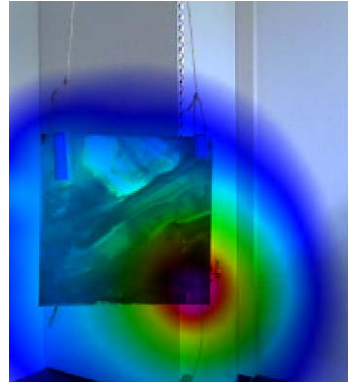


Vergleichende akustische Messungen an Strukturen mit lokal veränderten Eigenschaften



Lohrengel, A.; Rolshofen, W.; Thoden, D.

Zur Überprüfung von Werkstoffverbindungen werden zerstörungsfreie Prüftechniken verwendet. Aktuell werden neuartige Strukturen erforscht, deren Eigenschaften lokal verändert sind. Ob durch akustische Messverfahren solche Unterschiede nachgewiesen werden können, wird derzeit untersucht. Der Artikel beschreibt die Ergebnisse aus vergleichenden akustischen Messungen unterschiedlicher Methoden.

Non-destructive testing methods are applied for inspection of composite material. Actually, innovative structures are being investigated which have locally changed material properties. If acoustic measuring methods can detect such differences, this is determined at present. This article describes results of comparative acoustic measurements with different methods.

1 Motivation

Aufgrund von zunehmenden Produktanforderungen ist die Entwicklung lokal eigenschaftsveränderter Strukturen und Bauteile erforderlich. Die Methoden zur Herstellung solcher Bauteile setzen sich aus Werkstoffveränderungen und innovativen Fertigungstechniken im Zusammenhang mit Mischverbindungen zusammen.

Die im Hinblick auf die Festigkeitseigenschaften optimierten Parameter haben in vielen Fällen gleichzeitig einen signifikanten Einfluss auf das akustische Übertragungsverhalten solcher Verbindungen. Es ergeben sich somit vielversprechende Ansätze zum Nachweis eigenschaftsgeänderter Strukturen innerhalb des Bauteils mit Hilfe akustischer Messtechnik. Hierbei sind einerseits die Schallabstrahlung und andererseits das Schwingungsverhalten der Strukturen von besonderem Interesse. Deswegen ist es nahe liegend, geeignete Herstellungsverfahren und deren Fertigungsparameter diesbezüglich zu charakterisieren und systematisch die Einflüsse auf das Übertragungsverhalten komplexer Strukturen zu untersuchen.

Ziel ist es, Verfahren zu entwickeln, die es erlauben, Eigenschaftsänderungen im Bauteil durch akustische Messung indirekt nachzuweisen und ggf. zu lokalisieren.

2 Theoretische Aspekte

Um die neuartigen Werkstoffverbindungen solcher lokal eigenschaftsveränderter Strukturen auf ihre Qualität in der Fertigung zu überprüfen, bedarf es geeigneter Prüfverfahren.

Von besonderer Bedeutung sind hierbei zerstörungsfreie Methoden, die u. a. Fehler in der Klebschicht von Sandwich-Bauteilen ermitteln können. Wenn ein Eichprüfkörper vorhanden ist, dann sind auch vergleichende Untersuchungen mit Proben möglich, um deren Qualität zu ermitteln. Die zerstörungsfreien Methoden werden aufgrund ihres physikalischen Wirkprinzips unterschieden /1/, d. h. es handelt sich um akustische, elektrische, thermische und auf Strahlung basierende Verfahren. Daraus ergibt sich eine Vielfalt an Techniken, um Materialfehler zu erkennen /2, 3/.

