



**ifm**  
institut für  
musikinstrumentenbau

# IfM – Institut für Musikinstrumentenbau e.V.

**Warum baut man Streich- und Zupfinstrumente  
eigentlich immer noch aus Holz?**

**Gunter Ziegenhals**

Klingenthaler Str. 42 · 08267 Zwota/Vogtl. · Tel./Fax (037467) 23481/23483 · eMail: post@ifm-zwota.de · www.ifm-zwota.de

1



IfM – Institut für  
Musikinstrumentenbau e.V.

**ifm**  
institut für  
musikinstrumentenbau

## Die Frage könnte man analog auch für die Blechblasinstrumente stellen!



Klingenthaler Str. 42 · 08267 Zwota/Vogtl. · Tel./Fax (037467) 23481/23483 · eMail: post@ifm-zwota.de · www.ifm-zwota.de

2

IfM – Institut für Musikinstrumentenbau e.V.

ifm  
institut für musikinstrumentenbau

## Klassische Materialien der Streich- und Zupf-instrumente

- Decke – Fichte
- Boden und Zarge – Ahorn
- Hals – Ahorn, Palisander
- Griffbrett – Ebenholz, Palisander, Ahorn
- Steg – Ahorn, Palisander, Ebenholz
- Garnitur – Ebenholz, Palisander, Buchsbaum

Klingenthaler Str. 42 · 08267 Zwota/Vogtl. · Tel./Fax (037467) 23481/23483 · eMail: post@ifm-zwota.de · www.ifm-zwota.de

3

IfM – Institut für Musikinstrumentenbau e.V.

ifm  
institut für musikinstrumentenbau

## Akustische Anforderungen

Maximal abgestrahlte Schallleistung  $P_0$  einer Platte

$$P_0 = \rho \cdot c \cdot \overline{v_n^2} \cdot S$$

$c$  – Schallgeschwindigkeit,  $\rho$  – Luftdichte,  
 $v_n$  – Normalschnelle der Platte,  $S$  – Fläche der Platte

**Newton**sches Grundgesetz

$a = F/m$             **Groß und leicht bauen.**

Klingenthaler Str. 42 · 08267 Zwota/Vogtl. · Tel./Fax (037467) 23481/23483 · eMail: post@ifm-zwota.de · www.ifm-zwota.de

4

IfM – Institut für Musikinstrumentenbau e.V.

ifm  
institut für musikinstrumentenbau

## Aber!

- Die Strukturen der Streich- und Zupfinstrumente müssen die Saitenzugkräfte aufnehmen!

Je nach Instrument und Saitentyp zwischen

200 N und 1370 N

**Also Steifigkeit erhöhen!**

## Wie?

Werkstoffe mit möglichst großem Elastizitätsmodul **E** in nicht zu filigranen Strukturen verbauen, da

- Steifigkeit = Querschnittswert(Volumen) \* E-Modul

Klingenthaler Str. 42 · 08267 Zwota/Vogtl. · Tel./Fax (037467) 23481/23483 · eMail: post@ifm-zwota.de · www.ifm-zwota.de

5

IfM – Institut für Musikinstrumentenbau e.V.

ifm  
institut für musikinstrumentenbau

## Also: E-Modul rauf, Dichte $\rho$ runter.

Größe / Material	Holz	Metalle	Kunststoffe	Verbund-Kunststoffe
E-Modul / GPa	7 .. 20 <sup>1)</sup>	20 .. 200	1 .. 5	1 .. 33
Dichte / gcm <sup>-3</sup>	0,1 .. 1,2	0,535 .. 22,6	1,07 .. 2,15	1 .. 2
Schallgeschw. /ms <sup>-1</sup>	2000 .. 6000 <sup>1)</sup>	2160 .. 6100	80 .. 1850	-

