

# Bohrer für Erde und Weltraum

## Entwicklung eines neuen longitudinal-torsionalen Ultraschall-Transducers

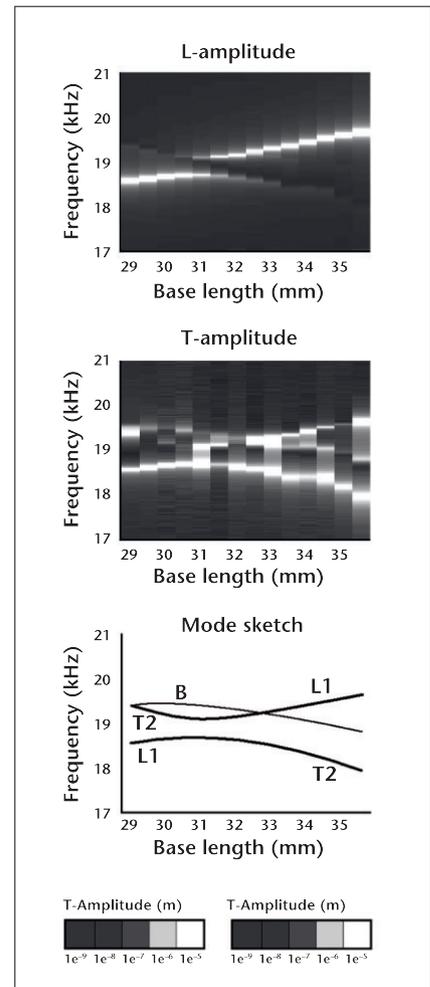


Bild 1: Die Interaktion der Moden eines Ultraschall-Stufenhorns, während dessen Form schrittweise verändert wird

Solche Messungen werden an der Universität Glasgow durchgeführt, um die Leistung longitudinal-torsionaler (L-T)-Sonotroden zu optimieren. L-T-Ultraschall-Schwingungen werden in vielen unterschiedlichen Bereichen genutzt, beispielsweise bei chirurgischen Geräten, beim industriellen Ultraschallschweißen oder bei Ultraschall-Motoren.

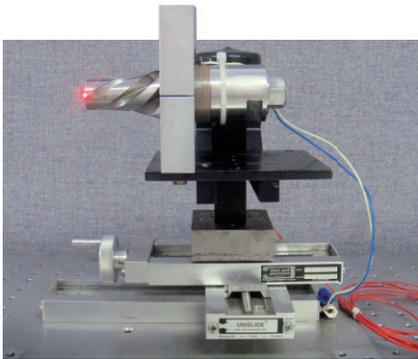
Die Wissenschaftler in Glasgow entwickeln sogar Ultraschall-Bohrer für die Erkundung ferner Planeten. Wegen der geringen Gravitation und des dadurch mangelnden Anpressdrucks benötigen beispielsweise Erkundungsfahrzeuge auf dem Mars spezielle Vorrichtungen, um Löcher für die Probenentnahme zu bohren.

### Maßgeschneiderte Ultraschall-Eigenschaften

Eine Sonotrode, auch als Horn bezeichnet, ist eine Metallstange, die normalerweise zur Vergrößerung der Wegamplitude eines Ultraschall-Wandlers verwendet wird. Diese Komponente ist notwendig, um die akustische Energie des Ultraschall-Wandlers effizient in die zu bearbeitenden Medien einzukoppeln. Die Sonotrode ist in der Regel ein massiver Metallstab mit rundem Querschnitt und unterschiedlichen Profilen in Längsrichtung. Die Länge des Horns muss so abgestimmt werden, dass sie einem Vielfachen der halben Wellenlänge der Ultraschallfrequenz im Sonotrodenmaterial entspricht. Dadurch

wird eine mechanische Resonanz hervorgerufen.

Um longitudinal-torsionale Schwingungen anzuregen, wurden hier zwei verschiedene Ansätze verfolgt: zum einen die Kopplung von longitudinalen und torsionalen Moden und zum anderen die Wandlung einer ursprünglich longitudinalen Mode in eine longitudinal-torsionale Bewegung mit Hilfe spiralförmiger Nuten in der Sonotrode, auch als Moden-Degeneration bezeichnet. Die Kopplung von longitudinalen und torsionalen Schwingmoden erwies sich als schwierig, weil bei inkrementeller Änderung der Horn-Geometrie die zwei Eigenfrequenzen sich zwar annähern, sich dann aber ohne Schnittpunkt wieder voneinander entfernen.



**Bild 2: Der neue L-T-Transducer**

Ein Beispiel: ein einfaches Titan-Stufenhorn von der Größe einer halben Ultraschall-Wellenlänge wird untersucht, während die Höhe der Hornbasis schrittweise verkürzt wird. Mit einem Polytec 3D-Laservibrometer-System werden die longitudinalen (L) und tangentialen (T) Schwingungsamplituden gemessen. Daraus kann die Interaktion der ersten longitudinalen Mode (L1), der zweiten torsionalen Mode (T2) und einer Biegemode (B) miteinander abgeleitet werden (Bild 1).

Es erweist sich als sehr schwierig, eine funktionierende Kopplung zwischen den Moden herzustellen. Daher neigen Sonotroden, die auf diesem Ansatz beruhen, zu einem trägen bzw. verzögerten Reaktionsverhalten. Alternativ benötigen sie zwei unterschiedlich polarisierte Piezostapel im Wandler, um die beiden Moden getrennt anzuregen, was den technischen Aufwand erhöht.

