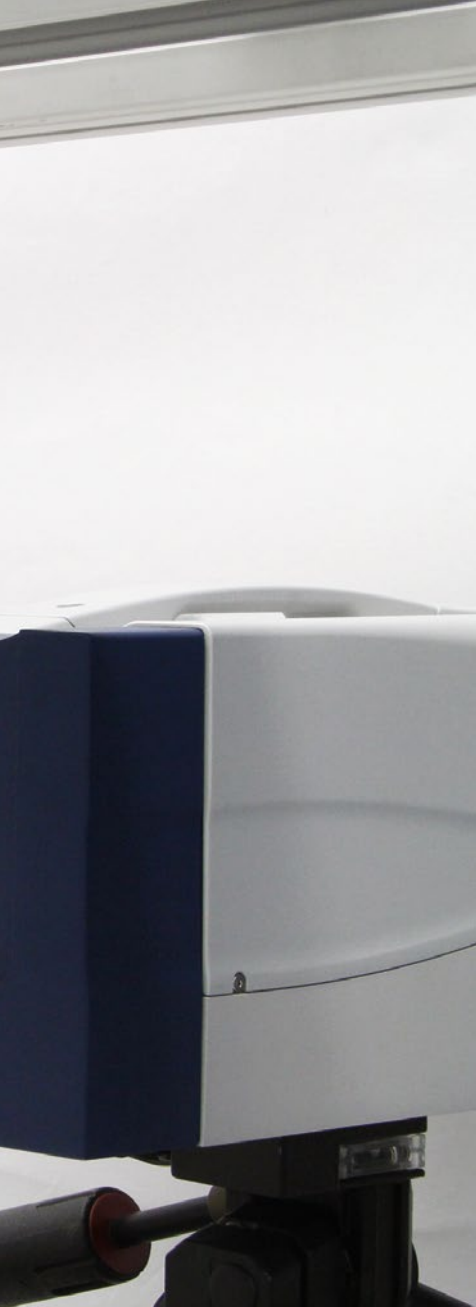




Sichtbare Musik

Scanning-Vibrometer erfasst Schwingverhalten von Instrumenten

Die Geschichte der Musikinstrumente ist beinahe so alt, wie die Menschheit selbst. Sowohl die Güte als auch die Spielweise vieler Instrumente haben durch die jahrhundertelange empirische Weiterentwicklung eine kaum übertreffbare Qualität erreicht. Daher hat die wissenschaftliche Untersuchung zunächst nicht das Ziel, hier eine wesentliche Verbesserung herbei zu führen. Wichtiger erscheint dagegen der Anspruch, ein Verständnis für die komplexen Zusammenhänge zu entwickeln.



Bei diesem Forschungsvorhaben wurden zunächst zwei qualitativ unterschiedliche Triangeln untersucht. Diese unterscheiden sich zum einen in der Form (Bild 1), zum anderen im Klang. Ziel der Untersuchungen ist es, den Einfluss der geometrischen Besonderheiten der qualitativ hochwertigeren Triangel auf den Klang zu ermitteln. Darüber hinaus sollen mit dieser verhältnismäßig einfachen Struktur Erfahrungen bezüglich der experimentellen Analyse und der numerischen Modellierung von Musikinstrumenten gesammelt werden.

VERSUCHSAUFBAU UND DURCHFÜHRUNG

Die Analyse und Messung der Triangeln erfolgt in zwei Schritten. Bei der ersten Messung erfasst ein Polytec PSV-400 Scanning-Laservibrometer in einer experimentellen Modalanalyse die Eigenfrequenzen und Eigenschwingformen. In einem zweiten Schritt gibt eine Mikrofonmessung darüber

Aufschluss, wie sich die Schwingung der Struktur auf die Luft und damit auf den Hörer überträgt.

Im Allgemeinen hängt die Triangel mit einer Schnur an einem Ständer und wird mit einem Metallstab angeregt. Um einer Verdrehung und einer zu großen Schwingung während der Messung vorzubeugen, wird, in Anlehnung an die originale Spielweise, diese im Versuch an zwei Punkten mit Federn gelagert (Bild 2). Die weichen Federn dienen hier der Entkopplung vom Versuchsstand, was im Nachhinein den Abgleich mit der numerischen Simulation erleichtert. Die Struktur kann sich frei im Raum bewegen.