**Holz ist offenbar das geeignetste Material für Streich- und Zupfinstrumente (1)-in Faserrichtung).**

Klingenthaler Str. 42 · 08267 Zwota/Vogtl. · Tel./Fax (037467) 23481/23483 · eMail: post@ifm-zwota.de · www.ifm-zwota.de

6

IfM – Institut für Musikinstrumentenbau e.V.

ifm  
institut für musikinstrumentenbau

## Struktur von Holz

### Zusammensetzung

- Cellulose (43-46 Gew.%) Polysaccharid
- Hemicellulosen (27-37 Gew.%) Polysaccharide
- Lignin (20-27 Gew.%) phenolisches Makromolekül
- Inhaltsstoffe verschiedene Stoffgruppen z. B. mineralische Bestandteile.

Klingenthaler Str. 42 · 08267 Zwota/Vogtl. · Tel./Fax (037467) 23481/23483 · eMail: post@ifm-zwota.de · www.ifm-zwota.de

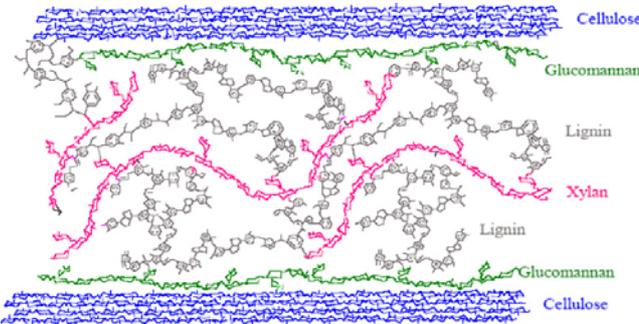
7

IfM – Institut für Musikinstrumentenbau e.V.

ifm  
institut für musikinstrumentenbau

## Struktur von Holz

Holz ist ein **idealer** Faserverbundwerkstoff!



Cellulose  
Glucomannan  
Lignin  
Xylan  
Lignin  
Glucomannan  
Cellulose

(Nach Nilssona, Th.; Rowella, R. 2012)

Klingenthaler Str. 42 · 08267 Zwota/Vogtl. · Tel./Fax (037467) 23481/23483 · eMail: post@ifm-zwota.de · www.ifm-zwota.de

8

IfM – Institut für Musikinstrumentenbau e.V.

ifm  
institut für musikinstrumentenbau

## Struktur von Holz

### Worin unterscheiden sich dann eigentlich die Holzarten?

- Rohdichte Dichte inklusive Hohlräume  
0,1 g/cm<sup>3</sup> (Balsa) bis 1,2 g/cm<sup>3</sup> (Pockholz)
- Reindichte Dichte exklusive Hohlräume  
einheitlich ca. 1,5 g/cm<sup>3</sup>

Hölzer unterscheiden sich im Anteil von Hohlräumen (Poren).  
Beispiel Buche: 44 % Zellwand, 56 % Porenraum (WAGENFÜHR)

Klingenthaler Str. 42 · 08267 Zwota/Vogtl. · Tel./Fax (037467) 23481/23483 · eMail: post@ifm-zwota.de · www.ifm-zwota.de

9

IfM – Institut für Musikinstrumentenbau e.V.

ifm  
institut für musikinstrumentenbau

## Wie wirken sich die Forderungen E-Modul rauf, Dichte $\rho$ runter aus?

- Erregung und Statik  $\frac{E}{\rho}$
- Schwingungseigenschaften  
Schallgeschwindigkeit  $\sqrt{\frac{E}{\rho}}$  möglichst groß  
bei kleinem  $\rho$
- Schallabstrahlung  
Akustische Konstante  $\sqrt{\frac{E}{\rho^3}}$

Klingenthaler Str. 42 · 08267 Zwota/Vogtl. · Tel./Fax (037467) 23481/23483 · eMail: post@ifm-zwota.de · www.ifm-zwota.de

10

IfM – Institut für Musikinstrumentenbau e.V.

