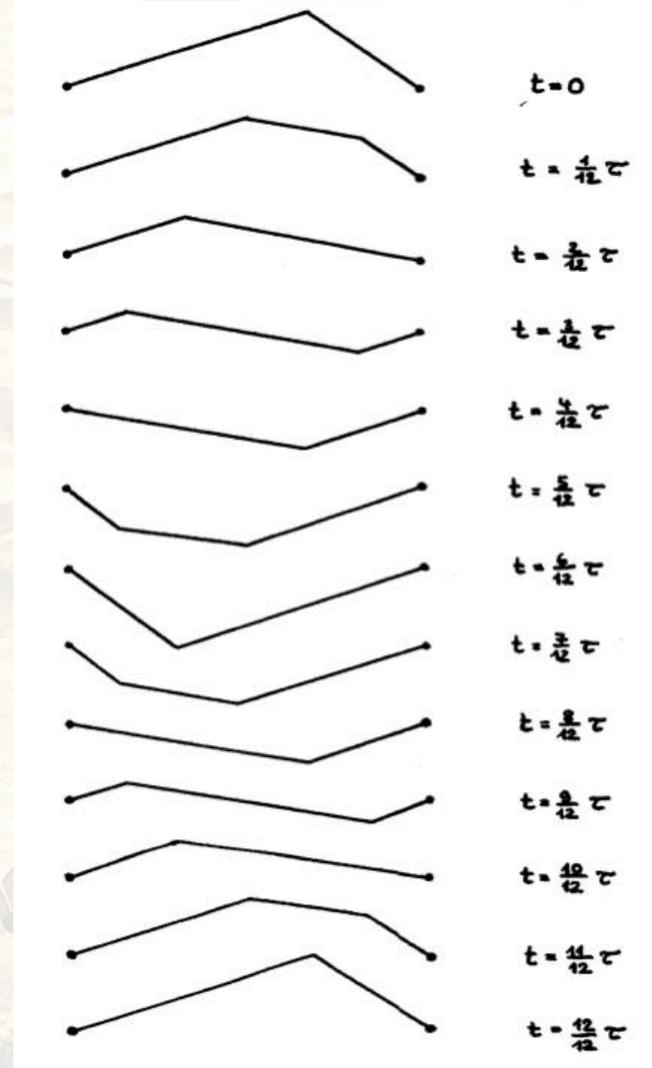
$$f_G = \frac{c}{\lambda} \quad \rightarrow \quad \lambda = 2L$$

- Ausbreitungsgeschwindigkeit der Transversalwelle:

$$c = \frac{2}{D} \cdot \sqrt{\frac{\Psi}{\pi\rho}}$$



eine Schwingungsperiode



Auslenkung d. Saite

Die Saite

Transversalwellen

Anzupfen \rightarrow Auslenkung (in Querrichtung)

\rightarrow ideale Saite

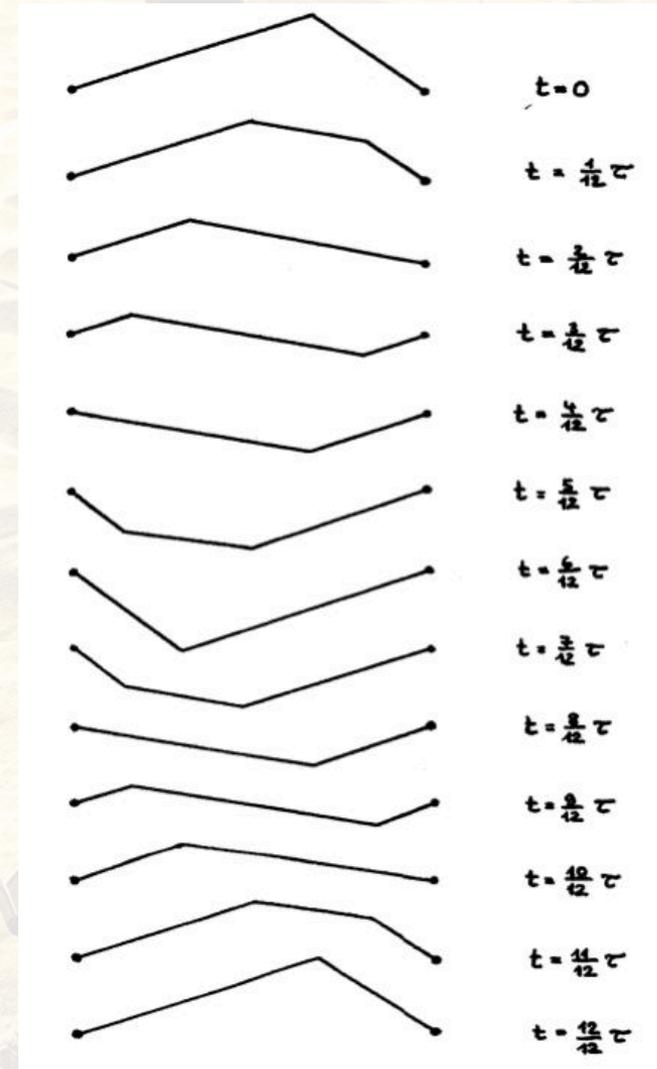
- Grundfrequenz:

$$f_G = \frac{c}{\lambda} \quad \rightarrow \quad \lambda = 2L$$

- Ausbreitungsgeschwindigkeit der Transversalwelle:

$$c = \frac{2}{D} \cdot \sqrt{\frac{\Psi}{\pi\rho}}$$

$$\rightarrow f_G = \frac{c}{2L} = \frac{1}{2L} \cdot \frac{2}{D} \sqrt{\frac{\Psi}{\pi\rho}} = \frac{1}{LD} \sqrt{\frac{\Psi}{\pi\rho}}$$



Auslenkung d. Saite

Die Saite

Transversalwellen

- Grundfrequenz:

$$f_G = \frac{c}{2L} = \frac{1}{2L} \cdot \frac{2}{D} \sqrt{\frac{\Psi}{\pi\rho}} = \frac{1}{LD} \sqrt{\frac{\Psi}{\pi\rho}}$$

L = Länge (→ Greifen der Saite)

D = Durchmesser (→ verschied. Saitenstärken)

Ψ = Spannkraft (→ Spannen/Stimmen der Saiten)

ρ = Dichte (→ verschied. Saitenmaterialien)

➔ bestimmen Grundfrequenz



Die Saite

Transversalwellen

- Grundfrequenz

→ Spannkraft:



Products > Acoustic Strings > 80/20 Bronze Wound > EJ11 80/20 Bronze Acoustic Guitar Strings, Light, 12-53

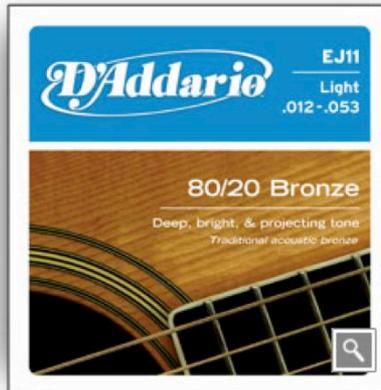
EJ11 80/20 Bronze Acoustic Guitar Strings, Light, 12-53

