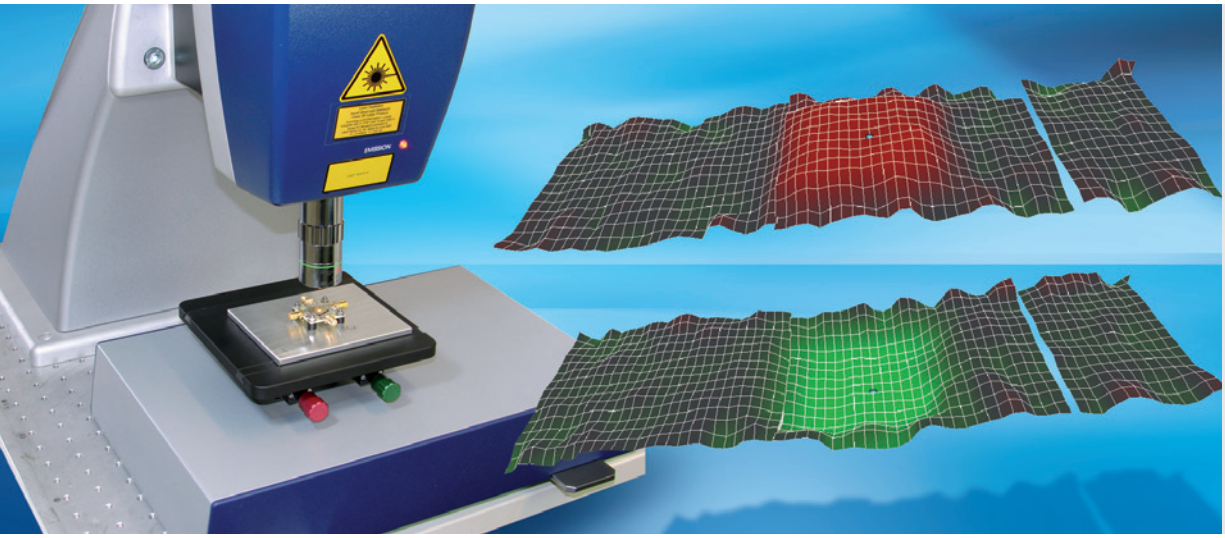
Polytec

Flächige Schwingungsmessung im Ultrahochfrequenz-Bereich



Anwendungsgebiete

A Luft- und Raumfahrt
B Audio & Akustik
C Automobilentwicklung
D Datenspeicher
G Vibrometrie Allgemein
M Mikrostrukturen/-systeme
P Fertigungsprüfung
S Wissenschaft & Medizin
T Strukturuntersuchungen
U Ultraschalltechnik

Flächige Schwingungsmessung an Ultraschallsensoren mit dem UHF-120 Ultrahochfrequenz-Vibrometer

Ein zunehmender Anteil mikrogefertigter Sensoren, Aktoren und Komponenten schwingt heute mit Frequenzen im hohen MHz-Bereich und darüber. . Als Beispiele für solch hochfrequent schwingender Systeme seien hier genannt: MEMS (Mikro-Elektromechanische Systeme, NEMS (Nano-Elektromechanische Systeme) sowie Surface Acoustic Wave (SAW)-Filter und Ultraschallsensoren, wie sie beispielsweise zur Bildgebung in der Medizin eingesetzt werden. Um die Funktionalität dieser Bauteile zu testen, bestehende Simulationsmodelle zu überprüfen und das Design der Systeme zu optimieren, muss man das dynamische Verhalten der Systeme messen. Eine der wenigen verfügbaren Lösungen für die Schwingungsmessung an solchen Systemen ist der Einsatz eines Laservibrometers, das berührungslos und nahezu rückwirkungsfrei misst.

Die Laser-Doppler-Vibrometrie erlaubt dabei eine berührungslose und dadurch rückwirkungsfreie Charakterisierung über alle Frequenzen und auch bei breitbandiger Anregung. Die Schwingformen lassen sich dabei eindrucksvoll visualisieren. Auch Transienten und Relaxationsverhalten können untersucht werden. Die Herausforderung für ein solches Messinstrument liegt in den kleinen Schwingungsamplituden und kurzen akustischen Wellenlängen (< 10 µm).