ifm  
institut für musikinstrumentenbau

## Elastomechanische Eigenschaften von Holz

- Dichte
- Elastizitätsmodul längs und quer zur Faserrichtung
- Dämpfung längs und quer zur Faserrichtung

Literatur

Holzart	$E_F$ / GPa	Dichte / g/cm <sup>3</sup>
Amerikanischer Nussbaum	11,0 .. <b>11,85</b> .. 13,5	0,57 .. <b>0,64</b> .. 0,81
Ostindischer Palisander	11 ... 14	0,7 .. <b>0,87</b> .. 0,95
Ahorn	6,4 .. <b>10,5</b> .. 15,2	0,45 .. <b>0,63</b> .. 0,79
Aningre	10,9 ... 13,2	0,51 ... 0,6
Amerikanischer Mahagoni	6,4 .. <b>9,5</b> .. 15,0	0,44 .. <b>0,52</b> .. 0,6
Afrikanischer Mahagoni	9,5	0,45 .. <b>0,51</b> .. 0,62
Fichte	7,3 ... <b>11</b> ... 21,4	0,33 ... <b>0,47</b> ... 0,68
Tanne	6,6 ... <b>11</b> ... 17,2	0,35 ... <b>0,45</b> ... 0,75

Klingenthaler Str. 42 · 08267 Zwota/Vogtl. · Tel./Fax (037467) 23481/23483 · eMail: post@ifm-zwota.de · www.ifm-zwota.de

11

IfM – Institut für Musikinstrumentenbau e.V.

ifm  
institut für musikinstrumentenbau

## Elastomechanische Eigenschaften von Holz

### Untersuchungen an Holz von fünf Stämmen

- Oktober 1995 – Auswahl von fünf Stämmen im Forstbezirk Schluchsee, visuell und Bohrnadeluntersuchung
- Einschlag am 20. und 21. Dezember 1995 – sofort je Baum zwei Stammteile (1,3 m bis 6,4 m und 6,4 m bis 11,5 m) geschnitten, Lagerung im Forstamt Schluchsee
- 21. Februar bis 9. März 1996 aufsägen mittels Blockbandsäge, subjektive Beurteilung, Aussortieren unbrauchbarer Teile – Ergebnis 2200 Deckenpaare, Hälften 60 x 20 x 0,5 cm
- Kennzeichnung aller Paare nach Stamm, Höhe und Himmelsrichtung

Klingenthaler Str. 42 · 08267 Zwota/Vogtl. · Tel./Fax (037467) 23481/23483 · eMail: post@ifm-zwota.de · www.ifm-zwota.de

12

IfM – Institut für Musikinstrumentenbau e.V.

ifm  
institut für musikinstrumentenbau

## Elastomechanische Eigenschaften von Holz

### Untersuchungen an Holz von fünf Stämmen

- „Gehölzerte“ Lufttrocknung bis Juni 1996
- Auswahl von 600 Paaren bei gleichmäßiger Güteverteilung, entfernen von Risskanten, neue Maße 57 x 21 x 0,5-0,55 cm
- 16. bis 19. Juli 1996 Kammertrocknen – Feuchte 12 %
- Schleifen und schneiden auf 54,0 x 20,0 x 0,4 cm
- Raumlagerung bis Ende August, Messung der Holzfeuchte ergab nur 6 % ... 8 %.
- Im weiteren luftdichte Lagerung in Kunststoffsäcken.