BUY NOW

Like



Other Images



Tension Chart

Item #	Note	Diameter		Tension	
		Inches	mm	lbs	kg
PL012	E	0.0120	0.3000	23.300	10.570
PL016	B	0.0160	0.4060	23.300	10.570
BW024	G	0.0240	0.6096	29.400	13.340
BW032	D	0.0320	0.8128	29.500	13.380
BW042	A	0.0420	1.0668	28.400	12.880
BW053	E	0.0530	1.3462	25.100	11.390

Family Tension Chart

Die Saite

Transversalwellen

- Grundfrequenz

→ Spannkraft:



Products > [Classical Strings](#) > [Pro-Arte](#) > EJ47 80/20 Bronze Pro-Arte Nylon, Normal Tension

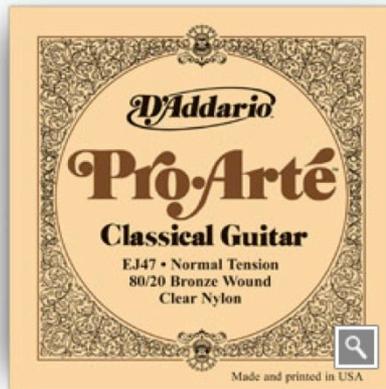
EJ47 80/20 Bronze Pro-Arte Nylon, Normal Tension

[BUY NOW](#)

[Like](#)



Other Images



Tension Chart

Item #	Note	Diameter		Tension	
		Inches	mm	lbs	kg
J4501	E	0.0280	0.7112	15.300	6.940
J4502	B	0.0322	0.8180	11.600	5.260
J4503	G	0.0403	1.0236	12.100	5.490
J4704	D	0.0290	0.7366	15.400	6.990
J4705	A	0.0350	0.8890	14.100	6.400
J4706	E	0.0430	1.0922	13.300	6.030

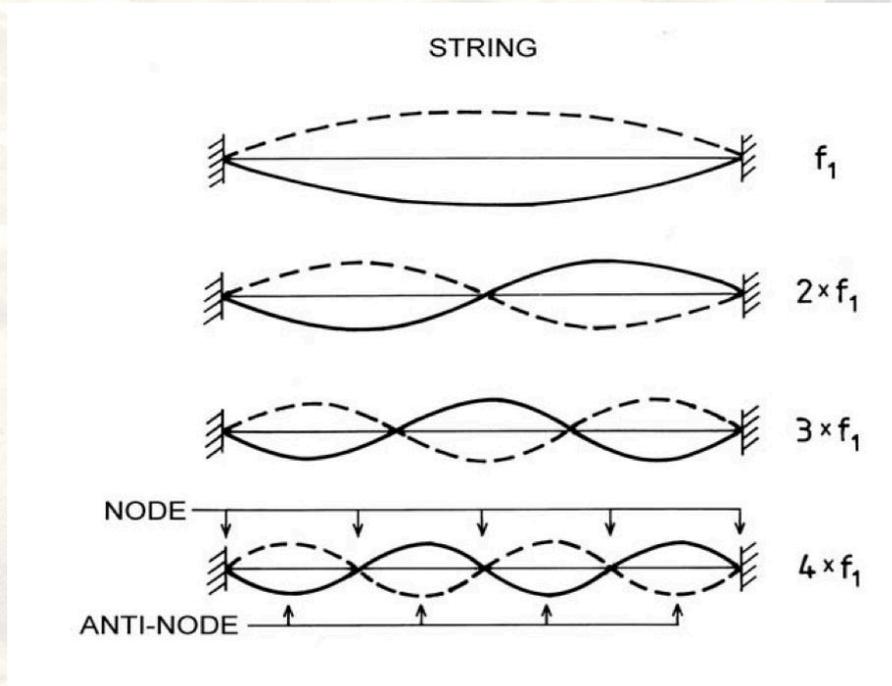
[Family Tension Chart](#)

Die Saite

Transversalwellen

Saite = „Resonator“ mit mehreren Resonanzfrequenzen

→ **verschiedene Schwingungs-Moden:** ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz (bei idealer Saite)



Die Saite

Transversalwellen

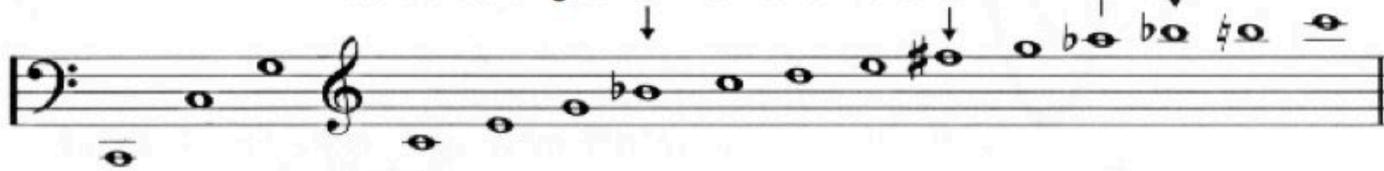
Saite = „Resonator“ mit mehreren Resonanzfrequenzen

Schwingungs-Moden: ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz (bei idealer Saite)

es werden immer mehrere Schwingungsmoden gleichzeitig angeregt!

→ Teiltonreihe

Notendarstellung der harmonischen Teiltöne



Harmonische	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Partialtöne	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Teiltöne	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Obertöne	Grundton	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.
Frequenz	<i>f</i>	2· <i>f</i>	3· <i>f</i>	4· <i>f</i>	5· <i>f</i>	6· <i>f</i>	7· <i>f</i>	8· <i>f</i>	9· <i>f</i>	10· <i>f</i>	11· <i>f</i>	12· <i>f</i>	13· <i>f</i>	14· <i>f</i>	15· <i>f</i>	16· <i>f</i>
Hz (z. B.)	65	130	195	260	325	390	455	520	585	650	715	780	845	910	975	1040
Tonname	C	c	g	c'	e'	g'	b'	c''	d''	e''	fis''	g''	as''	b''	h''	c'''