Anwendung	Frequenzbereich
RF-MEMS	1 MHz - >3 GHz
SAW-Filter	10 MHz - >60 GHz
NEMS	50 MHz - >1 GHz
HF-Ultraschalltransducer	1 MHz - >1 GHz

Tab. 1: Typische Frequenzbereiche hochfrequenter Komponenten

Polytec GmbH
Optische Messsysteme
Applikationsnote
VIB-G-14
April 2010

Messprinzip und Aufbau des UHF-120 Ultrahochfrequenz-Vibrometers

Das Funktionsprinzip des UHF-120 basiert wie bei allen anderen Vibrometern von Polytec auf der Laser-Doppler-Interferometrie. Trifft der Messstrahl des Vibrometers auf ein bewegtes Objekt, wird die Frequenz bzw. Phase des zurückgestreuten Lichts durch den Doppler-Effekt verschoben. Diese Frequenz- bzw. Phaseverschiebung wird interferometrisch bestimmt.

Im Mikroskop-basierten Messkopf (Bilder 1, 2) des UHF-120 befindet sich ein heterodynes Mach-Zehnder-Interferometer. Durch Interferenz des Doppler-verschobenen Messstrahls mit einem Referenzstrahl resultiert im Interferometer ein Schwebesignal. Unter Schwebung versteht man die Interferenz zweier kohärenter Wellen mit ähnlicher Frequenz. Bewegt sich das Messobjekt nicht einfach linear, sondern schwingt hin und her, wird ein frequenz- bzw. phasenmoduliertes Signal erzeugt, das alle Informationen über die Schwingung des Messobjektes enthält. Dieses Signal wird durch ein kommerzielles Oszilloskop mit einer Abtastrate von bis zu 40 GigaSamples/Sekunde abgetastet und digitalisiert. Die digitalisierten Daten werden anschließend via Ethernet an den PC übertragen und dort durch die Polytec-Software demoduliert und ausgewertet.

Im UHF-120 Gesamtsystem (Bild 2) ist neben dem Messkopf (1), dem Messrechner (3) und dem Oszilloskop (2) auch ein Controller (4) als Schnittstelle zwischen dem Messrechner und dem Messkopf enthalten. Für den Fall, dass mit dem UHF-120 eine scannende (flächige) Messung durchgeführt werden soll, wird das Gesamtsystem einfach durch eine motorisierte X/Y-Positioniereinheit erweitert.

Vermessung von Ultraschallsensoren

Die zu vermessenden beiden Ausführungen von Ultraschallsensoren wurden vom Fraunhofer Institut für Biomedizinische Technik (IBMT, St. Ingbert) entwickelt und dienen in der Medizin zur abdominalen Bildgebung, zur zellulären Bildgebung und zur Oberflächenvermessung. Ziel ist es, durch eine Messung der Out-of-Plane-Schwingung der Bauteile die dreidimensionale Schallfeldausbreitung im Raum zu bestimmen.

Funktionsprinzip der Ultraschallsensoren

Beide Typen von Ultraschallsensoren fungieren sowohl als Sender als auch als Empfänger von Ultraschallwellen (Ultraschall-Transducer). Je nach Funktion und Wirkungsweise der beiden Arrays befinden sich dabei entweder eine dünne Membran (100 MHz-Array) oder eine Anpassschicht (5 MHz) über einem Piezo-Array. Durch Anlegen einer Spannung an ein definiertes Feld des Piezo-Arrays kann sowohl die Amplitude als auch die Phase der Auslenkung jedes Piezo-Feldes variiert werden. Die durch den Piezo-Effekt hervorgerufene Kristallschwingung (Out-of-Plane) wird auf die darüber liegende dünne Membran bzw. Anpassschicht übertragen. Die zum Schwingen angeregte Membran oder Anpassschicht erzeugt dann eine Ultraschallwelle, die durch unterschiedliches Ansteuern der Piezo-Felder in ihrer Form und Frequenz verändert werden kann. Durch die Wahl der korrekten Amplitude und Phase jedes Array-Punktes kann beispielsweise bei dem niederfrequenten Sensor eine fokussierte Ultraschallwelle mit variablen Fokuspunkt erzeugt werden.