Klingenthaler Str. 42 · 08267 Zwota/Vogtl. · Tel./Fax (037467) 23481/23483 · eMail: post@ifm-zwota.de · www.ifm-zwota.de

13

IfM – Institut für Musikinstrumentenbau e.V.

ifm  
institut für musikinstrumentenbau

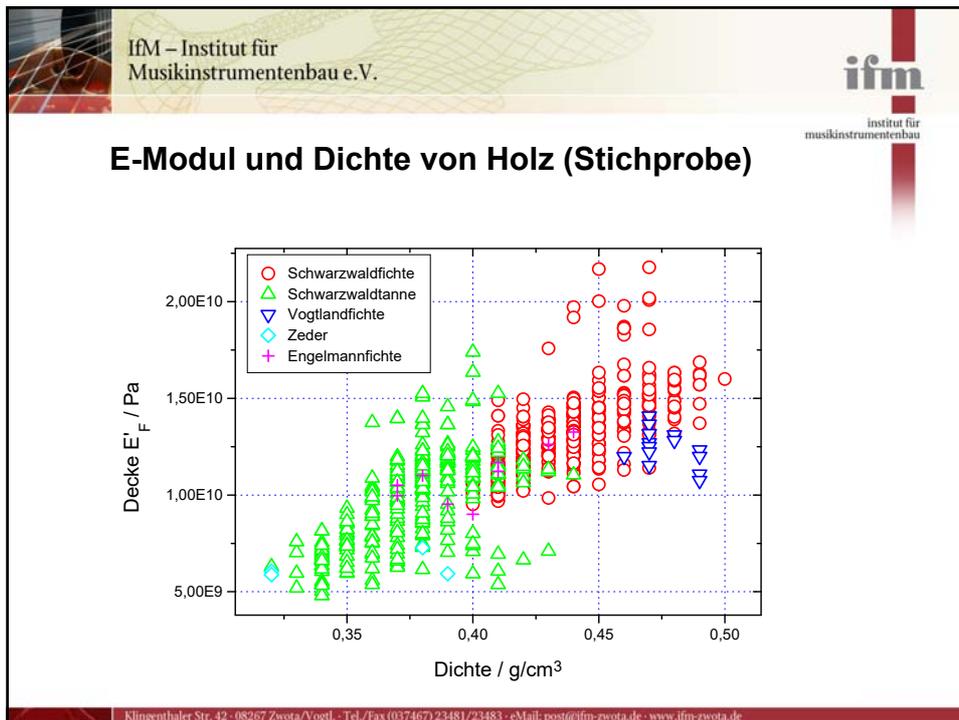
## Elastomechanische Eigenschaften von Holz

Eigene Messungen an ca. 1200 Deckenhälften - Fichte und Tanne aus dem Schwarzwald

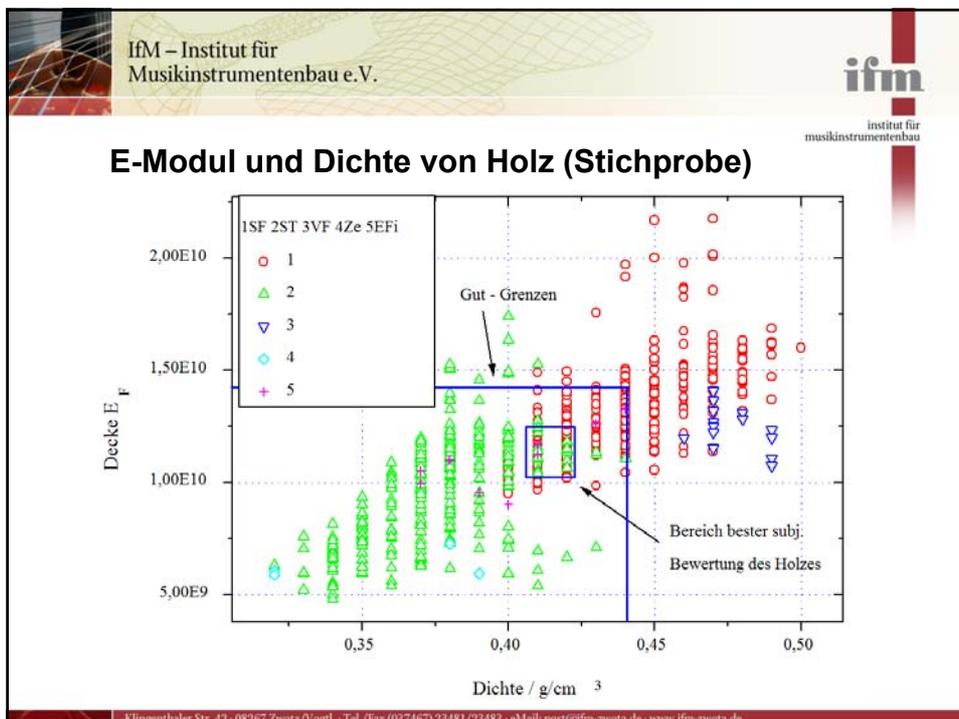
Eigenschaft	Fichte				Tanne			
	Min	MW	Max	SA	Min	MW	Max	SA
$\rho / \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	0,4	0,43	0,5	0,02	0,32	0,38	0,44	0,02
$E_F / \text{Gpa}$	9,5	12,9	21,8	1,8	4,8	9,9	17,4	2,3
$E_q / \text{Gpa}$	0,1	0,76	2,3	0,28	1,8	0,57	0,1	0,21
$\eta_F / \%$	1,73	1,83	2,0	0,04	1,73	1,83	2,53	0,05
$\eta_q / \%$	1,61	2,15	6,62	0,22	1,43	2,08	3,05	0,14