Da es einen Zusammenhang zwischen der Festigkeit und dem akustischen Übertragungsverhalten einer Werkstoffverbindung gibt, bieten sich die Methoden aus der Akustik zur Prüfung an. So lassen sich beispielsweise die Fragen beantworten, wie eine Struktur schwingt bzw. wie das Schwingungsmuster einer Oberfläche Schall abstrahlt /4, 5/. Die Antworten darauf hängen von der Gestalt und den Materialeigenschaften ab. Diese lassen sich durch die numerische Simulation oder experimentelle Untersuchung bestimmen (s. Abschnitt 3 und 4). Einen Überblick der Forschung zur Beschreibung der Schwingungen in Strukturen insbesondere von Platten findet sich in der Arbeit von Hambric /6/. Außerdem sei auf die Arbeiten von Maysenhölder verwiesen, der einerseits Angaben zur Ermittlung der Schalldämmung von Sandwich-Bauteilen macht und andererseits die akustischen Eigenschaften von Aluminiumschäumen untersucht hat /7, 8/.

Weitere Ansätze zur akustischen Untersuchung sind neben den vorgenannten Methoden die Statistische Energieanalyse (SEA) /9/ und die Strukturintensität /10/. Welche der aufgeführten akustischen Verfahren am Besten für die Analyse eigenschaftsgeänderter Bauteile geeignet ist, soll Gegenstand zukünftiger Untersuchungen sein. In diesem Artikel wird sich nur auf die Experimente mit einem Laser-Vibrometer und deren Vergleich zu numerischen Simulationen beschränkt

3 Experimentelle Untersuchungen

Zur Untersuchung mechanischer Schwingungen kann ein Laser auf die Oberfläche des Prüfkörpers fokussiert werden, dessen Strahl zurück gestreut wird. Wenn sich die Prüfoberfläche bewegt, dann kommt es zu einer Frequenzverschiebung aufgrund des Doppler-Effektes. Geräte für solche Untersuchungen werden als Vibrometer bezeichnet und sind zum Teil mit einem Scanner ausgestattet, um eine flächenhafte Vermessung der Bauteiloberfläche zu ermöglichen. Der besondere Vorteil dieses Verfahrens ist, dass es eine schnelle, bildgebende Erfassung von Betriebschwingungen erlaubt, die berührungslos gemessen werden.

Die Untersuchungen erstreckten sich über lokal durch Elektronenstrahl gehärtete Bleche (Bake Hardening) sowie Stahl-PPPE-Sandwichbleche mit eingelegten kreisrunden Versteifungsblechen.

Während der ausgiebigen Messungen wurde deutlich, dass der größte Vorteil beim Einsatz der Laservibrometrie in der berührungslosen und damit einflussfreien Abtastung liegt. Gerade bei feinen Blechstrukturen kann nicht davon ausgegangen werden, dass ein Einsatz von konventionellen Beschleunigungsaufnehmern rückwirkungsfrei bleibt. Darüber hinaus kann mit einer Abtastfrequenz von 2,5 MHz eine sehr viel höhere zeitliche Auflösung erreicht werden, wodurch einerseits Untersuchungen im Ultraschallbereich möglich sind und transiente Vorgänge sehr genau aufgelöst werden können. Gerade die Beobachtung der Wellenausbreitung einer Stoßanregung konnte in den Vorversuchen zur Annäherung an das Themengebiet genutzt werden.

Neben der hohen zeitlichen Auflösung wird durch die Definition beliebig vieler Messpunkte auch eine hohe örtliche Auflösung erreicht. Dadurch bietet sich die Möglichkeit, auch sehr feine Materialveränderungen, wie bei den erwähnten Bake-Hardening-Blechen eingehend zu untersuchen. Darüber hinaus bleibt durch die Definition der Messpunkte über das Videobild der Aufwand zum Einrichten einer Messung sehr gering.

Die Untersuchung der Bake Hardening-Bleche erfolgte mittels konventioneller Messtechnik. Vier 120 x 120 mm² große Bleche wurden mittels eines elektrodynamischen Schwingerregers mit einem Chirp-Signal angeregt und an diskreten Punkten mit piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmern vermessen. Zusätzlich wurde die Anregungsimpedanz mit einem entsprechenden Messkopf erfasst (siehe **Bild 1**).