↓ ↑ = klingen tiefer/höher als notiert

Die Saite

Transversalwellen

Anschlagsposition

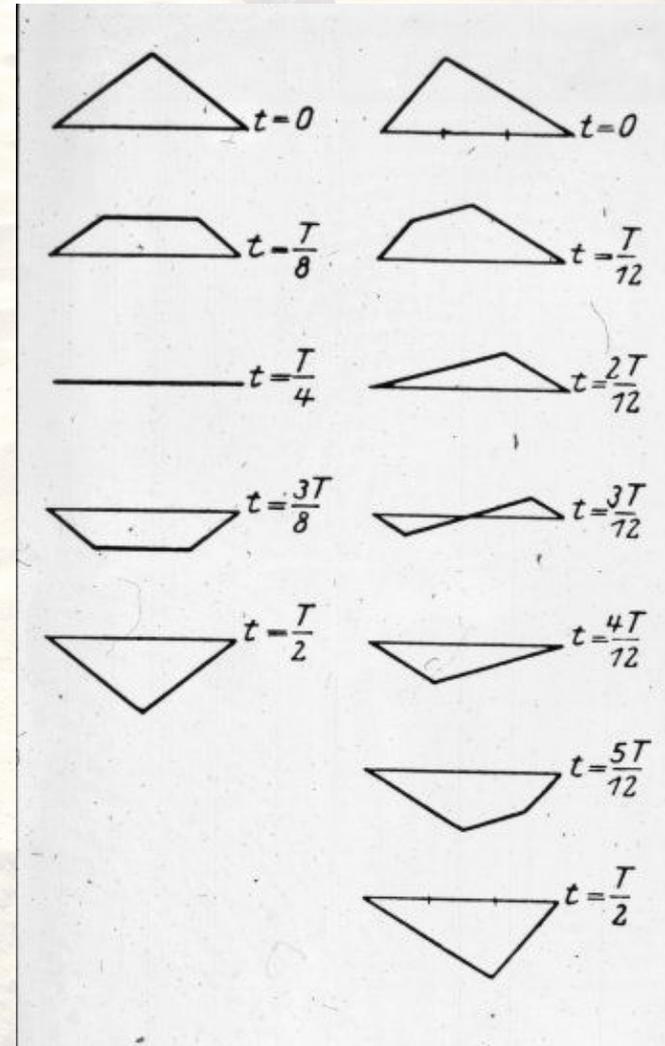
je nach Anschlagposition
unterschiedliche Auslenkung der Saite

man geht von einer idealen Saite aus

→ periodisch stationäre
Schwingung

→ Schwingungsperiode in
Fourier-Reihe zerlegbar!

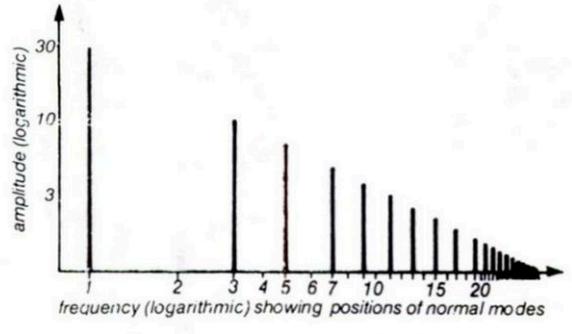
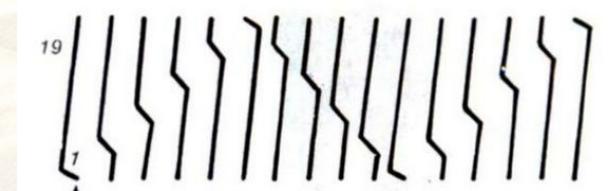
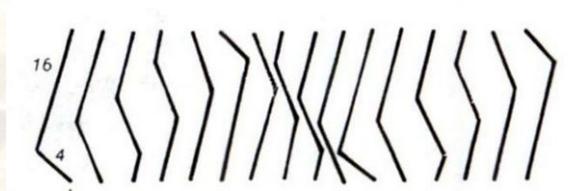
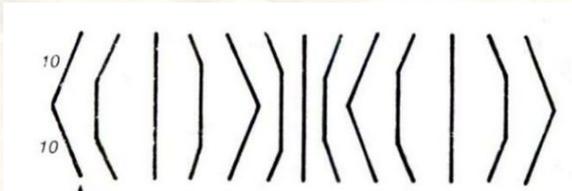
→ Frequenzspektrum



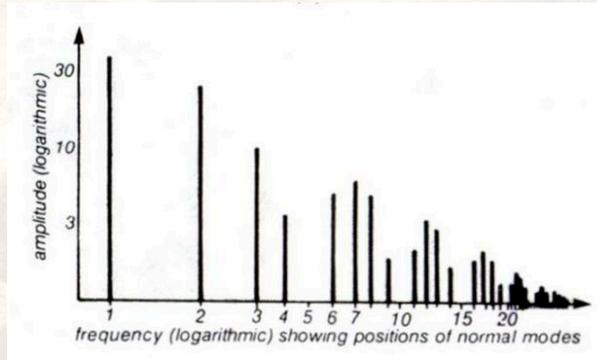
Die Saite

Transversalwellen

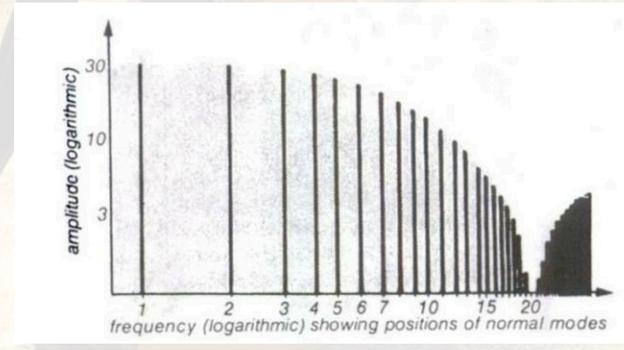
Anschlagsposition und daraus resultierende Spektren