Klingenthaler Str. 42 · 08267 Zwota/Vogtl. · Tel./Fax (037467) 23481/23483 · eMail: post@ifm-zwota.de · www.ifm-zwota.de

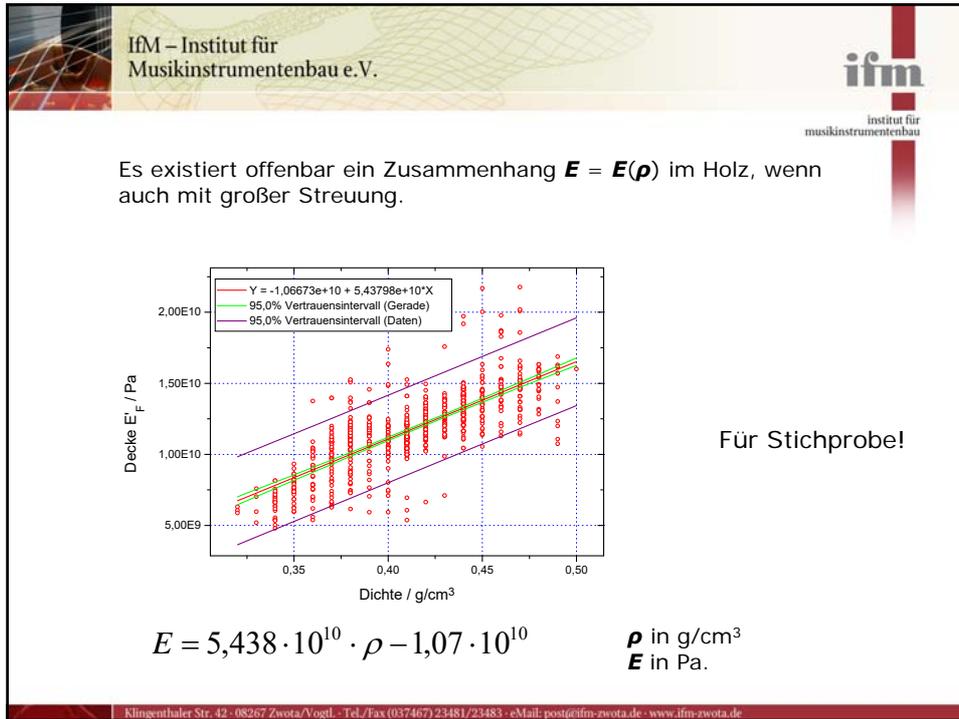
14



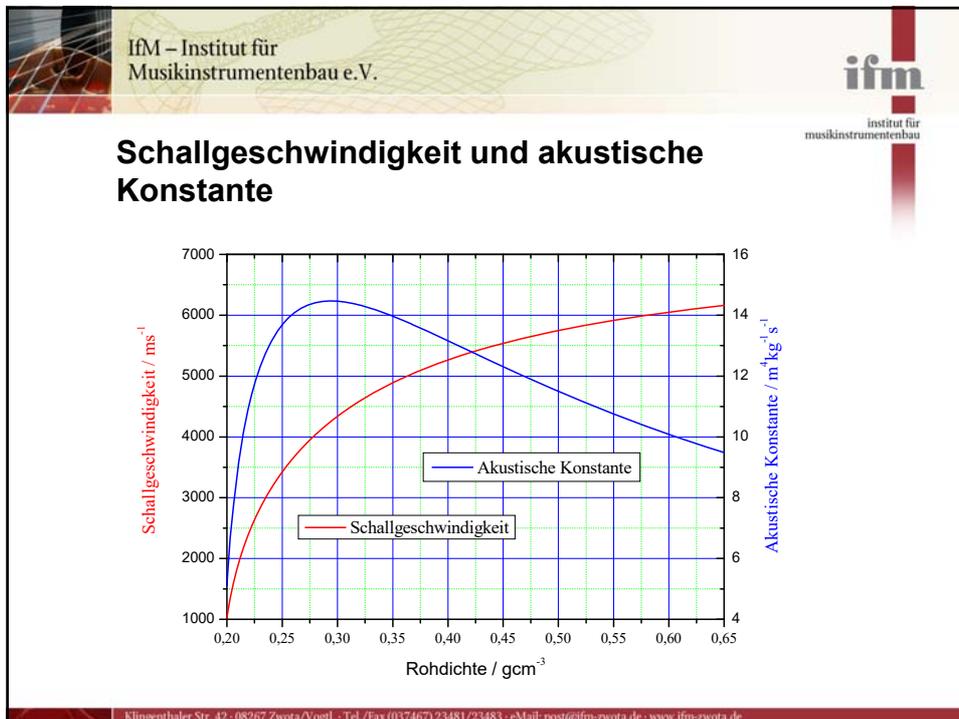
15



16



17



18

IfM – Institut für Musikinstrumentenbau e.V.

ifm  
institut für musikinstrumentenbau

## Visionen

### Musiker bestellen ungewöhnliche Instrumente, um neue musikalische Vorstellungen umsetzen zu können.



Instrument vereint Flamenco-, 12 saitige und Baritongitarre sowie 18-saitige Harfe



Jimmy Page ließ eine Doppelhalsgitarre bauen, um „stairway to heaven“ live darbieten zu können.



Wagner orderte für seine Werke ein ganzes Instrumentarium bis dahin nicht verfügbarer Varianten. Dazu z. B. Sonderausstellung 2013 Goldene Klänge im mystischen Grund: Musikinstrumente für Richard Wagner Grassi – Museum für Musikinstrumente

Klingenthaler Str. 42 · 08267 Zwota/Vogtl. · Tel./Fax (037467) 23481/23483 · eMail: post@ifm-zwota.de · www.ifm-zwota.de

19

IfM – Institut für Musikinstrumentenbau e.V.

ifm  
institut für musikinstrumentenbau

## Zwänge

- **Artenschutz**
  - **CITES** Rio Palisander in Anhang I (generelles Verbot) alle Dalbergia-Arten und etliche weitere Hölzer in Anhang II, Verwendung (erwünscht) mit aufwendiger Bürokratie
  - **EUTR** (Europäische Holzhandelsverordnung) Verwendung mit (aufwendiger) Bürokratie für alle Holzarten
- **Hoher Bedarf** für stoffliche und energetische Verwendung kann auf Dauer nicht befriedigt werden. Zu wenig Fichtenholz mit optimalen Eigenschaften.