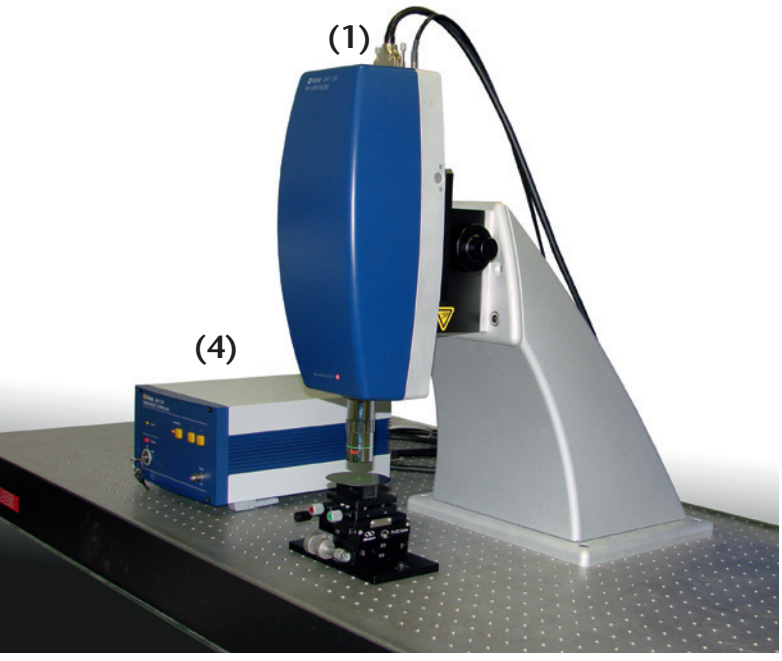


Bild 1: UHF-120 mit Messkopf (1) und Controller (4)

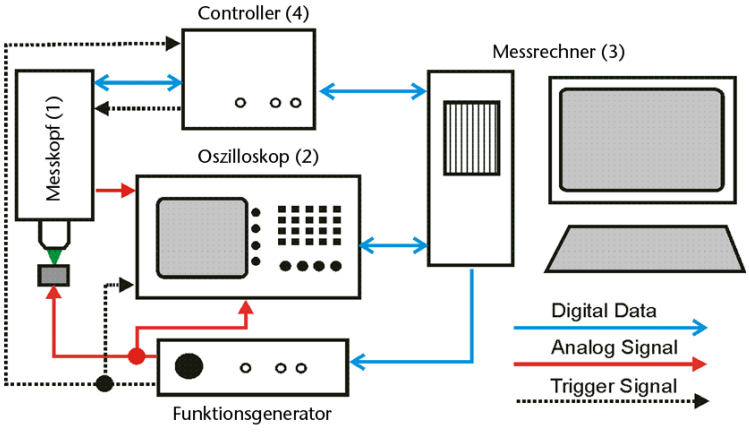


Bild 2: Signalfluss des UHF-120 Gesamtsystems

Messung an Sensor 1 („niederfrequenter Ultraschallsensor“)
Dieser Sensor wird für die abdominale Bildgebung eingesetzt. Das Bauteil hat eine Fläche von ca.10 x 10 mm² und weist eine Schwingfrequenz von 5 MHz auf. Bei der Messung des niederfrequenten Sensors wurde ein 5x-Objektiv verwendet. Das von der Kamera aufgenommene Gesichtsfeld beträgt beim 5x-Objektiv 1,42 x 1,1 mm².

Um den Sensor auf der gesamten Fläche von etwa 10 x 10 mm² zu charakterisieren, wurden insgesamt 30 Einzelfelder (5 x 6) nacheinander scannend vermessen. In jedem einzelnen Messfeld wurden mit der Software 234 Messpunkte im Live-Videobild definiert. Beim Scan wurde von jedem Messpunkt die Amplitude und Phase über eine Zeitspanne von 20 µs aufgezeichnet. Der Beginn jeder einzelnen Messung wurde über ein Triggersignal realisiert. Dieses Triggersignal diente gleichzeitig als Phasenbezug.

Die so aufgezeichneten Daten der einzelnen Scanfelder konnten anschließend mit der Polytec-Software zusammengefügt und animiert werden. In den folgenden 8 Bildern (Bild 3 bis 10) ist ein Auszug aus der Animation des Schwingungsverlaufes dargestellt. Die Gesamtschwingzeit beträgt ungefähr 5 µs und hat eine maximale Amplitude von ±40 nm (peak to peak). Bild 11 zeigt den Amplituden-Zeit-Verlauf eines ausgewählten Messpunktes.