bei 1/2



bei 1/5



bei 1/20

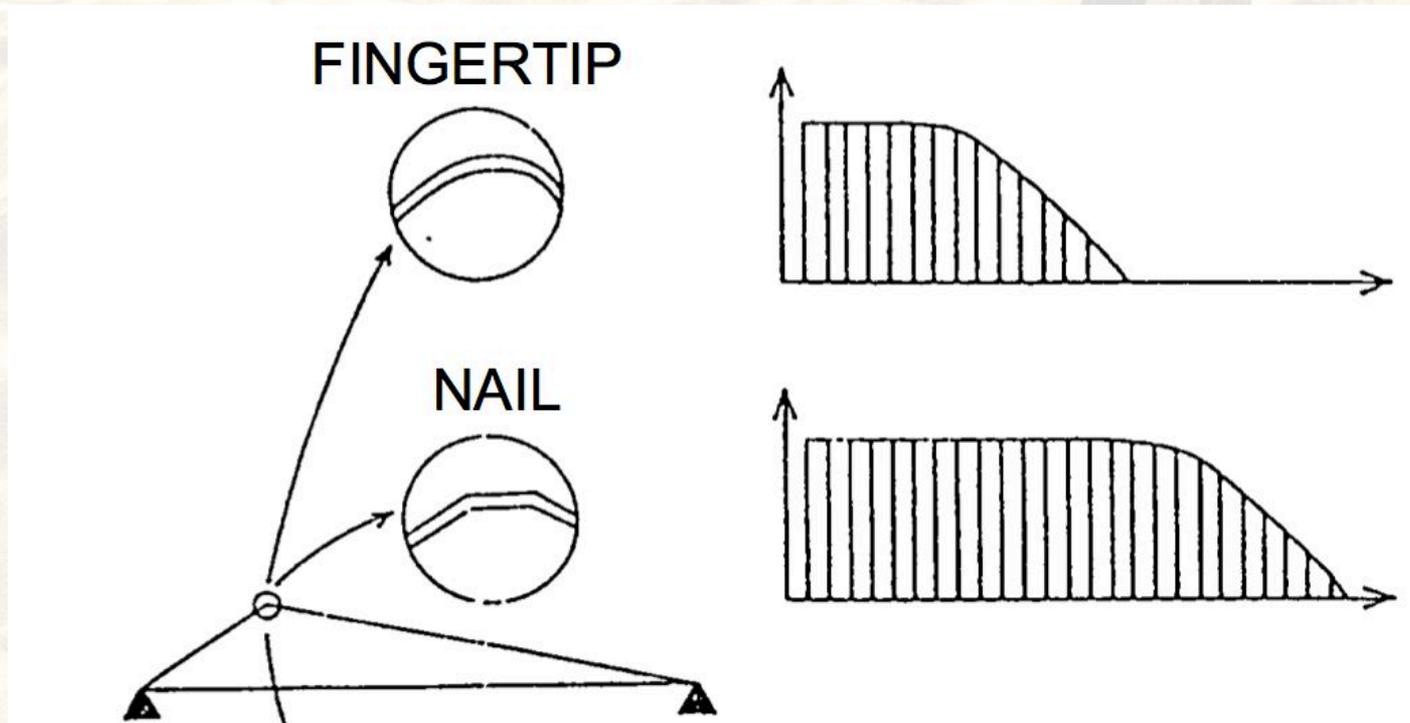
➔ klangliche Unterschiede: stegseitiger und saitenmittiger Anschlag

Die Saite

Transversalwellen

Anschlagsposition und daraus resultierende Spektren

→ nicht nur Anschlagposition, sondern auch „Anschlagsart“ entscheidend

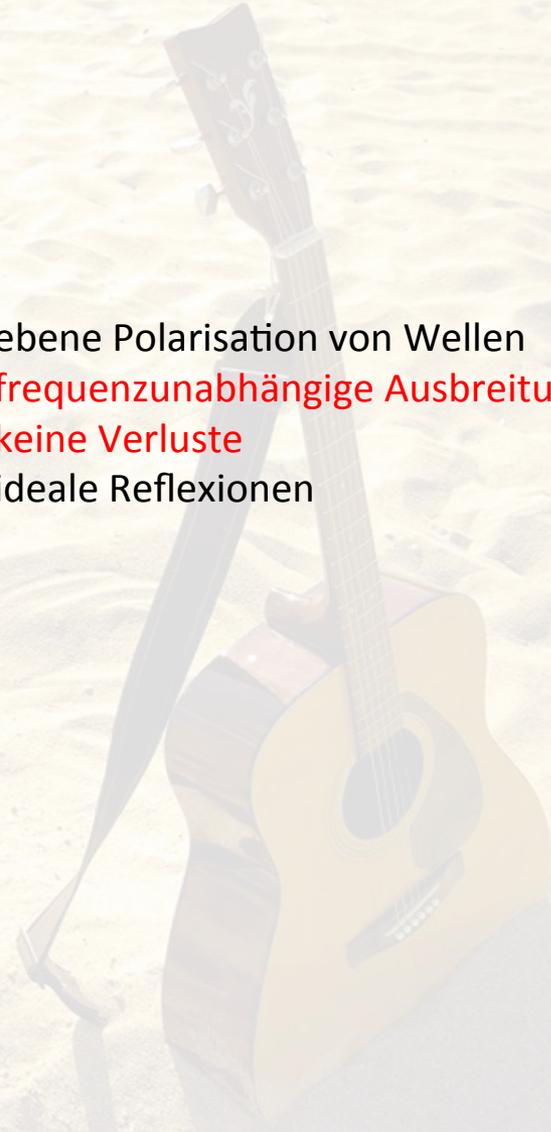


Die Saite

Transversalwellen

bisher idealisierte Saite betrachtet:

- ebene Polarisierung von Wellen
- frequenzunabhängige Ausbreitung
- keine Verluste
- ideale Reflexionen



Die Saite

Transversalwellen

bisher idealisierte Saite betrachtet: - **frequenzunabhängige Ausbreitung**

reale Saite: **Biegesteifigkeit**

→ je dicker, kürzer und weniger gespannt,
desto größer die Biegesteifigkeit

→ **dispersive Wellenausbreitung**

(= frequenzabhängige Wellenausbreitung)

→ zu hohen Frequenzen zunehmende Ausbreitungsgeschwindigkeit

→ **Inharmonizität**: gespreizte Teiltonfrequenzen



Die Saite

Transversalwellen

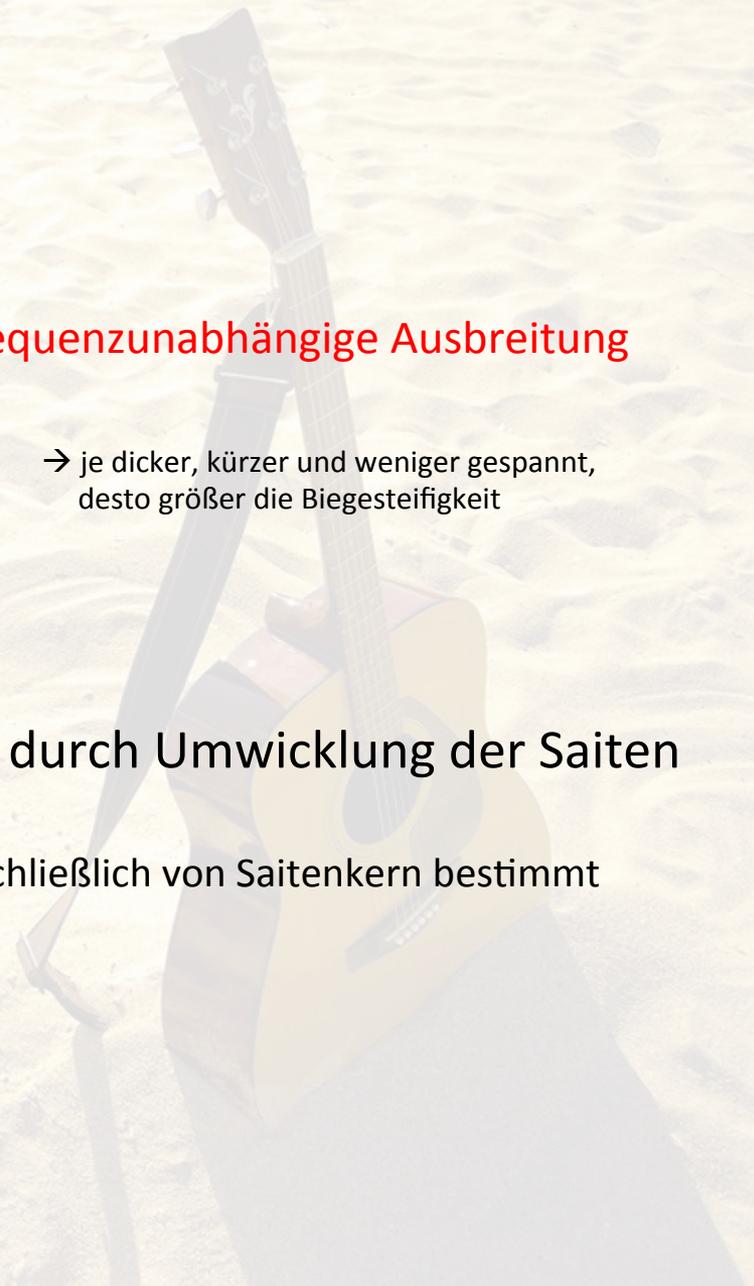
bisher idealisierte Saite betrachtet: - **frequenzunabhängige Ausbreitung**