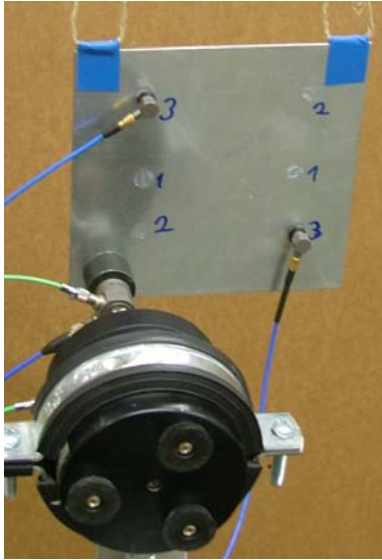


Bild 1: Aufbau zur Vermessung der Bake-Hardening-Bleche mit konventioneller Messtechnik

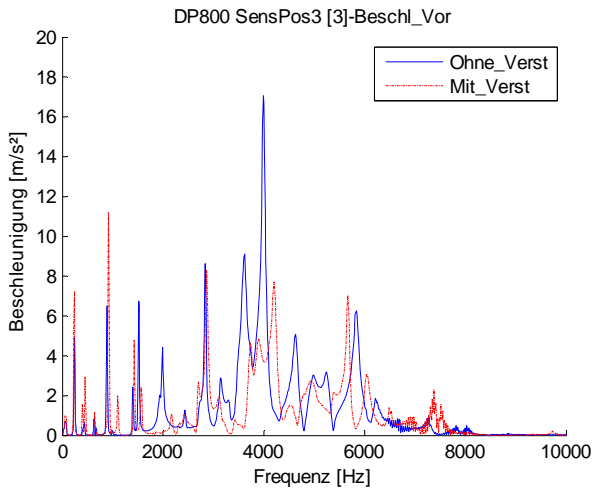


Bild 2: Vergleich der Frequenzspektren von ungehärtetem und lokal gehärtetem Blech

Wie aus **Bild 2** eindeutig zu sehen ist, liegen die Pegel des versteiften Blechs im Allgemeinen unterhalb des unversteiften Blechs, was auf eine bessere Materialdämpfung schließen lässt. Darüber hinaus kommt es zu einer leichten Frequenzverschiebung der Maxima im mittleren Frequenzbereich von 3500 Hz ... 6500 Hz. Die Versteifung kann also über eine Frequenzanalyse detektiert werden. Eine Lokalisierung könnte entweder mittels einer transienten Schwingungsanalyse oder mittels einer experimentellen Modalanalyse erfolgen.

Auch die Sandwichbleche wurden über den elektrodynamischen Schwingerreger angeregt, allerdings wurde dazu ein stoßartiges Signal verwendet und der folgende Ausschwingvorgang beobachtet. Die Messung erfolgte mit dem zuvor erwähnten scannenden Laservibrometer, mit dem es möglich ist, in kurzer Zeit eine große Anzahl von Messpunkten zu erfassen. Bei quasistationärer Anregung kann so die Ausbreitung der Anregung über die Blechstruktur beobachtet werden. Darüber hinaus können die Daten mit Hilfe der Software ME'Scope VES für eine experimentelle Modalanalyse verwendet werden.

In **Bild 3** ist das berührungslos und damit einflussfrei abgetastete Messgitter für die transienten und modalen Analysen abgetastet. Es umfasst 287 Messpunkte, die kreisförmig um den Anregungspunkt in der Blechmitte angeordnet sind. Die Messpunkte werden synchron zum Anregungssignal abgetastet, so dass in kurzer Zeit die Schwingform dargestellt werden kann (siehe **Bild 4**).

Mit der Software ME'Scope VES können anhand der gemessenen Daten die Eigenmoden bestimmt werden. Exemplarisch ist in **Tabelle 1** die Mode bei ca. 1500 ... 1900 Hz für ein unversteiftes und ein versteiftes Sandwichblech dargestellt. Es zeigt sich, dass neben der Frequenzverschiebung die Ausprägung der Schwingform deutlich unterschiedlich ist.