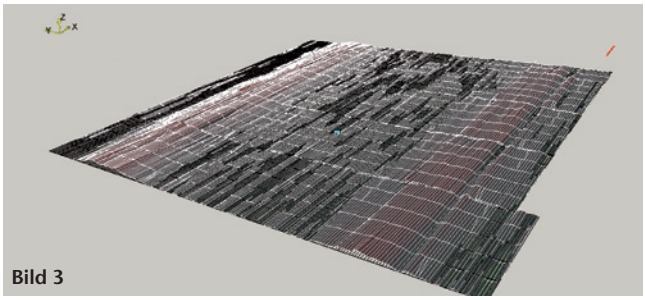


Bild 3

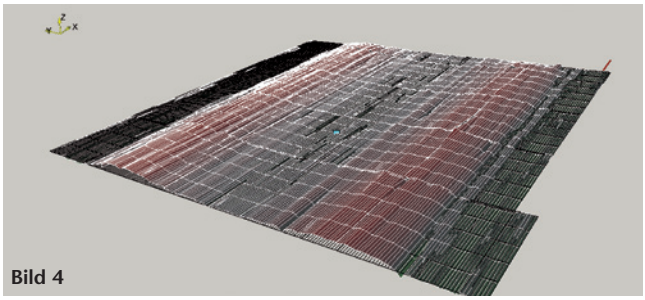


Bild 4

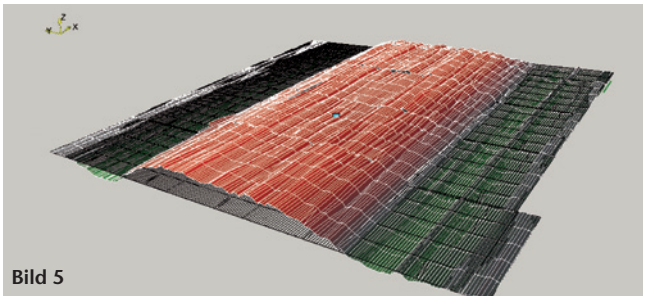


Bild 5

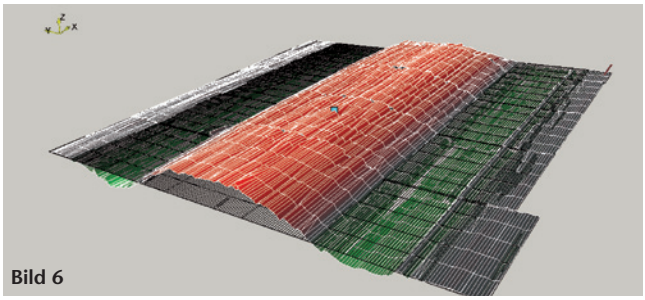


Bild 6

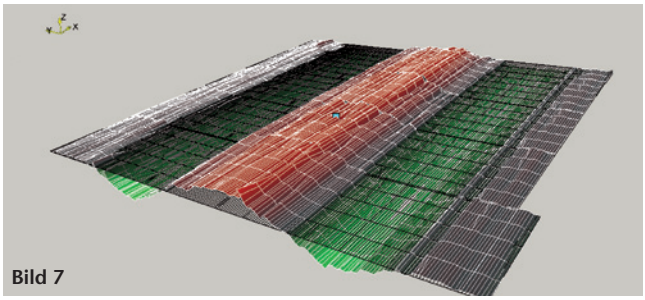


Bild 7

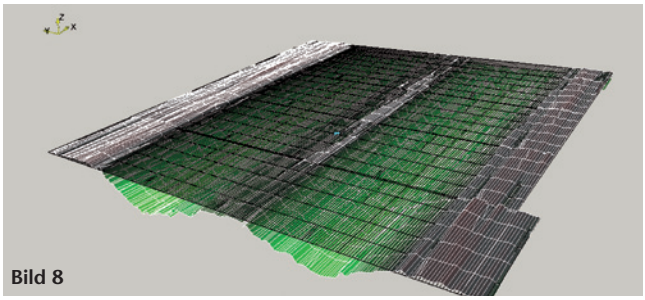


Bild 8

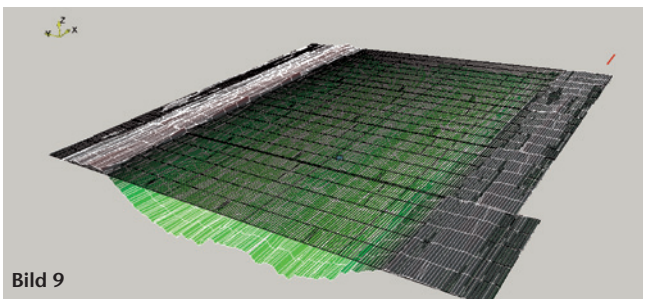


Bild 9

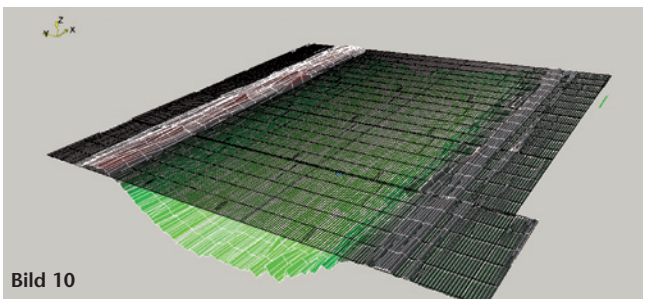


Bild 10

Bild 3 – 10: Schwingverhalten des niederfrequenten Ultraschallsensors

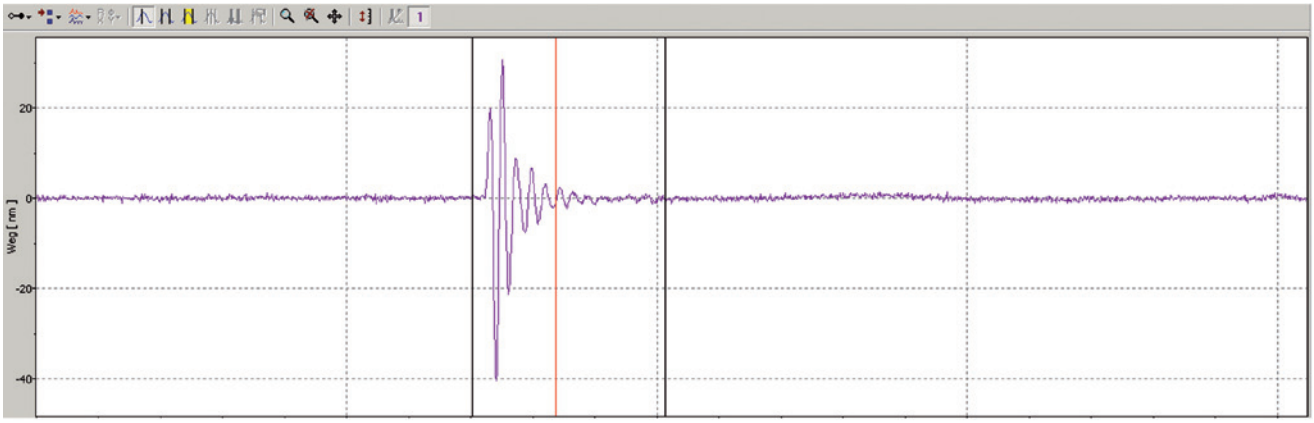


Bild 11: Amplituden-Zeit-Verlauf eines ausgewählten Messpunktes

Anhand der Bilder wird deutlich, dass es mit einer geregelten Anregung eines Piezo-Arrays und einer darüber liegenden dünnen Anpassschicht möglich ist, Ultraschallwellen bestimmter Formen zu erzeugen.

Schaut man sich den Schwingungsverlauf der ersten 4 Einzelbilder an, erkennt man, dass zunächst die Randbereiche und später die mittleren Bereiche der Membran zum Schwingen angeregt werden. Demzufolge startet der äußere Teil der Ultraschallwelle früher als der mittlere. Als Resultat erhält man, wie erwünscht, eine Art Kugelwelle, die nach einem bestimmten Abstand in einen Fokuspunkt läuft.