Die Anregung erfolgt, wie auch bei der originalen Spielweise, impulsartig mittels eines Impulshammers. Dabei unterscheidet sich der Klang nicht merklich von dem bei einer Anregung mit dem Metallstab. Um die Reproduzierbarkeit der Messung zu gewährleisten, wurde eine ▶



Bild 1: Geometrische Besonderheiten der qualitativ hochwertigeren Triangel.

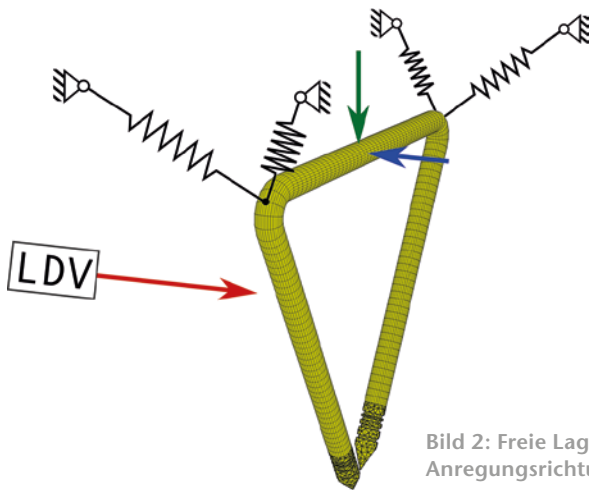


Bild 2: Freie Lagerung und verschiedene Anregungsrichtungen der Triangel.

Vorrichtung konstruiert, mit deren Hilfe der Hammerschlag immer an derselben Stelle und in derselben Richtung mit einer definierten Kraft erfolgt (Bild 3). Im Versuch erfolgt die Anregung der Triangel zum einen in der Triangel-Ebene (Bild 2 grün) und zum anderen senkrecht dazu (Bild 2 blau).

Für die Messung des Geschwindigkeitsfeldes wird das PSV-400 eingesetzt. Gegenüber alternativen Messmethoden mit Beschleunigungssensoren bietet dieses berührungslose Laser-Doppler-Messverfahren den Vorteil, dass die Schwingungseigenschaften der Struktur durch die Messung nicht beeinflusst werden. Des Weiteren lässt sich das Scan-Gitter mittels der optischen Unterstützung des Scan-Kopfes beliebig fein einrichten. Für eine erhöhte Signalqualität des rückgestrahlten Laserstrahls wird lediglich

eine Reflexionsfolie punktuell auf die verchromte Oberfläche der Triangel aufgebracht. Für den zweiten Teil, der Messung mit dem Mikrofon, werden Lagerung und Anregung der Struktur beibehalten. Das Mikrofon ist in einem Abstand von 40 cm zur Triangel angebracht. Der

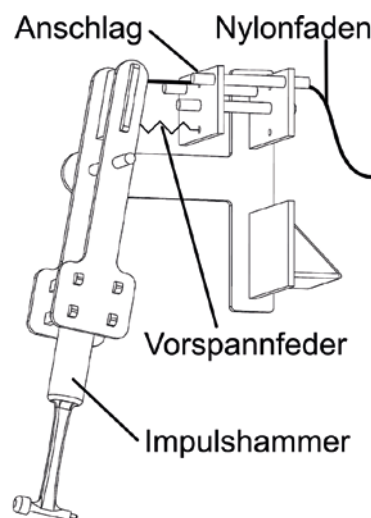


Bild 3: Vorrichtung für die Anregung mit dem Impulshammer.

Abstand bestimmt sich zum einen aus den baulichen Abmaßen des Prüfstandes und zum anderen muss ein Mindestabstand eingehalten werden, um außerhalb des akustischen Nahfeldes zu messen.

Auf Grund der örtlich hohen Auflösung des Scan-Gitters lassen sich im Abgleich von Messung und Simulation die Schwingformen und damit auch die zugehörigen Eigenfrequenzen eindeutig zuordnen (Bild 4). Eine Sensitivitätsanalyse ermittelt unter Zuhilfenahme der Finite-Elemente-Modellierung die unbekannt Materialparameter der Triangeln.

ERGEBNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNG

Akustische Instrumente erzeugen grundsätzlich einen Klang, der aus einer Überlagerung vieler harmonischer Schwingungen unterschiedlicher Frequenzen besteht. Letztere entsprechen den Eigenfrequenzen der Struktur.

