**Ausgezittert**

Makroskopische Kristallstrukturen können unerwünschte Schwingungen tilgen oder Geräusche filtern – und das alles ganz ohne Elektronik und Strom. Sie sind leichter und fester als bisher gebräuchliche Dämmstoffe und können erst noch auf ihren Einsatzzweck massgeschneidert werden. Steht die Akustik vor einer Revolution?

Text: Rainer Klose / Bilder: Empa.

Es war ein hochriskantes Forschungsvorhaben, das Industrieunternehmen kaum je angepackt hätten. Und genau deshalb war es die perfekte Aufgabe für die Empa: Gibt es Materialien, die eine hohe mechanische Tragfähigkeit aufweisen, trotzdem aber aufgrund ihrer inneren Struktur Schall und Vibrationen dämpfen können? Ganz ohne Schaumgummi, Federn und Stossdämpfer? Materialien, die das alte Ingenieurs-Dilemma zwischen Stabilität und Dämpfung niederfrequenter Schwingungen lösen? Die zum Beispiel ermöglichen, einen schweren Schiffsmotor so zu lagern, dass nicht mehr der gesamte Schiffskörper brummt? Theoretische Physiker hatten solche Materialien – so genannte fononische Kristalle – vorausgesagt. Doch nur wenige Wissenschaftler weltweit hatten diese eigentümlichen Kunst-Materialien bereits in der Hand und konnten ihre Eigenschaften am echten Objekt überprüfen.

Nach drei Jahren Forschungsarbeit hat ein Team der Empa und der ETH Zürich nun den Beweis erbracht: Solche Materialien gibt es. Und sie sind sogar bereits zum Patent angemeldet; im September diesen Jahres haben die Forscher Versuchsstrukturen aus einer Aluminiumlegierung erstmals im eigenen 3-D-Drucker angefertigt, um die Methode der Schall- und Vibrationsdämpfung weiter zu verfeinern. Ohne neuzeitliche Fertigungsmethoden wie den 3-D-Druck mit Metallen wäre es im Labor kaum möglich, fononische Kristalle für Versuchszwecke herzustellen. Die Entdeckung dieses wundersamen Dämpfungsmaterials hat buchstäblich so lange warten müssen, bis der 3-D-Druck erfunden war.

**Idee aus dem Caltech weiterentwickelt**

2013 begann das ehrgeizige Projekt. Die Empa-Forscher Tommaso Delpero und Andrea Bergamini liessen sich von einer Idee des «California Institute of Technology» (Caltech) inspirieren und starteten gemeinsam mit den Empa-Akustik-Experten Stefan Schoenwald und Armin Zemp ihr Projekt. In einer ersten Arbeit berechneten sie, dass die ultraleichten dreidimensionalen Metallgitterstrukturen mit Zellen in Millimetergrösse, wie sie am Caltech entwickelt wurden, Ultraschallfrequenzen (100 kHz) sehr gut dämpfen sollten. Die logische nächste Frage lautete: Gibt es auch Strukturen, die Schall im hörbaren Bereich oder niederfrequente Schwingungen dämpfen – was enorme Anwendungsmöglichkeiten eröffnen würde? Und lassen sich solche Materialien gezielt auf eine Schwingungsfrequenz «tunen»?

Delpero machte erste Versuche mit dem Strukturmodell eines Diamanten. Eine solche Struktur, gebaut aus Tetraeder-Verbindungsstücken und kleinen Röhrchen, hängt als Anschauungsstück in den meisten Chemie-Hörsälen in Schulen und Universitäten. Delpero montierte das Modell zwischen zwei Aluminiumbleche und traktierte das unten liegende Blech mit diversen Frequenzen. Das Ergebnis war verblüffend: Manche Wellen reflektierte der Kristall gänzlich. Beim echten Diamanten sind es Röntgenstrahlen, die auf diese Weise gebeugt und gestreut werden. Das mehrtausendfach   
grössere Diamantmodell hatte mechanische Schwingungen mit mehrtausendfach grösserer Wellenlänge auf exakt die gleiche Weise beeinflusst.

**Leichtes, zugleich steifes Material**

Wie hoch das Potenzial der Erfindung einzuschätzen ist, erklärt Empa-Forscher Bergamini so: «Bislang brauchte man zum Dämpfen von Vibrationen eine Federkomponente und eine Dämpferkomponente, das kennen wir aus dem Auto.» Hohe Frequenzen und Töne liessen sich durch leichte Materialien dämpfen, für tiefe Töne und Vibrationen brauchte man bisher jedoch Materialien mit hoher eigener Masse.