Neben der experimentellen Untersuchung der Sandwichbleche wurde mit der FE-Software ANSYS eine numerische Modalanalyse erstellt. Für die Modellierung wurde eine einzige Schicht von Volumenelementen verwendet, die die Eigenschaften eines Sandwichverbundes abbilden. Bei dem Modell der versteiften Platte sind die Elemente in der Mitte der Platte mit einem einheitlichen Material definiert. Der Modellaufbau ist also noch recht einfach gehalten.

Trotzdem zeigt sich in der zweiten Zeile in **Tabelle 1** eine gute Übereinstimmung zur tatsächlich gemessenen Schwingform. Es ist zu erwarten, dass sich bei detaillierter modellierten Platten eine bessere Übereinstimmung bei den Frequenzen ergibt.

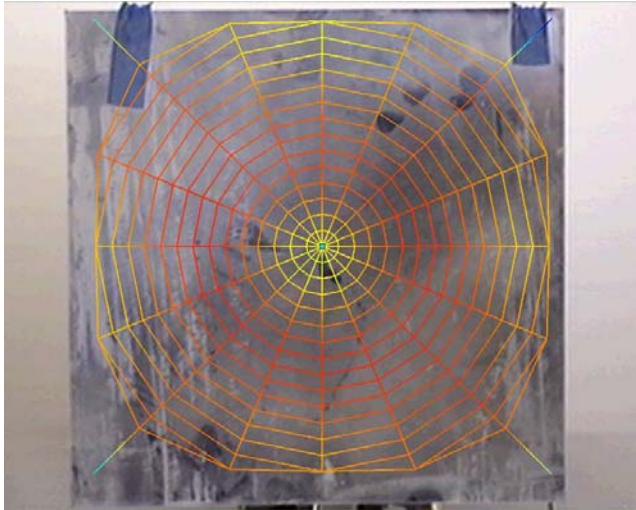


Bild 3: Darstellung des mit dem Laservibrometer abgetasteten Messgitters

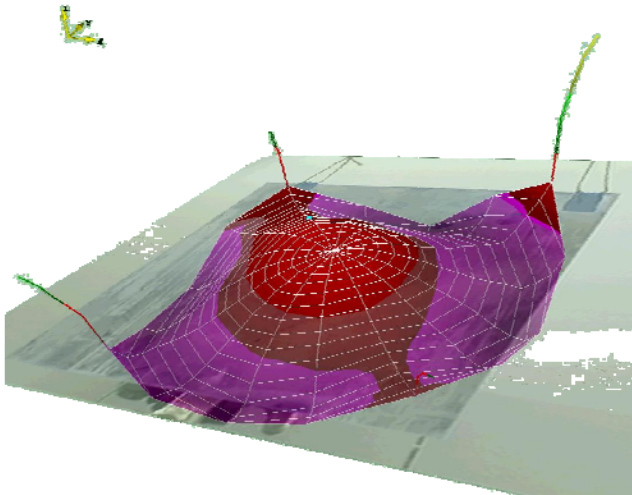


Bild 4: Darstellung der punktwise aufgenommenen Schwingform zur Analyse und Detektion von Materialveränderungen im Zeitbereich

