Die Schallemissionsanalyse als Werkzeug klangakustischer Beschreibung und Charakterisierung von Werkstoffen in der Designakustik

Nicki Bader [1,2], Peter Holstein [1,2], Andreas Tharandt [1], Christian Bierögel [4], Jürgen Häberle [3]
[1] *Steinbeis-Transferzentrum „Technische Akustik und angewandte Numerik“*
[2] *SONOTEC Ultraschallsensorik Halle GmbH*
[3] *Hochschule Magdeburg Stendal*
[4] *Polymer Service GmbH Merseburg*

Überblick

Die Messung akustischer Emissionen an Werkstoffen hat seit Einführung der rechnergestützten Datenanalyse immer mehr Bedeutung erlangt. In der Historie findet man bis in die 80er Jahre analoge Beschreibungen, die das akustische Verhalten von metallischen Werkstoffen bei Belastung umschreiben. Im Produktdesign werden diese analogen Beschreibungen und die sinnvolle Verkopplung mit der rechnergestützten Datenanalyse wieder wichtig. Nutzer von Gebrauchsobjekten interagieren auch auf akustischem Wege, was die grundlegende Forschung auf diesem Feld erforderlich macht. Die Arbeit versucht, aufbauend auf dem Vorjahresbeitrag, die methodischen Werkzeuge der Designakustik weiterzuentwickeln und die Schallemissionsanalyse in Kombination mit anderen klangakustischen Methoden als klassischen Indikator für Werkstoffzustand, Schädigungsmechanismen und Schädigungsdynamik bzw. -kinetik unter Einbeziehung supplementärer Methoden wie z. B. der Röntgentomografie oder von Hochgeschwindigkeitsaufnahmen, um einen gesamtheitlichen methodischen Ansatz zur Beschreibung und Charakterisierung im Design zu kultivieren.

Materialtopologie und Bruchverhalten

Ein Werkstoff kann durch verschiedenartige Inkonsistenzen oder Werkstofffehler strukturell geschwächt werden (s. Abb. 1). Diese Rissinitiierungsstellen beeinflussen das akustische Verhalten eines Bauteils und werden deswegen in die gesamtheitliche Betrachtung der Arbeit einbezogen. Folgende Fehlerarten synthetischer Faserverbundwerkstoffe werden bei den phänomenologischen Untersuchungen betrachtet bzw. berücksichtigt:

1. beschädigte Fasern oder Knoten in der Faserverbundstruktur
2. Faltenbildung, genannt Ondulation
3. trockene bzw. harzarme Bereiche oder Delaminationen
4. Blasen und Einschlüsse von Fremdkörpern
5. Abweichungen vom Soll-Faservolumengehalt; ungleichmäßige Harz- oder Faserverteilung
6. nicht ausreichende Oberflächenqualität