reale Saite: **Biegesteifigkeit**

→ je dicker, kürzer und weniger gespannt,
desto größer die Biegesteifigkeit

→ Vermeidung zu großer Inharmonizität durch Umwicklung der Saiten

→ mehr Masse, aber Biegesteifigkeit (fast) ausschließlich von Saitenkern bestimmt



Die Saite

Transversalwellen

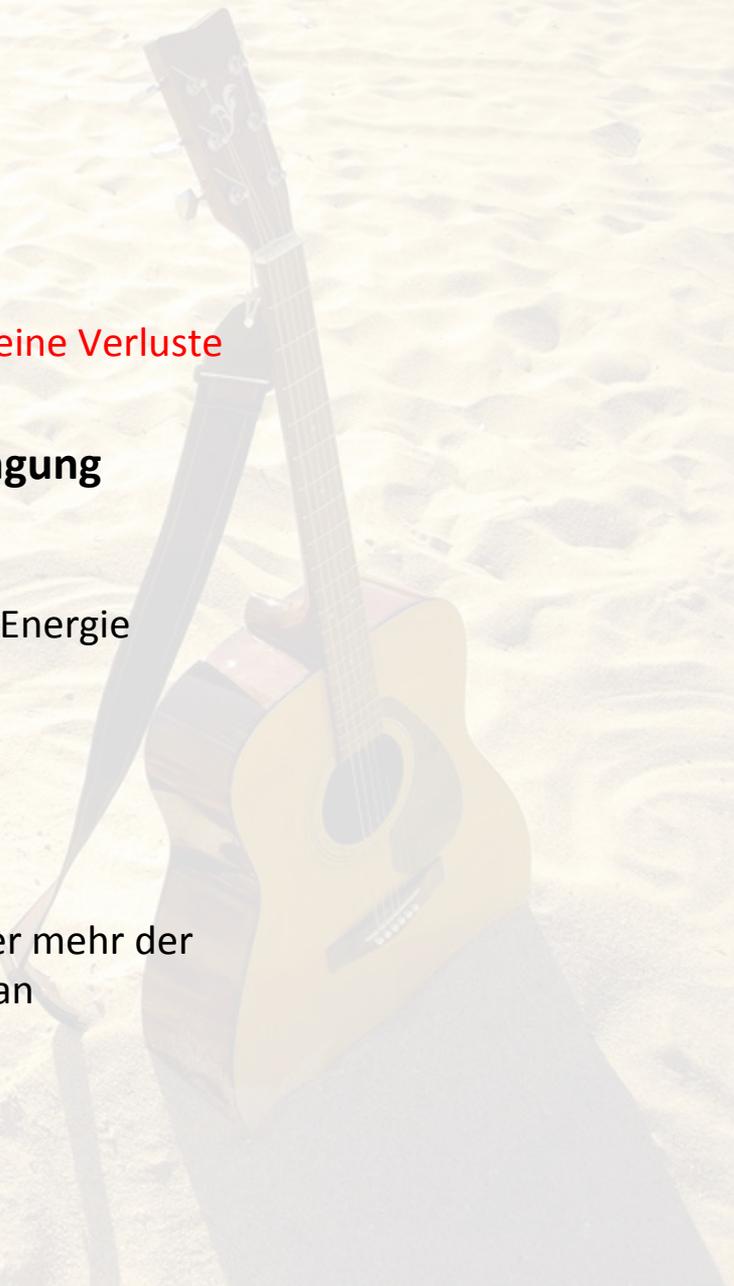
bisher idealisierte Saite betrachtet: - keine Verluste

reale Saite: **gedämpfte Schwingung**

Energieverlust durch Umwandlung der Energie
in *Wärme* und in *Luftschallenergie*

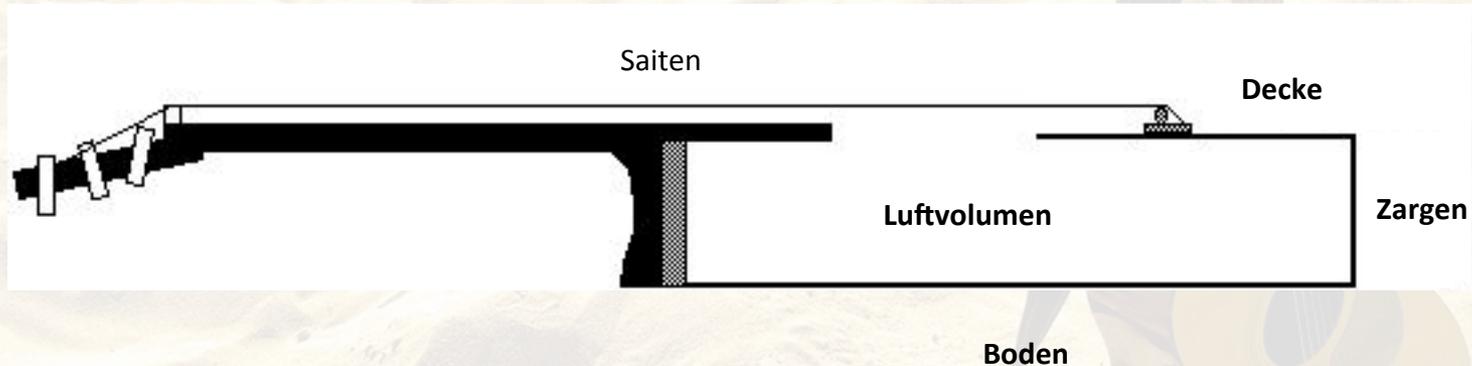
hohe Teiltöne klingen schneller ab

→ Auslenkung der Saite nähert sich immer mehr der
Schwingungsform der Grundfrequenz an



