

# Textile phononische Kristalle – Schalleitung durch periodische Strukturen in Textilien

Karsten Neuwerk<sup>1</sup>, Michael Haupt<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung, 73770 Denkendorf, E-Mail: karsten.neuwerk@ditf.de

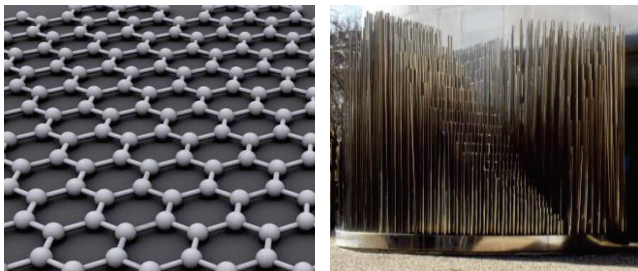
<sup>2</sup> Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung, 73770 Denkendorf, E-Mail: michael.haupt@ditf.de

## Einleitung

Die gezielte Kontrolle und Manipulation von Schallwellen stellt seit jeher eine große Herausforderung in der Schalltechnik dar.

In der Vergangenheit wurde diese Herausforderung lediglich mit Isolations- und Dämmstrukturen angegangen. Die Erzeugung von Bandlücken in periodische Strukturen hingegen bietet die Möglichkeit Schallwellen gezielt interferieren zu lassen. Diese Entwicklung bietet somit das Potential für akustische Linsen, Schallspiegel, Schalleitungen und Schallfallen.

Die Interferenz von Schallwellen an periodischen Strukturen ist bereits auf mikroskopischer und makroskopischer Ebene Gegenstand der Schallforschung. Eine konstruktive Interferenz tritt auf, wenn die Wellenlänge des Schalls im Bereich der Abstände der periodischen Struktur liegt. Abbildung 1 zeigt links eine Diamantstruktur mit Bandlücke im Wellenlängenbereich der atomaren Abstände und rechts ein Kunstobjekt mit Bandlücke im hörbaren Schallspektrum.



**Abbildung 1:** Phononische Kristallstrukturen mit Bandlücken bei Wellenlängen im Bereich des atomaren Abstands (links) und bei 1670 Hz (rechts).

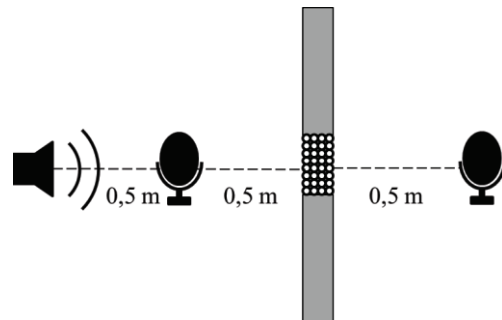
Die Entwicklung textiler phononischer Kristalle bietet einen wirtschaftlichen Ansatz zur gezielten Schallmanipulation. Zudem erlauben die hohe Genauigkeit von textilen Produkten, die Variabilität der Struktur, das Material und die Kombination von Materialien eine definierte Bandlückenerzeugung in einem großen Frequenzspektrum.

## Material und Methoden

Um das Grundprinzip eines textilen, phononischen Kristalls zu verifizieren wird ein vergrößerter Versuchsaufbau entworfen und gebaut. Das Analogon zum textilen Werkstoff sind Schläuche aus Weich-PVC. Diese Schläuche werden vergleichbar mit einem unidirektionalen Gelege parallel zueinander angeordnet und fixiert. Die Zylinder der periodischen Struktur werden von den Luftsäulen im Inneren der Schläuche gebildet. Das Weich-PVC stellt daher das Umgebungsmedium des phononischen Kristalls dar. Zum Auftreten von Interferenzen müssen sich die

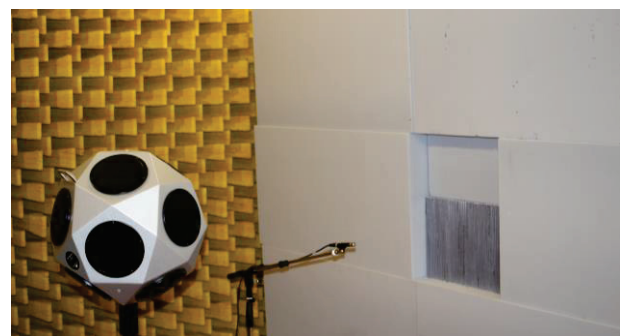
Schallgeschwindigkeiten der beiden Medien mindestens um den Faktor 2 unterscheiden. Bei einer Schallgeschwindigkeit von ca. 80 m/s im Weich-PVC und einer Schallgeschwindigkeit von 340 m/s in Luft ergibt sich ein entsprechender Faktor von über 4.