«Diese Regel haben wir nun durchbrechen können», sagt Bergamini. «In Zukunft lassen sich auch tiefe Frequenzen mit leichten Materialien dämpfen – nämlich mit einem speziell dafür berechneten fononischen Kristall. Ein weiterer Vorteil: der Kristall ist steif und kann Gewicht tragen – er ist also keine federnde, weiche Unterlage.»

Neue Perspektiven im Maschinenbau

Für Anwendungen im Maschinenbau eröffnen sich damit völlig neue Perspektiven. Bislang sind unerwünschte Frequenzen oft mit adaptiven Systemen behandelt worden – also mit ausgefeilter Mess- und Regeltechnik. «Solche aktiven Dämpfungssysteme werden als Ultima Ratio für alle Probleme, die sich nicht anders lösen lassen, betrachtet», sagt Bergamini. «Doch Ingenieure möchten gern etwas Unkompliziertes, lang Haltendes bauen, das nicht während des Betriebs dauernd überwacht werden muss.» Fononische Kristalle brauchen keine externen Regelmechanismen. Sie funktionieren ohne Strom und Überwachungselektronik von selber – immer wie vorausberechnet.

Schon hat ein deutscher Grosskonzern, der sich durch die neue Dämpfungsmethode Vorteile im Wettbewerb verspricht, bei den Empa-Forschern angeklopft. Und Tommaso Delpero hat nach seiner Forschungszeit an der Empa in die Industrie gewechselt. Von seinem Talent profitiert nun ein Automobilzulieferer in Winterthur, der auf Geräuschdämmtechnik spezialisiert ist.

Der nächste Schritt: 3-D-Druck

An der Empa ist das Projekt inzwischen in die nächste Phase getreten: Ivo Leibacher, ein Neuer in Bergaminis Team, hat die Computermodelle seiner Vorgänger für den 3-D-Druck in Metall fit gemacht. Die Struktur musste in manchen Details angepasst werden – an einigen Stellen ist zum Beispiel etwas mehr Material nötig, damit der Probekörper im so genannten Pulverbettverfahren im Empa-eigenen 3-D-Drucker fehlerfrei hergestellt werden kann. Leibacher hat die Eigenschaften seines Modells genau vorausberechnet und die Kenndaten der verwendeten Aluminiumlegierung in seine Berechnungen einfliessen lassen.

Der Übergang vom Theoriemodell zum praktischen Versuch birgt einige Schwierigkeiten, doch die Empa-Spezialisten, die den 3-D-Drucker betreiben, stehen mit Rat und Tat zur Seite. Nach dem Ausdrucken muss die Struktur spannungsfrei geglüht werden, dann kann sie im praktischen Schwingungsversuch die Korrektheit der Berechnungen und Theoriemodelle beweisen.

Erdbebenschutz und Spionageabwehr

Andrea Bergamini denkt derweil bereits an die nächsten Experimente. So könnten die vibrationsdämpfenden Einheiten des fononischen Kristalls nacheinander in verschiedenen Grössen angeordnet werden. Mit diesem eingebauten Gradienten wäre es möglich, verschiedene unerwünschte Frequenzen auf einmal zu eliminieren.

Über Anwendungen der fononischen Kristalle kann man heute bereits spekulieren. Neben Geräuschdämmung im Automobilbereich und im Maschinenbau ist auch Erdbebenschutz denkbar. Dazu müsste man Gebäude auf spezielle Kristallstrukturen bauen, die die sehr niederfrequenten seismischen Schwingungen tilgen können.

Auch die Abschirmung von Konferenzräumen vor Lauschangriffen wäre denkbar. Man darf also gespannt sein, in welchen   
Bereichen uns die Empa-Erfindung in den nächsten Jahren begegnen wird. //

Ivo Leibacher (links) überarbeitete   
das Computermodell des fononischen ­Kristalls für den 3-D-Druck. Christian Leinenbach betreibt den Metall-3-D-Drucker an der Empa. Hier sieht er sich das Ergebnis des 40-stündigen Druckvorgangs an.

Projektleiter Andrea Bergamini (links) freut sich mit seinem Team:

Ivo Leibacher, Armin Zemp und Stefan Schoenwald. Zusammen schufen sie

drei Modellgenerationen schwingungsdämpfender Kristalle.

Theorie und Praxis: Das Computermodell zeigt, wie eine einzelne Gitterzelle des Kristalls Schwingungen tilgen kann. Bild unten: das Modell aus Aluminium, welches im 3-D-Drucker entstand. Seine Schwingungseigenschaften stimmen mit den Berechnungen gut überein.