Klingenthaler Str. 42 · 08267 Zwota/Vogtl. · Tel./Fax (037467) 23481/23483 · eMail: post@ifm-zwota.de · www.ifm-zwota.de

20

IfM – Institut für Musikinstrumentenbau e.V.

**ifm**  
institut für musikinstrumentenbau

## CITES Washingtoner Artenschutzabkommen

- **1992** – CoP8 Rio Palisander in Anhang I
- **2007** – CoP14 Fernambuk in Anhang II  
Ausnahmeregelung fertiger Bogen
- **2013** – CoP16 5 Palisanderarten + Ebenholz Population Madagaskar in Anhang II
- **2016** – CoP17 alle Dalbergia-Arten in Anhang II  
Aufforderung: Erleichterungen für Musiker
- **2019** – CoP18 Hoffen auf Ausnahmeregelung für Musikinstrumente

Klingenthaler Str. 42 · 08267 Zwota/Vogtl. · Tel./Fax (037467) 23481/23483 · eMail: post@ifm-zwota.de · www.ifm-zwota.de

21

IfM – Institut für Musikinstrumentenbau e.V.

**ifm**  
institut für musikinstrumentenbau

## Forderungen E-Modul rauf, Dichte $\rho$ runter ohne, oder mit weniger Holz realisieren

- Leichtbau im Musikinstrumentenbau
  - Sandwich-Strukturen
  - Wabenstrukturen
- Künstliche Faserverbundwerkstoffe
  - z. Z. können nur Werkstoffe mit Carbonfasern die akustischen Eigenschaften von Holz übertreffen.
  - Frage: Ist das überhaupt gut?
- Schwächer geschützte Hölzer modifizieren.
- Konservative Auffassungen überwinden.

Klingenthaler Str. 42 · 08267 Zwota/Vogtl. · Tel./Fax (037467) 23481/23483 · eMail: post@ifm-zwota.de · www.ifm-zwota.de

22

IfM – Institut für Musikinstrumentenbau e.V.

ifm  
institut für musikinstrumentenbau

## Weitere Gründe für Massereduktion

- Eine geringere Masse erhöht die Dämpfung der Eigenschwingungen und verbessert dadurch die Ansprache der Instrumente.
- Weniger Masse = weniger Gewicht gut für Ergonomie und das Handling der Instrumente allgemein.
- Transportmasse von Orchestern

Klingenthaler Str. 42 · 08267 Zwota/Vogtl. · Tel./Fax (037467) 23481/23483 · eMail: post@ifm-zwota.de · www.ifm-zwota.de

23

IfM – Institut für Musikinstrumentenbau e.V.

ifm  
institut für musikinstrumentenbau

## Leichtbau im Musikinstrumentenbau keine Neuheit

- Leichtbau ist im Gitarrenbau bereits seit Jahrzehnten eine gebräuchliche Technologie.
- Die 1964 entwickelte Ovation-Gitarre kombiniert eine Holzdecke mit einem gewölbten CFK-Korpus.



Klingenthaler Str. 42 · 08267 Zwota/Vogtl. · Tel./Fax (037467) 23481/23483 · eMail: post@ifm-zwota.de · www.ifm-zwota.de

24

IfM – Institut für Musikinstrumentenbau e.V.

