

Ultraschallverfahren zur Bestimmung von Kennwerten für Musikinstrumentenhölzer

Peter HOLSTEIN¹, Gunter ZIEGENHALS², Andreas THARANDT¹,
Nicki BADER¹, Hans-Joachim MÜNCH¹

¹ SONOTEC Ultraschallsensorik Halle GmbH, Halle (Saale)

² IfM - Institut für Musikinstrumentenbau e. V.
an der Technischen Universität Dresden, Zwota

Kurzfassung

Holz ist einer der wichtigsten Werkstoffe, die bei der Herstellung von Musikinstrumenten eingesetzt werden. Hierbei kommen unterschiedlichste Hölzer zum Einsatz, die verschiedenste Funktionen erfüllen müssen. Zusätzlich besteht bei Naturmaterialien wie Holz das Problem, dass die Eigenschaften eine große Schwankungsbreite bezüglich mechanischer Eigenschaften aufweisen. Weiterhin spielen die ausgeprägte Anisotropie der mechanischen und akustischen Eigenschaften, das Vorhandensein von Früh- und Spätholzzonen sowie das Auftreten von ausgeprägten speziellen Inhomogenitäten wie Ästen, Drehwuchs oder Druckholzzonen (in bestimmten Bereichen als Holzfehler aufgefasst) eine entscheidende Rolle. Dies muss sowohl bei der Entwicklung als auch bei der Fertigung im Hinblick auf die akustische und statische Funktionalität berücksichtigt werden.

Aufgrund der starken Dämpfung und Streuung der Ultraschallsignale werden spezielle Anforderungen an die Messverfahren, die Prüftechnik und Prüfköpfe sowie die Auswerteverfahren gestellt. Darüber hinaus spielen die Schwankungen der Materialeigenschaften sowie die Orthotropie des Werkstoffes bei Holz eine wichtige Rolle bei der Gewinnung und Bewertung der akustischen Kennwerte und der abgeleiteten Materialeigenschaften.

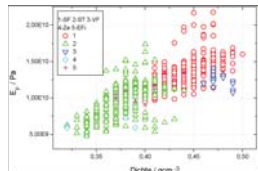
ULTRASCHALLVERFAHREN ZUR BESTIMMUNG VON KENNWERTEN FÜR MUSIKINSTRUMENTENHÖLZER

Motiv: Holz ist einer der wichtigsten Werkstoffe die bei der Herstellung von Musikinstrumenten eingesetzt werden. Hierbei kommen unterschiedlichste Hölzer zum Einsatz, die verschiedenste Funktionen erfüllen müssen. Zusätzlich besteht bei Naturmaterialien wie Holz das Problem, dass die Eigenschaften eine große Schwankungsbreite bezüglich mechanischer Eigenschaften aufweisen. Weiterhin spielen die ausgeprägte Anisotropie der akustischen Eigenschaften, das Vorhandensein von Früh- und Spätholzzonen sowie das Auftreten von ausgeprägten speziellen Inhomogenitäten wie Ästen, Drehwuchs oder Druckholzonen (in bestimmten Bereichen als Holzfehler aufgefasst) eine entscheidende Rolle. Dies muss sowohl bei der Entwicklung, als auch der Fertigung im Hinblick auf die akustische und statische Funktionalität berücksichtigt werden. Aufgrund der starken Dämpfung und Streuung der Ultraschallsignale werden spezielle Anforderungen an die Messverfahren, die Prüftechnik und Prüfköpfe sowie an die Auswertverfahren gestellt. Darüber hinaus sind die Schwankungen der Materialeigenschaften sowie die Orthotropie des Holzwerkstoffes bei der Gewinnung und Bewertung der akustischen Kennwerte und der abgeleiteten Materialeigenschaften zu berücksichtigen.

Typische Holzbauteile für Musikinstrumente



Konventionelle mechanische Parameterbestimmung und Genauigkeitsanforderungen



$$c = \sqrt{\frac{E \cdot (1 - \mu)}{\rho \cdot (1 + \mu) \cdot (1 - 2\mu)}}$$

$$E = c^2 \cdot \rho \cdot \frac{(1 + \mu) \cdot (1 - 2\mu)}{1 - \mu}$$

- $\Delta\rho < \pm 3\%$
- $\Delta E < \pm 3\%$
- $\Delta\nu' < \pm 3\%$

Verteilung der Eigenschaften Dichte und E-Modul für Deckenhälften aus verschiedenen Hölzern; Stichprobe von ca. 1000 Gitarrendeckenhälften; Bild links: Fichte (Schwarzwald), Tanne (Schwarzwald), Fichte (Vogtland), Zeder und Engelmann-Fichte; Bild rechts: Genauigkeitsanforderungen und Berechnung der Parameter

→ Eine Materialauswahl anhand von Stichproben ist aufgrund der starken Streuung nicht zielführend
→ Große Streuung der relevanten Eigenschaften verschiedener Holzarten auch innerhalb einer Holzart bei unterschiedlichen Wuchsstandorten

Ziel: Bestimmung der elastischen Eigenschaften des Holzes:

1. vor der Entscheidung zum Materialeinkauf
2. im Rahmen der Vorsortierung
3. vor dem eigentlichen Verbau

Das Schwingungsverhalten von Körpern ist durch Geometrie und elastomechanische Materialeigenschaften bestimmt: Dichte (ρ), Elastizitätsmodul (E), Poissonzahl (μ) und Dämpfung (ν'). Folgende Methoden zur experimentellen Bestimmung der Kenngrößen sind bekannt:

- Dichte (korrekter die Rohdichte) : DIN 52182
- Elastizitätsmodul: Standardbiegeversuch (DIN 52186)
- Ultraschalllaufzeitmessung: Lucchimeter (Anfang der 1980er Jahre)

→ Großes Potenzial für Verbesserung der Methode und Ableitung entspr. Technik

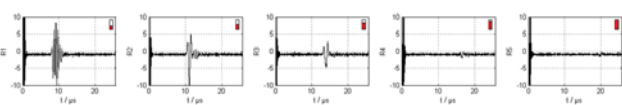
Herausforderung an die Ultraschallmessung

- Geringe akustische Impedanz
- Hohe Dämpfung
- Mesoskopische und makroskopische Heterogenität
- Anisotropie
- Dispersion der Schallgeschwindigkeit
- Dispersion der Dämpfung

Für die Anregung und den Nachweis codierter Sequenzen müssen Prüfköpfe mit extrem breitbandiger Frequenzcharakteristik (möglichst linear !) eingesetzt werden. Zielführend waren hier Spezialentwicklungen auf der Basis von Piezokompositen.

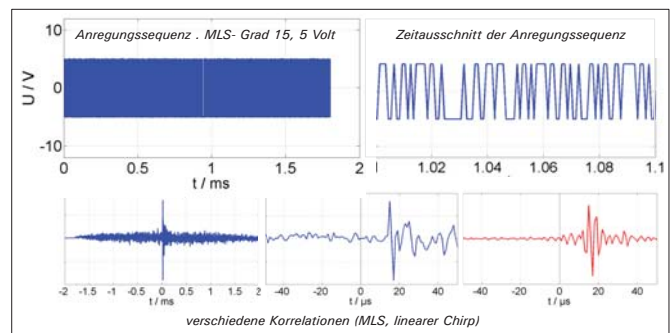
Experimente

wurden jeweils an 5 unterschiedlich langen Probekörpern durchgeführt (Begonnen wurde mit einem üblichen Verfahren: 2 MHz, Impuls 200 V, HF-Signal).

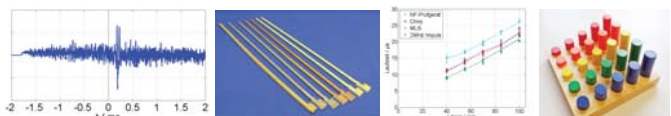


Codierte Signale

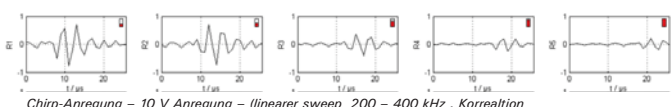
finden in der Akustik und Radartechnik seit langem Anwendung [1,2]. Zur Bestimmung der Laufzeiten/ Schallgeschwindigkeiten wurde ein Aufbau gewählt, der eine frei codierbare Anregung ermöglicht. Aufgrund des großen Energieeintrags sind bereits sehr geringe Signalspannungen ausreichend. Weiterhin ist auf diese Weise auch ein leichter Zugang zur optimalen Arbeitsfrequenz möglich. Eine wichtige Voraussetzung sind die bereits erwähnten breitbandigen Sensoren.



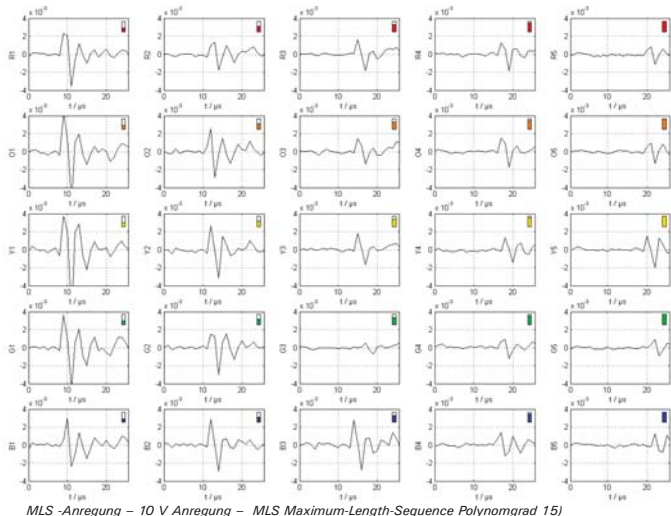
Validierung des Verfahrens



VLNR: Laufzeitmessung an einer Bogenstange (750 mm) aus Pernambuco-Holz (Brasilien); vergleichende Übersicht aller verwendeten Verfahren; Probekörper f.d. unten dargestellten Chirp und MLS Anregungen



Chirp-Anregung - 10 V Anregung - (linearer sweep 200 - 400 kHz, Korrelation



MLS-Anregung - 10 V Anregung - MLS Maximum-Length-Sequence Polynomgrad 15

Schlussfolgerungen: Für die Bestimmung der Schallgeschwindigkeiten sind bei längeren Holzprüfkörpern niedrige Frequenzen erforderlich. Insbesondere mit codierten Anregungen werden reproduzierbare Ergebnisse erreicht. Damit werden auch die Schwankungen, die aus Materialeigenschaften resultieren, sicher unterschieden. Aus den Laufzeiten werden die Schallgeschwindigkeiten abgeleitet, die als Input für die Bestimmung der mechanischen Parameter dienen.