Ein Klang besteht in der Regel aus einem Grundton und den harmonisch dazu aufsteigenden Obertönen. Das Empfinden für einen schönen Klang ist stark abhängig von der musikalischen Erfahrung des Hörers. Dennoch lassen sich objektive Kriterien finden, mit denen die Konsonanz bzw. Dissonanz von jeweils zwei Frequenzen bzw. der harmonische Zusammenhang aller auftretenden

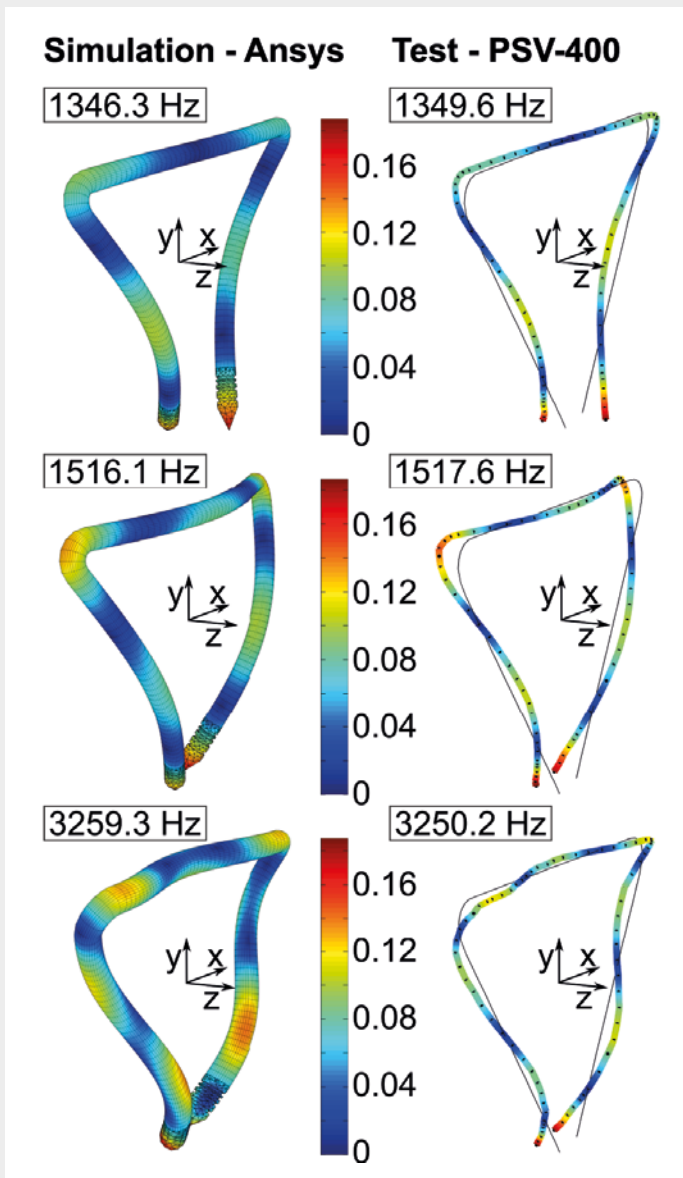


Bild 4: Vergleich der berechneten (links) und der gemessenen (rechts) Eigenformen.

den Frequenzen beschrieben werden kann. Da die Triangel zu den Perkussions-Instrumenten gehört und Tonart-unabhängig gespielt wird, ist es nicht gewollt, dass sie einen Grundton aufweist. Damit lässt sich für sie kein Kriterium für die harmonische Folge der Obertöne anwenden.

Der Klang der Triangel ist maßgeblich von der Richtung der Anregung abhängig. Aus den Ergebnissen der Mikrofonmessung ist nicht eindeutig erkennbar, welche Eigenfrequenzen zu welcher Anregungsrichtung gehören, da durch den Impuls immer auch die orthogonale Richtung angeregt wird. Erst mit Hilfe des PSV-400 lassen sich die Eigenfrequenzen eindeutig zuordnen, da die Messrichtung genau einstellbar ist.

Aus diesen Ergebnissen und dem Kriterium für Konsonanz lässt sich zeigen, warum die qualitativ hochwertigere Triangel für den Hörer besser klingt. Es zeigt sich nämlich, dass die ersten fünf entscheidenden Eigenfrequenzen nicht dissonant zueinander sind. ■

Kontakt

Dipl.-Ing. Pascal Bestle,
 Prof. Dr.-Ing. Prof. E.h. Peter Eberhard,
 Prof. Dr.-Ing. Michael Hanss
 pascal.bestle@itm.uni-stuttgart.de
 Institut für Technische und Numerische Mechanik
 Universität Stuttgart