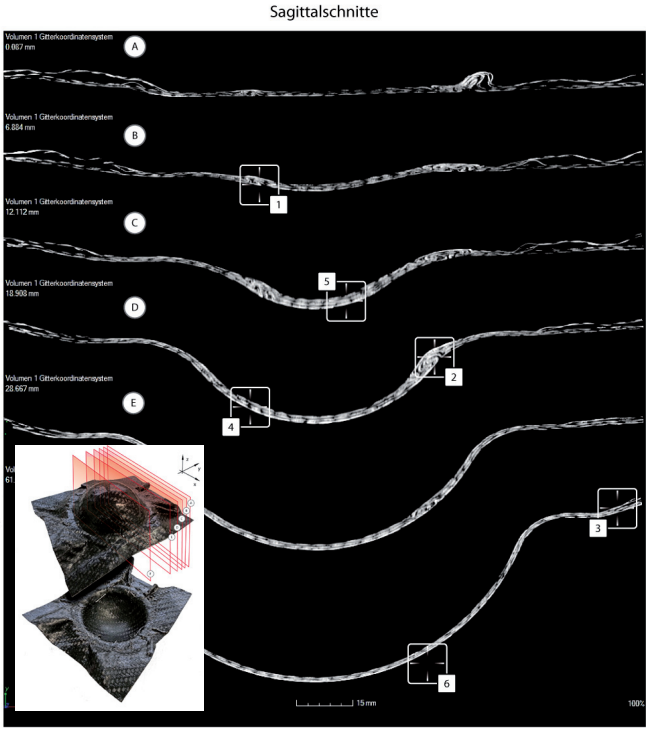

Abb. 1: Darstellung von Fehlerbildern am Beispiel einer thermogeformten Kalotte aus CFK, rel. Fehlstellen hervorgehoben (Forschungsobjekt mit freundlicher Genehmigung von M. Schuck, HBW-Gubesch Thermoforming GmbH und H. Janssen Fraunhofer IPT Aachen)

Die Schädigungsereignisse, welche vorrangig in Spannungsbereichen eines Strukturbauteils initiiert werden, müssen im Zuge der Signalauswertung und Interpretation zeitlich und ortsbezogen zugeordnet werden, um das Bruchverhalten allumfassend zu charakterisieren.

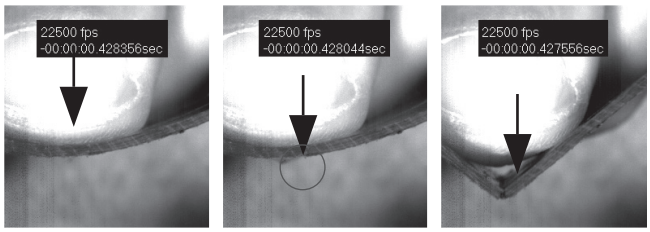

Abb. 2: Hochgeschwindigkeitsaufnahme zur zeitlichen Untersuchung von Deformation und Bruch an Beispiel eines CFK-Biegeträgers (Dank an K.-H. Müseler TU Ilmenau)

Dafür wurden die Messungen mit einer Hochgeschwindigkeitskamera begleitet (Abb. 2). Der abgebildete Zeitbereich zeigt den Bruch einer Kohlefaserprobe in 8 Millisekunden.

Signalverarbeitung und akustische Materialcharakterisierung

Für die Untersuchungen der Anregungen, die für das Verständnis der Signale der freigesetzten Energie wichtig sind, wurden neuentwickelte breitbandigen Schallemissionssensoren über zwei Messkanäle mit 5 MHz Abtastrate eingesetzt. Die Versuche wurden dabei mit Datenraten bis 10 MHz abgetastet. Diese hohe Auflösung der Messdaten ermöglichte auf der einen Seite die Untersuchung sehr kleiner und kurzzeitiger Signale, die sich jedoch datenverarbeitungstechnisch anspruchsvoll gestaltete.

Durch die Verwendung der frei programmierbaren Matlab Schnittstelle zur sequentiellen und scriptbasierten Auswertung der Experimente konnten die Ergebnisse gerade hinsichtlich des Handlings großer Datenmengen ausgewertet werden. (AE-Sensorik von SONOTEC, Messkarte DT9862 von DATA-TRANSLATION)

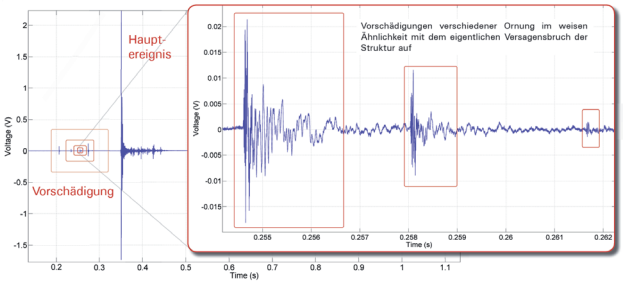

Abb. 3: Zeitliche Darstellung der gesamten CFK Bruchhistorie über initiale Vorschädigungsereignisse hin zum Totalversagen

Die Beispiele in Abb. 4 zeigen vergleichende Auswertungen der Untersuchungen von CFK und Bambus. Bereits hier lassen sich prägnate Unterschiede hinsichtlich Frequenzverteilung und gesamtheitlich freigesetzter Energie feststellen.