Der Korpus

Gitarre als System gekoppelter Oszillatoren



Der Korpus

verschiedene Modelle:

- (1) Helmholz-Resonator
- (2) Zwei-Oszillatoren-Modell
- (3) Drei-Oszillatoren-Modell



Der Korpus

verschiedene Modelle:

(1) Helmholtz-Resonator

einfachstes Modell

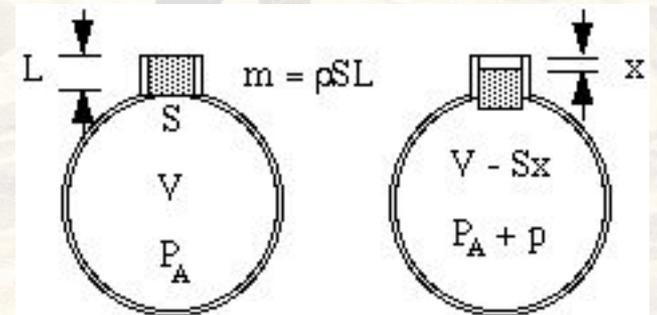
$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{VL}} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi r^2}{V * 1,7r}} = (74 \text{ms}^{-1}) \sqrt{\frac{r}{V}}$$

→ Abhängigkeit:

- Größe des Schalloches
- Korpus-Volumen
- (- Decke/ Boden)

→ Helmholtz-Resonanz (F-A)

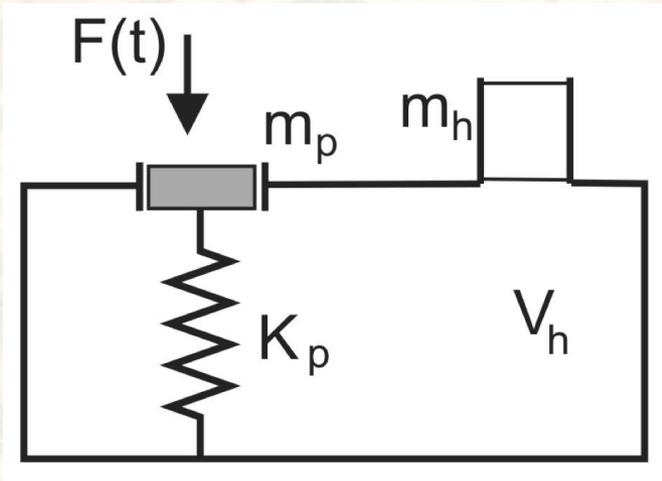
(sog. A_0 -Resonanz)



Der Korpus

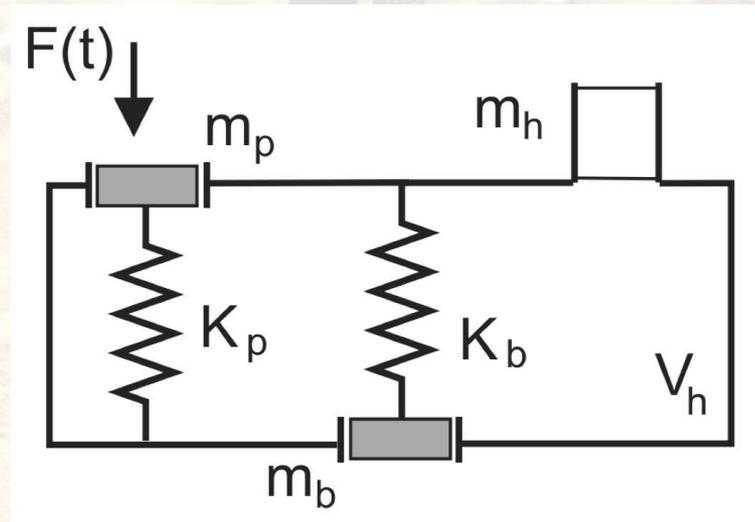
verschiedene Modelle:

(2) Zwei-Oszillatoren-Model



m_p = Masse d. Decke
 K_p = Federkonstante d. Decke
 m_h = Masse d. Luft im Schallloch
 V_h = Masse der eingeschlossenen Luft

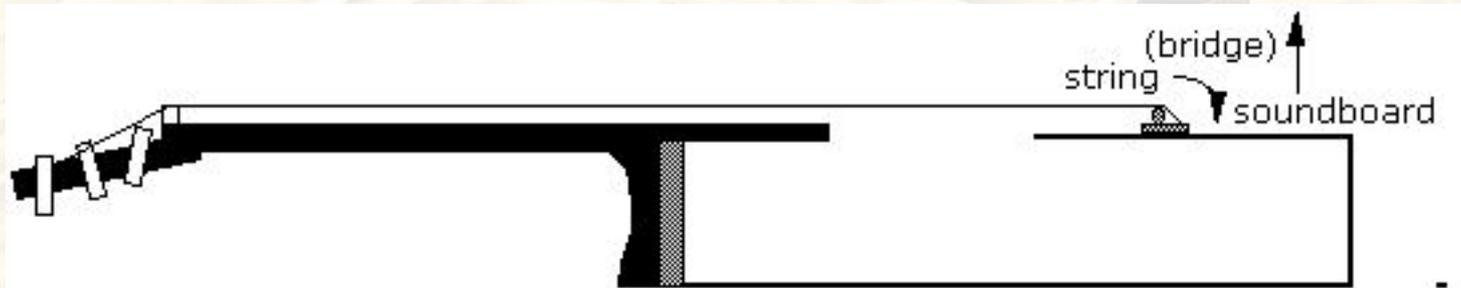
(3) Drei-Oszillatoren-Model



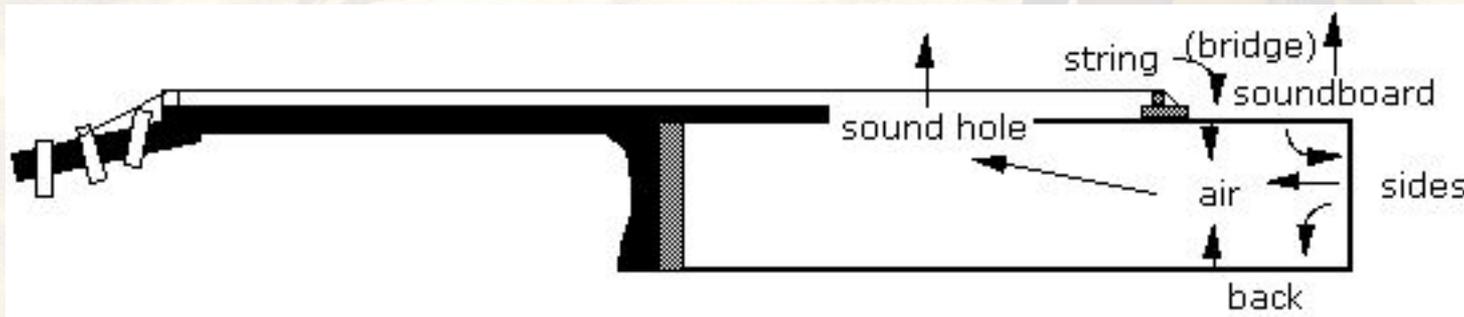
m_p = Masse d. Decke
 K_p = Federkonstante d. Decke
 m_h = Masse d. Luft im Schallloch
 V_h = Masse der eingeschlossenen Luft
 K_b = Federkonstante d. Bodens
 m_b = Masse d. Bodens

