

Berichte aus der Elektrotechnik

Sandra Weiß

**Messverfahren zur Charakterisierung
synthetischer Stimmlippen**

D 29 (Diss. Universität Erlangen-Nürnberg)

Shaker Verlag
Aachen 2014

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Erlangen-Nürnberg, Univ., Diss., 2014

Copyright Shaker Verlag 2014

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-2885-0

ISSN 0945-0718

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Das menschliche Stimmsignal wird primär von den im Kehlkopf befindlichen Stimmlippen, welche durch den Expirationsstrom zu Schwingungen angeregt werden, erzeugt. Das Zusammenspiel der maßgeblich an der menschlichen Stimmgebung beteiligten Prozesse ist jedoch noch nicht umfassend erforscht. Diese Arbeit leistet einen Beitrag zum besseren Verständnis der Fluid-Struktur-Akustik-Interaktion bei der menschlichen Stimmgebung.

Aufgrund der räumlichen Enge im menschlichen Kehlkopf und der kurzen Lebensdauer exzidiert Kehlköpfe eignet sich reales Gewebe nur bedingt zur Erforschung der strömungsphysikalischen Vorgänge bei der Stimmgebung. Deshalb steht die Untersuchung der Material- und Schwingungseigenschaften synthetischer Stimmlippen aus Silikonkautschuk im Fokus dieser Arbeit. Synthetische Stimmlippen bieten gegenüber realen Stimmlippen außerdem den Vorteil, dass sie über einen längeren Zeitraum einer Reihe von Experimenten standhalten, ohne dabei ihre Materialeigenschaften grundlegend zu verändern.

In dieser Arbeit wird zunächst ein reproduzierbarer Herstellungsprozess für synthetische Stimmlippen, deren struktureller Aufbau an jenen realer Stimmlippen angepasst ist, entwickelt. Um die Materialeigenschaften synthetischer Stimmlippen mit realen Stimmlippen vergleichen zu können, werden geeignete Messplätze konzipiert, mit denen sowohl die statischen als auch die dynamischen und ortsaufgelösten mechanischen Materialparameter des verwendeten Silikonkautschuks bestimmt werden können. Alle Messplätze werden im Hinblick auf Messungenauigkeiten untersucht, um die Reproduzierbarkeit der Messverfahren zur Bestimmung der Materialeigenschaften zu gewährleisten.

Die Messung der statischen Materialparameter erfolgt anhand mechanischer Zugversuche. Dabei wird zudem erstmals der Einfluss der Alterung des Probenmaterials, der Umgebungstemperatur und der relativen Luftfeuchte auf die Materialparameter untersucht.

Zur Analyse des dynamischen Materialverhaltens wird der Silikonkautschuk mittels mechanischer Schwingungen angeregt und das Verhältnis der Geschwindigkeit an der Oberfläche des Probekörpers zu der Anregungsgeschwindigkeit gemessen. Um aus der gemessenen Übertragungsfunktion die frequenzabhängigen Materialdaten bestimmen zu können, wird ein an die Experimente angepasstes Finite-Elemente-Modell erstellt und die Materialparameter der Simulation iterativ an das Messergebnis angepasst. Die Messergebnisse in Verbindung mit den Simulationsergebnissen liefern damit einen vollständigen Parametersatz des Silikonkautschuks.

Da die Materialeigenschaften realer Stimmlippen lokal variieren, wird in der vorliegenden Arbeit zusätzlich das Verfahren der Pipettenaspiration angewandt. Im Inneren eines Hohlzylinders wird dabei ein Wechseldruck erzeugt, der den von der Pipette umschlossenen Silikonkautschuk in Schwingung versetzt. Aus dem gemessenen Auslenkungsprofil werden schließlich die ortsaufgelösten frequenzabhängigen Materialparameter bestimmt. Des Weiteren wird demonstriert, dass sich die Pipettenaspiration auch zur Charakterisierung transversal-isotroper Materialeigenschaften eignet und eine neue Kenngröße zur Beurteilung des Materialverhaltens eingeführt.

Gerade im Hinblick auf die Entstehung von Stimmlippenknötchen stellen die beim Zusammentreffen der Stimmlippen wirkenden Kräfte eine wichtige Kenngröße dar. Da die Sensorik zur Erfassung dieser geringen Kräfte bislang keine zufriedenstellenden Ergebnisse lieferte, wird in der vorliegenden Arbeit ein neuer Ansatz vorgestellt. Als Wandlermaterial kommt eine zellular strukturierte Polypropylenfolie zum Einsatz, die als Ferroelektret verwendet wird und piezoelektrische Eigenschaften besitzt, die sogenannte EMFi-Folie (*electromechanical film*). Es werden miniaturisierte Foliensensorarrays mit

unterschiedlicher Ortsauflösung entwickelt und charakterisiert. Untersuchungen mit synthetischen Stimmlippen demonstrieren die Eignung der Wandler zur Erfassung der orts- und zeitaufgelösten Kollisionskräfte.

Eine Bewertung des vorgestellten synthetischen Stimmlippenmodells erfolgt durch einen direkten Vergleich mit den Schwingungen exzidiertes menschlicher Stimmlippen. Hochgeschwindigkeitsaufnahmen der Schwingungen sowie die akustischen Signale der Stimmlippen werden anhand etablierter Kennwerte zur Beurteilung der Stimmqualität analysiert. Die Ergebnisse belegen, dass das Schwingungsverhalten realer Stimmlippen mit dem entwickelten Stimmlippenmodell sehr gut nachgebildet werden kann.

Die in dieser Arbeit konzipierten Messmethoden bilden folglich die Grundlage für weiterführende Untersuchungen an realem Gewebe und ermöglichen eine genauere Analyse der an der Stimmgebung beteiligten Prozesse.