Auswertung der Messdaten

Bereits bei den ersten Animationen der Messdaten mit der Polytec-Software konnte das Entwicklungsteam des IBMT feststellen, dass das prinzipielle Schwingverhalten der Membran mit den vorhandenen Simulationen übereinstimmte. Durch eine detaillierte Auswertung der Messdaten konnte zudem noch das bestehende Schwingungsmodell weiter verbessert und korrigiert werden. Bei der Auswertung der Messdaten musste beachtet werden, dass bei der Messung die Membran nicht wie real im Wasser, sondern in Luft betrieben wurde und somit die Dämpfung durch das Wasser wegfällt.

Mit dem neu überarbeiteten Simulationsmodell ist es dem IBMT jetzt möglich, die Schwingung der Membran und somit auch die dreidimensionale Ausbreitung der resultierenden Ultraschallwelle zu simulieren. Anders als bei der konventionellen Messung des dreidimensionalen Schallfeldes kann jetzt in einem zeitlich deutlich verkürzten Ablauf die Funktion des Bauteiles beurteilt werden.

Messung an Sensor 2 („hochfrequenter Ultraschallsensor“)

Dieser Sensortyp wird für die zelluläre Bildgebung und Oberflächenvermessung eingesetzt. Er hat eine Fläche von 0,8 x 2,4 mm² und weist eine Schwingfrequenz von 105 MHz auf. Auch bei der Messung des hochfrequenten Ultraschallsensors mussten unter Verwendung des 10x-Objektivs insgesamt 3 Einzelfelder nacheinander scannend vermessen werden. In jedem Feld wurden über die Software im Live-Videobild des Mikroskops 405 Messpunkte definiert. Anders als bei der Messung des niederfrequenten Sensors wurde dieser mit einer 1 mm dicken Wasserschicht versehen, über der sich zusätzlich noch ein dünnes Deckglas befand. Dadurch wurde eine realitätsnahe Messung des Transducers erreicht. Im Gegensatz zum niederfrequenten Sensor, bei dem durch die Schwingung der Membran eine fokussierte Ultraschallwelle erzeugt wird, kann mit dem hochfrequenten Sensor nur eine gleichzeitige Anregung der Elemente erfolgen und so eine Art Scan durchgeführt werden.

In Abhängigkeit davon, welche Kontakte (Bild 12) man beim Sensor ansteuert, werden unterschiedliche Bereiche der Membran zum Schwingen angeregt. So können beispielsweise bei einer „scannenden Ultraschallmessung“ nacheinander verschiedene Bereiche der Membran phasengleich zum Schwingen gebracht und somit ebene Schallwellen an unterschiedlichen Positionen ausgesendet werden. Die so erzeugten Schallwellen werden am Messobjekt reflektiert und anschließend vom Ultraschallsensor wieder detektiert.

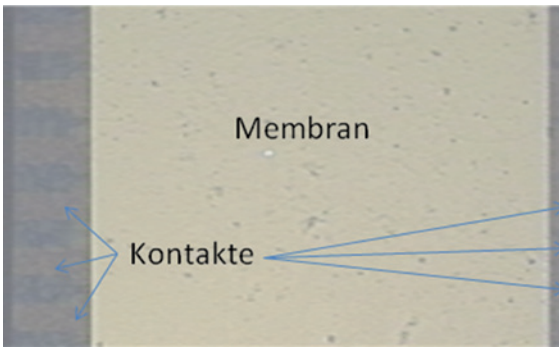


Bild 12: Mikroskopaufnahme des hochfrequenten Ultraschallsensors mit 1 mm dicker Wasserschicht und Deckglas

Folgenden 9 Bilder (Bild 13 – 21) zeigen das Ergebnis nach Anregung von vier Piezo-Feldern im mittleren Bereich des Ultraschall-Transducers. Es ist zu erkennen, dass eine flächige Schwingungen der Membran über einen scharf begrenzten Bereich durch das Pizoarray erzeugt wird. Der Einschwingvorgang der mit etwa 105 MHz schwingenden Membran beträgt ca. 0,5 µs. Die maximale Amplidude der Membran entspricht, wie in Bild 13 zu sehen, etwas über 150 pm.Anhand der Schwingform der Membran ist klar zu erkennen, dass infolge der starken Dämpfung durch die Wasserschicht nur der Bereich der Membran in Schwingung gerät, der auch unmittelbar durch die darunterliegenden Piezos angeregt wird. Zudem ist zu sehen, dass eine fast ebene und zugleich räumlich-scharf begrenzte Schallwelle durch die Membran erzeugt wird.