Der Korpus

Kopplung der Oszillatoren



hohe Frequenzen



tiefe Frequenzen

➔ Decke = wichtig(st)er Teil der Gitarre

Der Korpus

die Decke

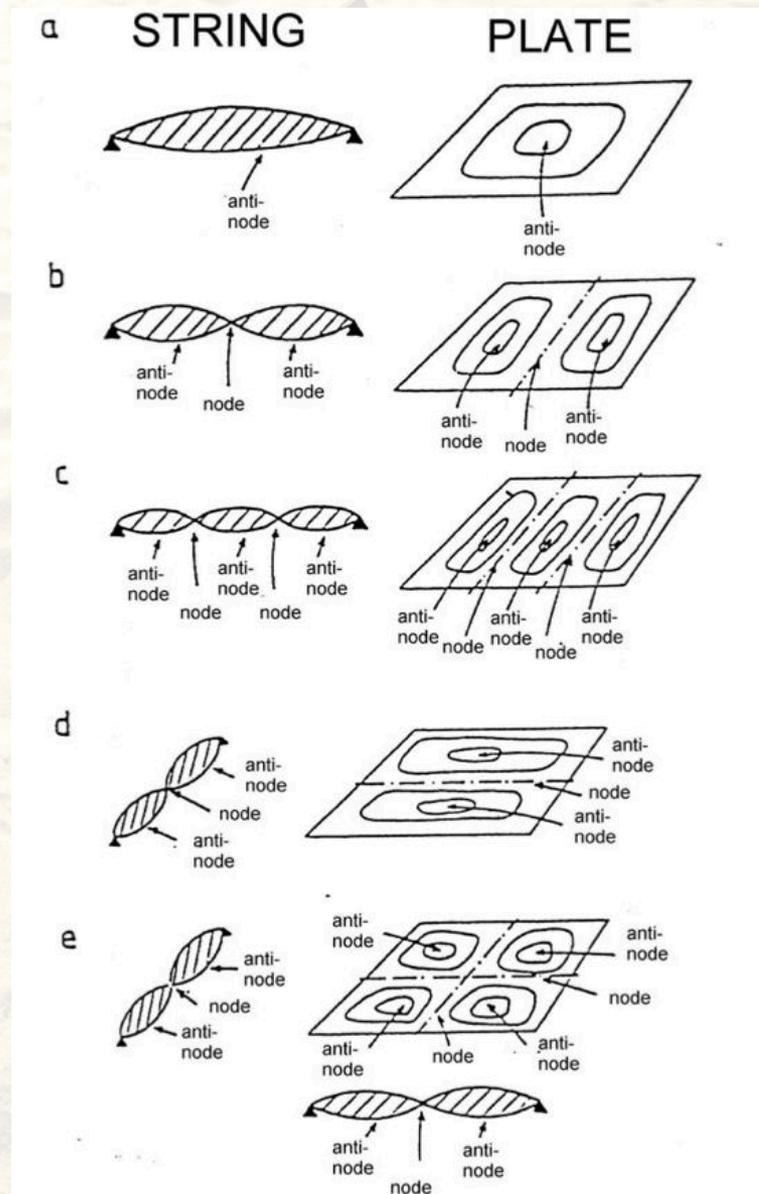
→ Resonator

→ verschiedene
Resonanzfrequenzen

→ verschiedene Schwingungsmoden
mit „Noden“ und „Anti-Noden“

→ Modalanalyse

- holographische Interferometrie
- Laser-Geschwindigkeitsmessung
- Abtasten mit Mikrophon
- Chladni-Pattern
- Simulationen am Computer
- ...