**ifm**  
institut für musikinstrumentenbau

## Deutscher Musikinstrumentenpreis 2015



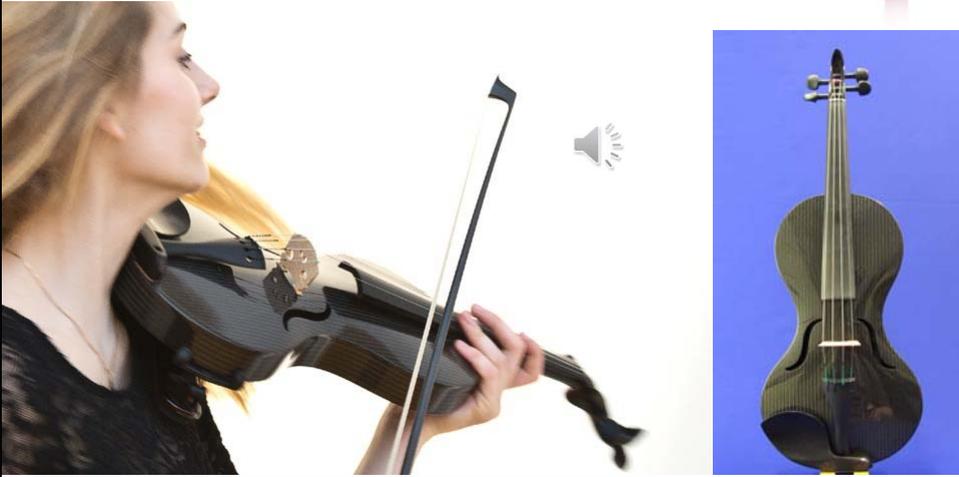
Klingenthaler Str. 42 · 08267 Zwota/Vogtl. · Tel./Fax (037467) 23481/23483 · eMail: post@ifm-zwota.de · www.ifm-zwota.de

25

IfM – Institut für Musikinstrumentenbau e.V.

**ifm**  
institut für musikinstrumentenbau

## Carbongeige DMIP 2015



Klingenthaler Str. 42 · 08267 Zwota/Vogtl. · Tel./Fax (037467) 23481/23483 · eMail: post@ifm-zwota.de · www.ifm-zwota.de

26

IfM – Institut für Musikinstrumentenbau e.V.

ifm  
institut für musikinstrumentenbau

## Alternative Lösungen für Ebenholz-Griffbretter



Klingenthaler Str. 42 · 08267 Zwota/Vogtl. · Tel./Fax (037467) 23481/23483 · eMail: post@ifm-zwota.de · www.ifm-zwota.de

27

IfM – Institut für Musikinstrumentenbau e.V.

ifm  
institut für musikinstrumentenbau

## Spielfähige Weißmuster



Lösungsvarianten (Beispiele)

- Sandwichdecke mit Aramidwabenkern
- Fichtendecke innen Carbon verstärkt

Traditionelle äußere Optik wurde beibehalten.

Massereduzierung zwischen 5% und 15% je nach Lösungsvariante.

Klingenthaler Str. 42 · 08267 Zwota/Vogtl. · Tel./Fax (037467) 23481/23483 · eMail: post@ifm-zwota.de · www.ifm-zwota.de

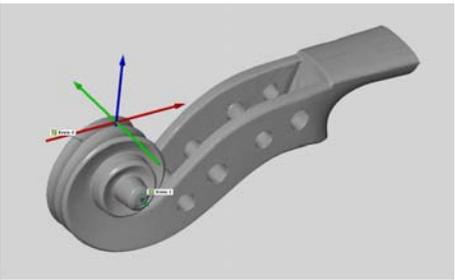
28

IfM – Institut für Musikinstrumentenbau e.V. ifm  
institut für musikinstrumentenbau

### Von der Punktwolke zur 3-D-Konstruktion und zum 3D-Druck

bearbeiteter Scan (Streifenoptik)  
Schnecke

Aus Scan abgeleiteter 3D-Druck



Klingenthaler Str. 42 · 08267 Zwota/Vogtl. · Tel./Fax (037467) 23481/23483 · eMail: post@ifm-zwota.de · www.ifm-zwota.de

29

IfM – Institut für Musikinstrumentenbau e.V. ifm  
institut für musikinstrumentenbau

### Gedruckte Gitarren Eine mögliche Zukunft??



Klingenthaler Str. 42 · 08267 Zwota/Vogtl. · Tel./Fax (037467) 23481/23483 · eMail: post@ifm-zwota.de · www.ifm-zwota.de

30