Ab welcher Dehnung bzw. Belastung ein Material in ersten Hörfrequenzen "antwortet" oder wo charakteristische Häufungen im Frequenzbereich sind, wird bei diesem Vergleich deutlich, ist aber für den Materialanwender, der sich für die Akustik seiner Struktur interessiert, nicht ohne weiteres interpretierbar. Deshalb wird das in Abb. 5 gezeigte System zur Visualisierung vorgeschlagen.

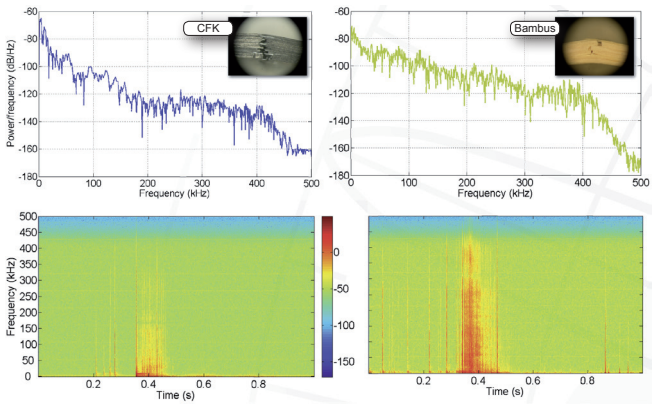

Abb. 4: Vergleich von optischer Bruchbeschaffenheiten (Mikroskopaufnahmen), Gesamtenergieverteilungen (Periodogramm) und zeitlichen Verläufen des Leistungsspektrums (Spektrogramm) am Beispiel von CFK und Bambus zum Ziel der relativen Werkstoffcharakterisierung

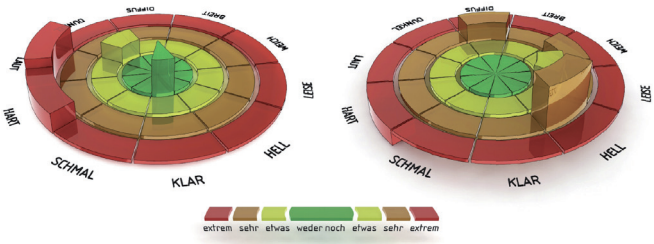

Abb. 5: kategorisierte Visualisierung der reinen akusischen Materialcharakteristik auf Basis messtechnisch hochaufgelöster Daten und Auswertung dieser hinsichtlich wichtiger psychoakustischer Messgrößen

Das hier eingeführte Werkzeug zur sicheren Vorauswahl von Materialien hinsichtlich der akustischen Charakteristik muss in einem zweiten Schritt durch sog. Kontextfilter an den jeweiligen Einsatzbereich angepasst werden.

Externe Einflussgrößen des Umfeldes und auch die individuelle Konstitution des Nutzers werden dabei durch den Kontextfilter berücksichtigt. Erstellt werden können diese Filter jedoch nur über die statistische Auswertung von Nutzerumfragen in Ergänzung mit der Vermessung des Umfeldes.

Fazit und Ausblick

Die Verkopplung von mechanischen und psychoakustischen Kenngrößen und der Bezug zur akustischen Materialklassifizierung ist im ersten Schritt vollzogen und soll in Form der Diagramme noch weiter verfeinert und kultiviert werden. Die bisherige Schwierigkeit, daß individuelle und kontextuelle Einflüsse die Kategorisierung verfälschen, wird nun positiv genutzt, indem diese als Filteralgorithmen über die rein numerischen Diagramme gelegt werden und so entsprechend variabel an die Nutzeranforderungen angepasst werden können.