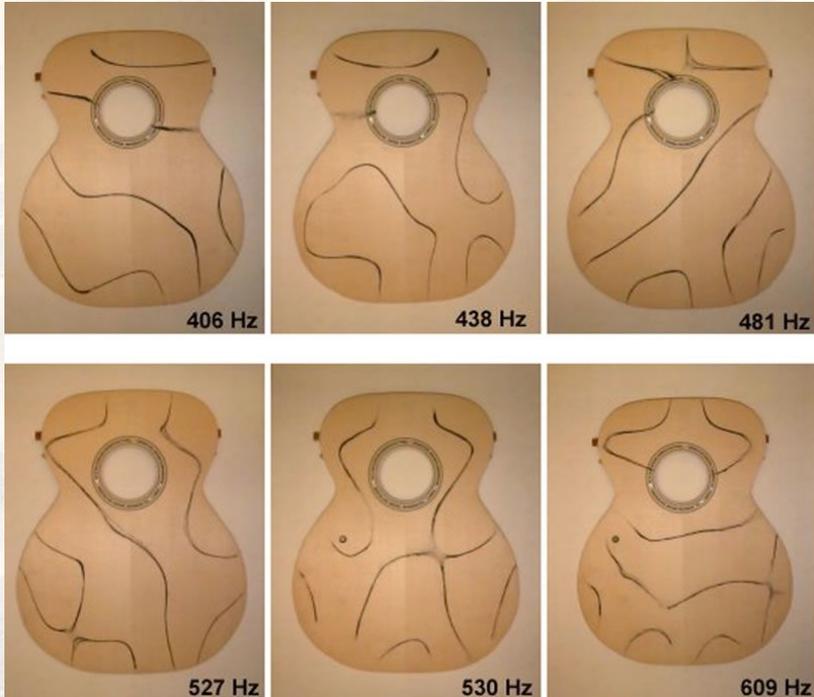


Der Korpus

die Decke

Modalanalyse

→ Chladni-Pattern



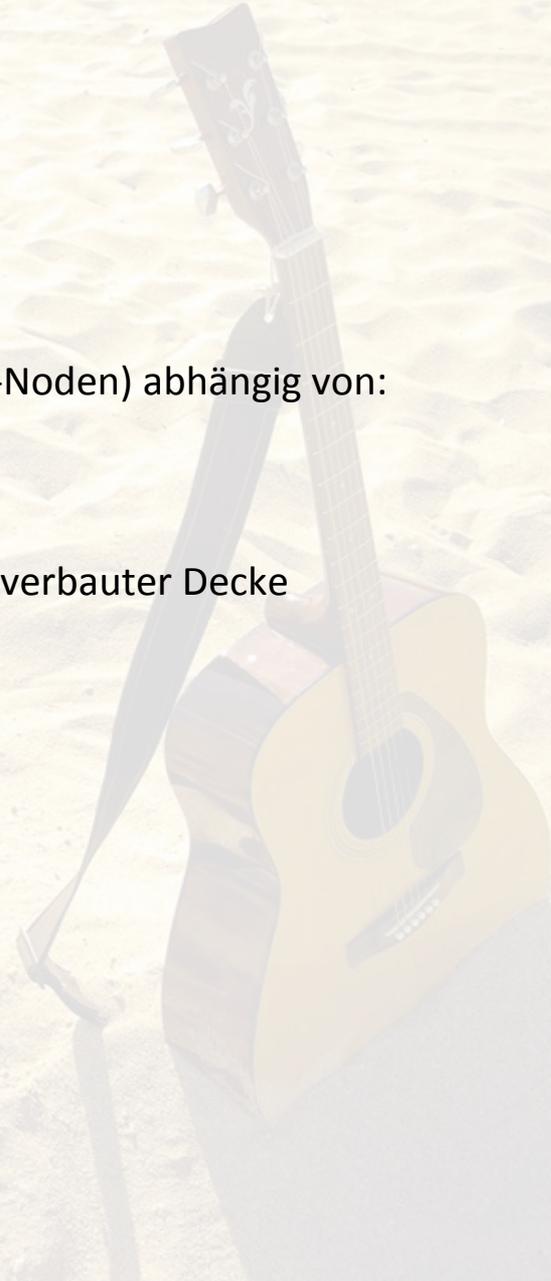
446 Hz

Der Korpus

die Decke

Resonanzen (→ Form und Lage der Noden und Anti-Noden) abhängig von:

- Material
- Form der Decke
- Resonanzen der anderen Teile → bei verbauter Decke
- Bracing



Der Korpus

die Decke

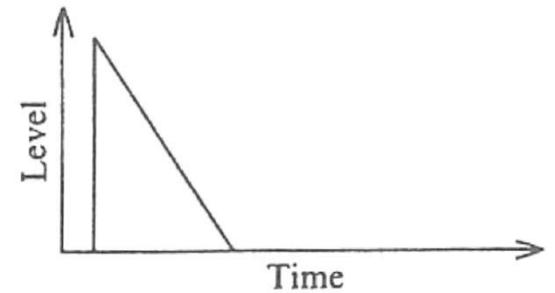
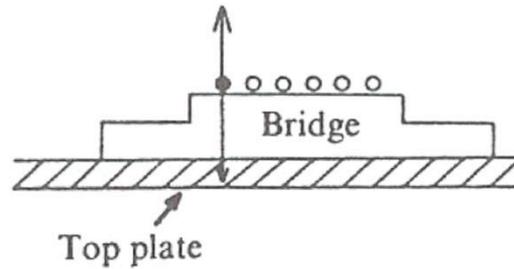
verschiedene Bracings



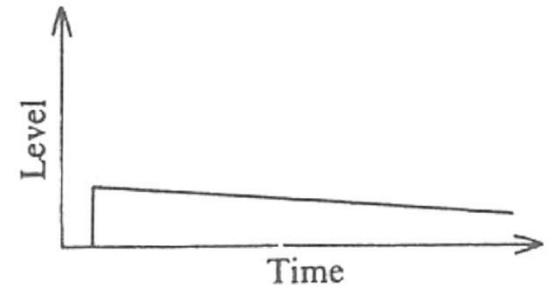
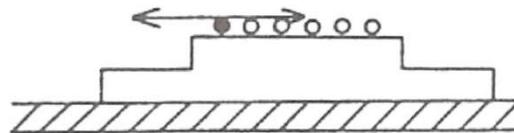
Die Kopplung Saiten - Korpus

Mögliche Richtung der Saitenschwingung:

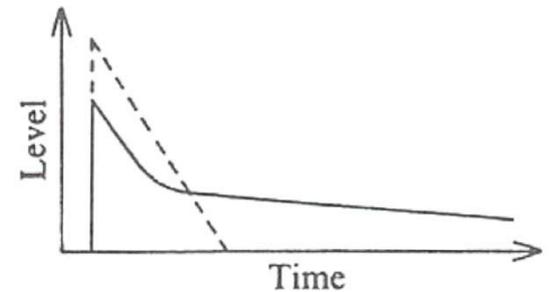
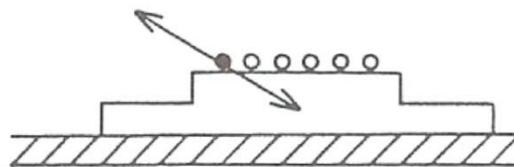
(1) Senkrecht zur Decke



(2) Parallel zur Decke



(3) Schräg zur Decke



Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit!

Noch Fragen?



Quellen:

Internet:

<http://www.phys.unsw.edu.au/music/>
http://murphylibrary.uwlax.edu/digital/journals/JASA/JASA2002/pdfs/vol_111/iss_5/2283_1.pdf
<http://homepages.fh-regensburg.de/~elektrogitarre/>
<http://www-ma4.upc.edu/~xgracia/musmat/treballs/Standaert.guitaracoustics>
<https://www.speech.kth.se/music/acviguit4/>
<http://schreier.free.fr/pages/physik/musik/papers/schwingungslehre.pdf>
http://www.math.uni-hamburg.de/home/muelich/ss08/vortraege/SchwingendeSaite2008ShtZ_0407.pdf
<http://www.sengpielaudio.com/UnterscheideHarmonische.pdf>
<http://www.daddario.com/>
<http://www.flamenco-gitarre.de/>

Bücher:

N. H. Fletcher and T. D. Rossing, The Physics of Musical Instruments

Bilder:

<http://guitars.morrisonprairie.com/test/Chladni-216.html>
http://blog.j-dc.com/wp-content/uploads/2011/04/wallpaper_beach_guitar_1024x768.jpg
<http://www.flickr.com/photos/dominicpics/4875576893/in/set-72157624560305079>
<http://www.flickr.com/photos/dominicpics/4870057140/in/set-72157624560305079/>
<http://www.guitaromnivore.com/2011/12/collapsing-bridge-on-alvarez-kazuo.html>
http://www.peterfang.com/guitarmaker/guitarmaker_a-z/guitarmaker_r/randy_reynolds/images/sgbrace.jpg
<http://yamamotoguitar.com/designPics/brace.jpg>
http://www.thomann.de/de/media_bdbmaxviewer_AR_279789.html?image=5375163
http://www.thomann.de/de/prod_zoom_AR_150353.html
http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Classical_Guitar_two_views.jpg&filetimestamp=20060319143839
http://www.ualberta.ca/~pogosyan/teaching/PHYS_130/images/500px-Harmonic_partials_on_strings.svg.png
http://2.bp.blogspot.com/_0ho4Qs-y9hM/TMaJsVHbWrl/AAAAAAADxE/3E7FmP0Eo8Q/s1600/DSC03996.JPG