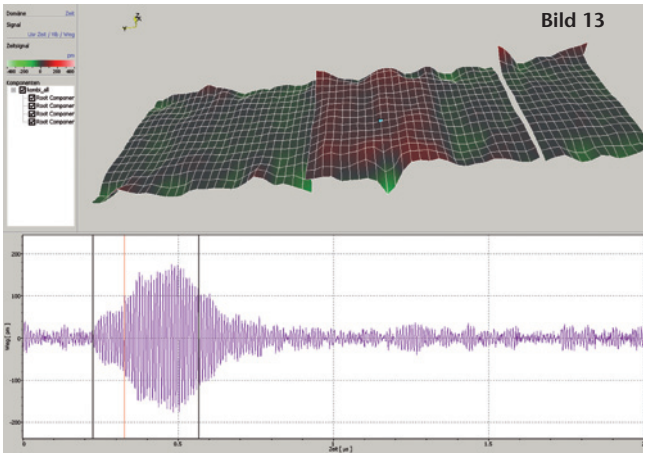


Bild 13

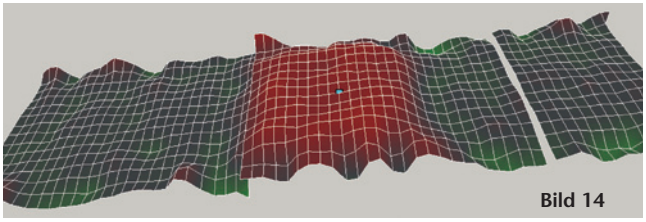


Bild 14

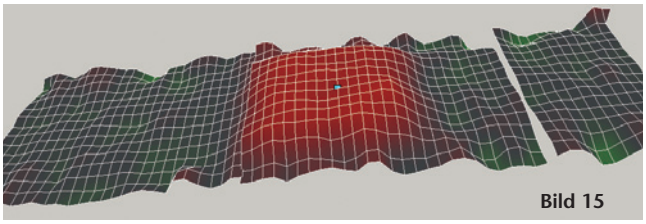


Bild 15

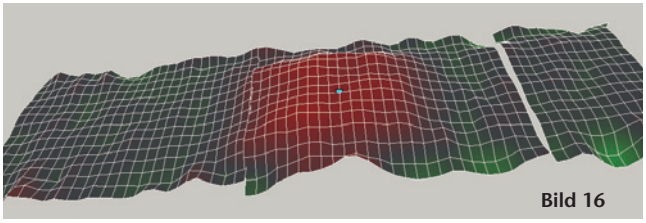


Bild 16

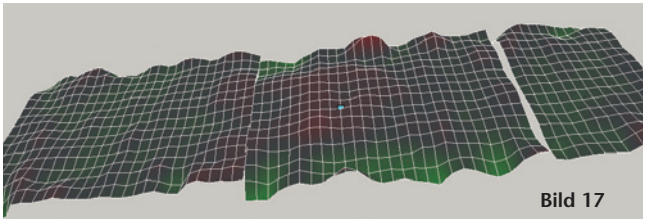


Bild 17

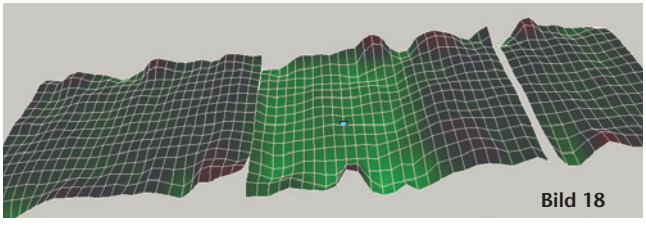


Bild 18

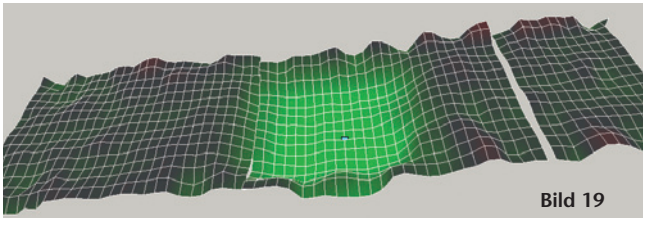


Bild 19

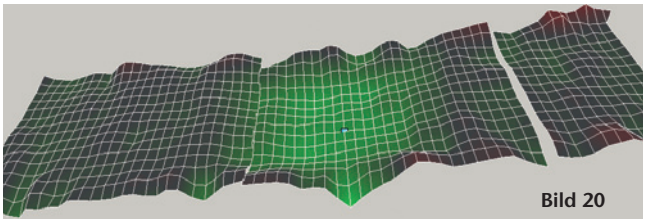


Bild 20

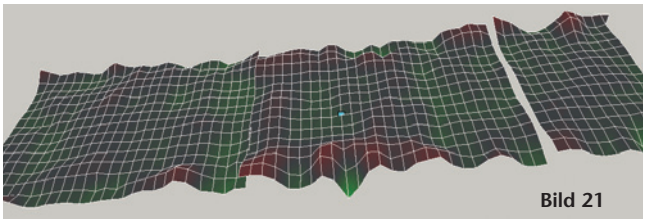


Bild 21

Bild 13 bis 21: Schwingverhalten des hochfrequenten Ultraschallsensors

Auswertung der Messdaten durch das IBMT

Anhand der im Wasser[1] gemessenen Out-of-Plane-Schwingung war es dem IBMT erneut möglich, über ein Modell das erzeugte Schallfeld räumlich zu simulieren. Die Messung im Wasser diente somit als realistische Grundlage für das simulierte Schallfeld

Zusammenfassung

Mit dem UHF-120 Vibrometer kann das Schwingverhalten hochfrequent schwingender Systeme relativ einfach und mit großer Präzision bestimmt werden. Neben der hohen Genauigkeit des Messverfahrens ist auch der geringe zeitliche Aufwand der Messung ein bedeutender Vorteil des UHF-120, der gerade im Entwicklungsprozess ausschlaggebend sein kann.

Beim IBMT konnte der zeitliche Aufwand zur Bestimmung des Ultraschallfeldes durch die flächenhafte Vermessung der Transducer deutlich verringert weden. Anders als bei der Messung des dreidimensionalen Schallfeldes mit einem im Raum angebrachten Schallsensor kann nun einfach durch eine bzw. mehrere scannenden Messungen und nachfolgende Simulation das resultierende Schallfeld bestimmt werden.