Die Methode der Moden-Degeneration wird daher als vielversprechender angesehen und für die neue Sonotrode (Bild 2) eingesetzt. Die Sonotrode schwingt in der gewünschten longitudinal-torsionalen Richtung, wenn die longitudinale Schwingmode durch einen einzelnen piezo-keramischen Block angeregt wird.

### Experimentelle Modalanalyse

Um das modale Verhalten der Sonotrode im Arbeitspunkt zu bestimmen, wird eine experimentelle Modalanalyse durchgeführt. Die Effektivität der Sonotrode wird durch die „Torsionalität“ – das Verhältnis von torsionaler zu longitudinaler Schwingungs-Amplitude – charakterisiert.

Die Schwingungsdaten des Ultraschallhorns werden mit dem 3D-Laservibrometer aufgenommen, wobei die Rückwirkungsfreiheit der Messung für die Anwendung besonders wichtig ist: Eigenfrequenz, Schwingformen und Dämpfung des Messobjektes werden durch die Messung selbst nicht beeinflusst, egal ob ohne oder mit Materialkontakt gemessen wird.

Das 3D-Laservibrometer erfasst Schwingungskomponenten in drei Raumrichtungen an einem Messgitter von Oberflächenpunkten. Eigenfrequenzen und Schwingmoden werden dann mit Hilfe der ME'scope Modalanalyse-Software ermittelt. Die Ergebnisse ermöglichen die Bewertung von Schwingungseigenschaften im Arbeitspunkt der Sonotrode sowie die Ermittlung des Frequenzabstandes zwischen der gewünschten Schwingungsmoden und angrenzenden, ungewollten Moden.

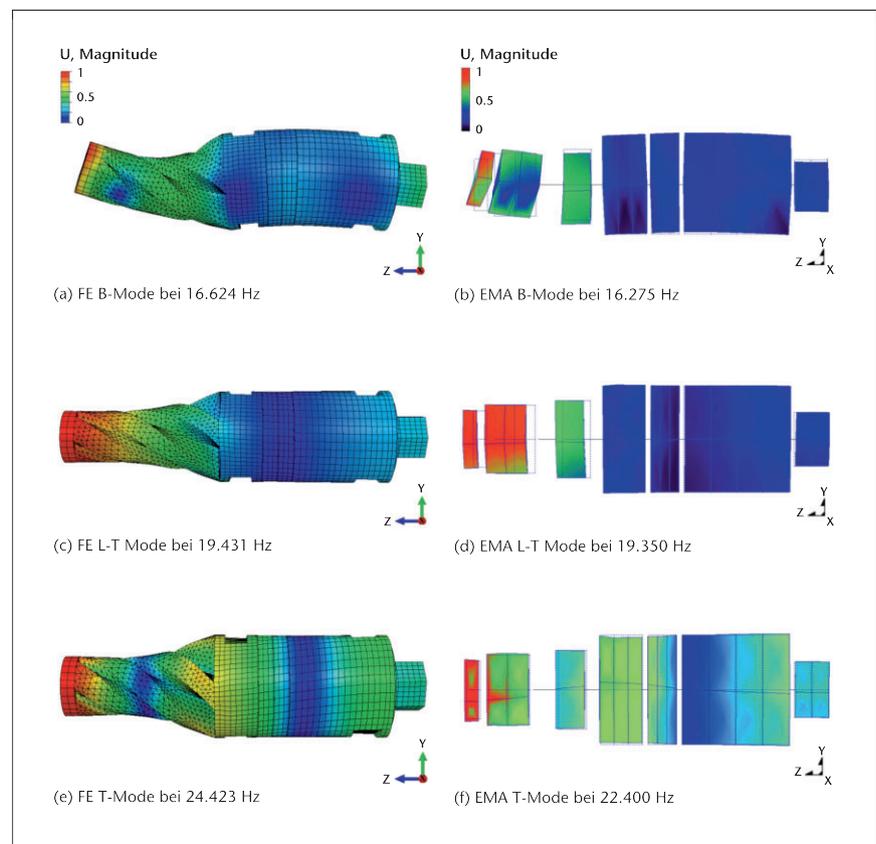
Die Schwingungsmessungen können dann zur Validierung von Finite-Elemente (FE)-Modellen der Sonotrode herangezogen werden (Bild 3).

### Schlussfolgerung

Die Ergebnisse zeigen, dass das betrachtete Modell zuverlässig zur Entwicklung neuer Sonotroden-Formen verwendet werden kann. Darüber hinaus ermöglicht es die Charakterisierung des longitudinal-torsionalen Schwingungsverhaltens mit dem Ziel, die Leistungsfähigkeit der Ultraschallwerkzeuge zu maximieren.

#### Autoren · Kontakt

Hassan Al-Budairi, Dr. Patrick Harkness,  
Prof. Margaret Lucas  
h.al-budairi.1@research.gla.ac.uk;  
margaret.lucas@glasgow.ac.uk  
University of Glasgow,  
School of Engineering, UK  
www.gla.ac.uk/schools/engineering



**Bild 3: Modellerte und gemessene Schwingmoden der Sonotrode, dargestellt mit Simulia Abaqus und Vibrant Technologies ME'scope**