Der Versuchsaufbau besteht aus der PVC-Probe die als Schallfenster in eine schallisierende Wand eingebaut wird. Vor der Probe wird im Abstand von 0,5 m eine Schallquelle angebracht und vor, sowie hinter der Probe in 0,5 m Abstand jeweils ein Schallpegelmesser positioniert. Abbildung 2 zeigt die schematische Darstellung des Versuchsaufbaus



**Abbildung 2:** Schematische Darstellung des Messaufbaus, bestehend aus der PVC-Probe, der Schallquelle und den Schallpegelmessern.

Um unerwünschte Randeffekte, wie Hall und Störgeräusche zu eliminieren, werden die Versuche im Schallmessraum der DITF Denkendorf durchgeführt. Diese Messumgebung bietet nicht nur den Vorteil, dass die Innenauskleidung eine Schallreflexion an Wänden und Decke vermeidet, sondern auch dass der Raum durch eine entsprechende Lagerung schwingungstechnisch von der Umgebung entkoppelt ist. Abbildung 3 zeigt den realen Versuchsaufbau im Schallmessraum der DITF.



**Abbildung 3:** Versuchsaufbau im Schallmessraum mit der PVC-Probe als Schallfenster in einer schallisierenden Wand.

Der Einfluss des phononischen Kristalls auf die Schalltransmission wird anhand eines breiten Frequenzspektrums untersucht. Einerseits wird der hörbare

Frequenzbereich schrittweise von niedrigen zu hohen Frequenzen eingestellt und der transmittierte Schallpegel aufgezeichnet, andererseits wird die Probe mit einem Rauschen beaufschlagt und die Transmission untersucht.

Gemäß der 1912 von William Lawrence Bragg und William Henry Bragg entwickelten Bragg-Gleichung:

$$n * \lambda = 2 * d * \sin(\Theta) \quad [\text{m}] \quad (2)$$

ergibt sich bei  $\Theta = 90^\circ$  und einem Zylinderabstand von 8 mm eine beeinflussbare Wellenlänge  $\lambda = 16$  mm sowie dem Vielfachen hiervon.

Der Zusammenhang zwischen Frequenz  $f$ , Wellenlänge  $\lambda$  und Schallgeschwindigkeit  $c$ :

$$f = c / \lambda \quad [\text{Hz}] \quad (2)$$

ergibt bei einer Schallgeschwindigkeit  $c = 80$  m/s im Weich-PVC eine berechnete Interferenzfrequenz  $f = 5000$  Hz.

### Weitergehende Forschung

In der anschließenden Forschung werden die Ergebnisse und Erkenntnisse aus den Versuchen genutzt um eine Skalierung auf eine textile Ebene zu erreichen.

Zur Erzeugung von textilen phononischen Kristallen wird das Potential von verschiedenen Textilstrukturen untersucht. Beispiele für diese Strukturen sind:

- Abstandsgewebe
- Abstandsgewirke
- Unidirektionale und multiaxiale Gelege
- Vliesstoffe mit zylindrischen Einschlüssen

Da nicht nur die geometrischen Randbedingungen einen Einfluss auf das Interferenzverhalten haben, sondern dieses auch von den Schallgeschwindigkeiten im beobachteten Raum abhängt, werden die Werkstoffe variiert. Die Auswahl der Werkstoffe erstreckt sich von den Naturfasern, über Biopolymere und Standardpolymere bis hin zu den Hochleistungsfasern wie Keramik. Des Weiteren besteht die Möglichkeit ein textiles Halbzeug mit einem Matrixwerkstoff zu infundieren und die Schallausbreitung um die zylindrischen Fasern zu verändern.

Insbesondere bei Polymeren eröffnen sich Möglichkeiten die Oberfläche der Fasern zu profilieren und somit die Wirkung auf den transmittierten Schall anzupassen. Hierbei wird der Zusammenhang zwischen Oberflächengestalt und Einfluss auf den Schall untersucht und korreliert.

### Ausblick

Die Entwicklung textiler phononischer Kristalle eröffnet eine Vielzahl von neuen Anwendungen und Substitutionsmöglichkeiten für bereits existierende Werkstoffe.

Mögliche Einsatzgebiete sind unter anderem:

- Schallisolation und Dämmung
- Akustische Linsen

- Schallfallen
- Schallleiter
- Frequenzfilter

Insbesondere die Reproduzierbarkeit, die Genauigkeit, die Wirtschaftlichkeit der Herstellung von textilen Strukturen und das Leichtbaupotential prädestinieren diese für eine Verwendung in der Schalltechnik.

In dem Kontext, dass die Variationsmöglichkeiten bei der Herstellung von textilen phononischen Kristallen durch die Textilstruktur, die Werkstoffe und die Werkstoffkombinationen scheinbar unbegrenzt sind, ist die Signifikanz dieser Entwicklung noch nicht absehbar.

Zusammengefasst wird in näherer Zukunft mehr von textilen phononischen Kristallen zu hören sein.