[1] Bei der Auswertung der Ergebnisse des hochfrequenten Sensors musste darauf geachtet werden, dass sich der Sensor im Bezugssystem Wasser bewegt. Der optische Weg, das heißt der Weg, den das Licht zurück legt, berechnet sich aus dem geometrischen Weg multipliziert mit der Brechzahl. Wasser hat mit einer Brechzahl von n = 1,33 eine größe Brechzahl als Luft (n = 1). Somit ist auch der optische Weg des Lichtes im Wasser um den Faktor 1,33 größer. Das Vibrometer misst also einen Weg, der um den Faktor 1,33 zu groß ist. Um den korrekten Amplitudenwert zu erhalten, muss man also alle Messergebnisse durch 1,33 dividieren, was jedoch ohne großen Aufwand in der PSV-Software mit Hilfe des Signalprozessors bewerkstelligt werden kann.

Weitere Informationen finden Sie unter **www.polytec.de/uhf**, oder lassen Sie sich durch unsere Produktspezialisten beraten: **oms@polytec.de**.

Änderungen der technischen Spezifikationen vorbehalten. OM_AN_VIB-G-14_UHF-Scanning_2010_04_500_D

Polytec GmbH
Polytec-Platz 1-7
76337 Waldbronn
Tel. + 49 (0) 7243 604-0
Fax + 49 (0) 7243 69944
info@polytec.de

Polytec GmbH
Vertriebs- und
Beratungsbüro Berlin
Schwarzschildstraße 1
12489 Berlin
Tel. + 49 (0) 30 6392-5140
Fax + 49 (0) 30 6392-5141

www.polytec.de