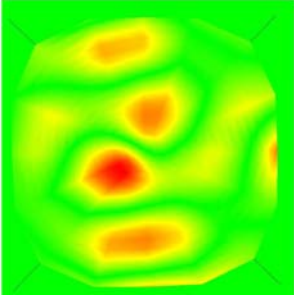
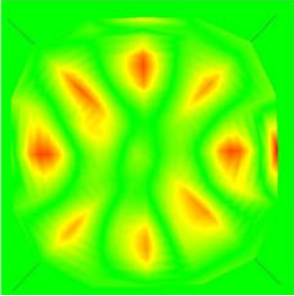
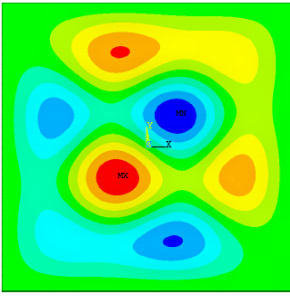
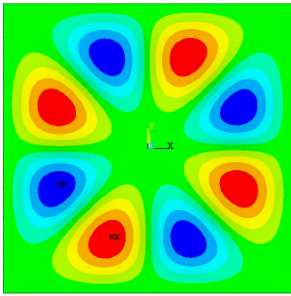
	Ohne Versteifung	Mit Versteifung
Experimentelle Modalanalyse	<p>1510 Hz</p> 	<p>1870 Hz</p> 
Numerische Modalanalyse	<p>1692 Hz</p> 	<p>1665 Hz</p> 

Tabelle 1: Vergleich zwischen experimenteller und numerischer Modalanalyse für unversteifte Bleche.

4 Zusammenfassung

Durch die Neuentwicklung von lokal eigenschaftsveränderten Werkstoffen sind geeignete Verfahren notwendig, um die Qualität der Änderungen zu überprüfen. Weil sich das akustische Übertragungsverhalten durch diese Maßnahmen ebenfalls ändert, wird untersucht ob sich akustische Messverfahren zur Analyse anbieten. In vergleichenden Untersuchungen sind zwei unterschiedliche Proben getestet worden, deren Ergebnisse zeigen, dass man unterschiedliche Eigenschaften sowohl numerisch als auch experimentell nachweisen kann.

5 Literatur

- /1/ Habenicht, G.: Kleben - Grundlagen, Technologien, Anwendungen. 5., erweiterte und aktualisierte Auflage, Springer Berlin Heidelberg New York, 2006, ISBN-13 978-3-540-26273-2
- /2/ Bergmann, R.; Zabler, E.: Methoden der zerstörungsfreien Prüfung. In: Gevatter, H.-J.; Grünhaupt, U. (Hrsg.): Handbuch der Mess- und Automatisierungstechnik in der Produktion, 2., vollständig bearbeitete Auflage, Springer Berlin Heidelberg New York, 2006, ISBN-13 978-3-540-21207-2
- /3/ Ilschner, B.; Singer, R.F.: Werkstoffwissenschaften und Fertigungstechnik - Eigenschaften, Vorgänge, Technologien. 4., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer Berlin Heidelberg New York, 2005, ISBN 3-540-21872-6
- /4/ Möser, M.: Technische Akustik. 8., aktualisierte Auflage, Springer Heidelberg London New York, 2009, ISBN 978-3-540-89817-7
- /5/ Rossing, T. D. (Herausgeber): Springer Handbook of Acoustics. Springer Science+Business Media, LLC New York, 2007, ISBN: 978-0-387-30446-5
- /6/ Hambric, S.: Structural Acoustics Tutorial Part I - Vibrations in Structures. Acoustics Today, Vol. 2, Issue 4, pp. 21-33, October 2006
- /7/ Maysenhölder, W.: Zur Berechnung der Schalldämmung von Sandwich-Bauteilen: Worauf kommt's an? Mehra, S.R. et al.: Fortschritte der Akustik - DAGA 2007
- /8/ Maysenhölder, W.; Berg, A.; Leistner, P.: Akustische Eigenschaften von Aluminiumschäumen – Messungen und Modellierung, IBP-Mitteilung 459, 32 (2005)
- /9/ Fahy, F.J.: Statistical energy analysis: a critical overview. In: The Royal Society Philosophical Transactions: Physical Sciences and Engineering 346(1681), S. 429–447, 1994
- /10/ Schoenwald, S.; Nightingale, T. R. T.: Messung der Körperschallintensität mit einem Scanning Laser Doppler Vibrometer. DAGA 2002