

Martin Wiedemann, Tobias Melz (Hrsg.)

SMARTE STRUKTUREN UND SYSTEME

TAGUNGSBAND DES
4SMARTS-SYMPOSIUMS
22.-23. MAI 2019, DARMSTADT



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt
Institut für Faserverbund-
leichtbau und Adaptionik



HESSEN
TRADE & INVEST

Wirtschaftsförderer für Hessen



Fraunhofer
LBF

Martin Wiedemann, Tobias Melz (Hrsg.)

Smarte Strukturen und Systeme

**TAGUNGSBAND
DES 4SMARTS-SYMPOSIUMS
22.-23. MAI 2019, DARMSTADT**

Shaker Verlag
Düren 2019

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.

Umschlagabbildung: Fraunhofer-Gesellschaft

Copyright Shaker Verlag 2019

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-6425-4

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren
Telefon: 02421 / 990 11 - 0 • Telefax: 02421 / 990 11 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

VORWORT

Im Zentrum der 4SMARTS-Konferenz stehen intelligente, adaptive und aktive – kurz: smarte – Strukturen und Systeme. Diese finden zunehmend Eingang in neue Produkte vieler Branchen und bieten Mehrwerte wie z. B. die Anpassungsfähigkeit an veränderliche Betriebszustände, eine Funktionserweiterung durch Integration von Energiewandlern (Sensoren, Aktoren und Generatoren) oder eine höhere Schalldämmung bei gleichem Systemgewicht. So mindern smarte Systeme Schwingungen und Lärm, verbessern den Komfort, eröffnen zusätzliche Leichtbaupotenziale, überwachen und steigern die Lebensdauer und Sicherheit mobiler und stationärer maschinenbaulicher Strukturen wie Autos oder Bauwerke.

Wichtiger denn je für den Markterfolg smarter Strukturen und Systeme sind effiziente und industrieorientierte Kooperationen und funktionierende Ketten von Forschung und Entwicklung über die technische Umsetzung und Produktion hin zur systemtechnischen Nutzung. Aus diesem Grund lautet das Motto der 4SMARTS: „Innovation durch fokussierte Vernetzung von Forschung und Anwendung.“

Die Themenschwerpunkte der 4SMARTS bilden einen Dreiklang aus den Technologiefeldern, der Anwendung und dem Technologietransfer smarter Strukturen und Systeme. Ausgehend vom Material über die Auslegung von Bauteilen und die Integration von Funktionen bis hin zur Zuverlässigkeit komplexer Systeme werden alle relevanten Technologiefelder adressiert. Neben den klassischen Anwendungsfeldern der aktiven Schwingungs-, Schall- und Gestaltkontrolle, findet auch das Thema Structural Health Monitoring (SHM) Beachtung. Das vorliegende Buch umfasst die Beiträge des Symposiums „4SMARTS“, das im Mai 2019 in Darmstadt stattfand.

Wissenschaftliche Schirmherren der Veranstaltung waren das Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF mit seinem Forschungsbereich Adaptronik, das Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) und das Kompetenznetz Adaptronik e.V.

Wir freuen uns, wenn wir Ihnen mit diesem Buch neue Anregungen für die Forschung und den Einsatz smarter Strukturen und Systeme in Produkten der nächsten Generation geben können.

Prof. Dr.-Ing. Tobias Melz

Prof. Dr.-Ing. Martin Wiedemann

BEIRAT

Prof. Dr.-Ing. Horst Baier
Technische Universität München

Prof. Dr.-Ing. Thilo Bein
Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

Prof. Dr.-Ing. Welf-Guntram Drossel
Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU

Dr. phil. nat. Ursula Eul
Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

Dr.-Ing. Sven Herold
Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

Dr.-Ing. Hans-Jürgen Karkosch
ContiTech Vibration Control GmbH

Prof. Dr.-Ing. Rolf Lammering
Helmut-Schmidt-Universität Universität der Bundeswehr Hamburg

Prof. Dr.-Ing. Tobias Melz
Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

Prof. Dr.-Ing. Hans-Christian Möhring
Universität Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. Hans Peter Monner
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

Dipl.-Ing. Dr. Manfred Nader
LCM Linz Center of Mechatronics GmbH

Dipl.-Ing. Klaus Osterhage
Adam Opel AG

Prof. Dr.-Ing. Stephan Rinderknecht
Technische Universität Darmstadt

Dr. rer. nat. Andreas Schönecker
Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS

Prof. Dr.-Ing. Stefan Seelecke
Universität des Saarlandes

Prof. Dr.-Ing. Michael Sinapius
Technische Universität Braunschweig

Dipl.-Ing. Friedrich von Dungen
Invent GmbH

Prof. Dr.-Ing. Martin Wiedemann
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

GLIEDERUNG

Additive Fertigungsverfahren

C. Staudigel, C. Fischer

Cold Metal Fusion – Eine neue Technologie zur additiven Herstellung von Metallbauteilen

3

R. Mitkus, M. Sinapius, L. Kačergis

Untersuchung des Einflusses von FDM-Prozessparametern auf die Formvariabilität von 4D-gedruckten formvariablen Strukturen

7

M. Hell, R. Wagener, M. Scurria, H. Kaufmann

Herausforderungen bei der Zuverlässigkeitsgestaltung von additiv gefertigten Strukturen

19

S. Wenzel, E. Slomski-Vetter, T. Melz

Zuverlässigkeitsanalyse mittels KI in der additiven Fertigung

35

Neue Materialien und Multifunktionale Strukturen

S. Algermissen, H. P. Monner

Reduktion tieffrequenter Schalltransmission mittels Metamaterialien: Simulation und Experiment

49

R. Scholz, M. Langhansl, C. Zollfrank, F. Walther

Cottonid – Ein leistungsfähiger Funktionswerkstoff für feuchtesensitive Aktorik

63

S. Langbein, M. Langhoff

Lokale Wärmebehandlung von FG-Drähten zur Realisierung von Plagiatsschutzsystemen

77

S. Biehl, E. Meyer-Kornblum, N. Paetsch, G. Bräuer

Sensormodule für die optimierte Herstellung von naturfaserverstärkten Kunststoffen im Spritzguss

91

Neue Aktorik / Sensorik

- J. Hartmann, K. Knopp, P. Lenski, M. Zänglein, J. Manara, T. Stark, M. Zipf,
M. Arduini, E. Schreiber, U. Krüger, M. Brunner*
Optische Sensorik für die additive Fertigung 105
- S. Stier*
Multimodale und integrierte Elastomersensorik 117
- D. Scholtes, M. Schmidt, P. Linnebach, P. Motzki, S. Seelecke*
**Entwicklung und Aufbau einer Testplattform zur Charakterisierung von
FGL-Aktordrähten** 129
- P. Linnebach, S. Hau, P. Motzki, S. Seelecke*
**Auslegung, Aufbau und Validierung einer mit dielektrischen
Elastomeraktoren angetriebenen Pneumatikpumpe** 139
- Y. Goergen, R. Chadda, P. Motzki, N. Koev,
R. Werthschützky, M. Kupnik, S. Seelecke*
**Entwicklung und Aufbau einer FGL-aktivierten Führungsdrahtspitze mit
einstellbarer Steifigkeit und Krümmung** 149
- M. Plogmeyer, S. Biehl, N. Paetsch, G. Bräuer*
Dünnschichtsensoren zur Temperaturmessung im Mischreibungskontakt 161

Innovative Konzepte

- M. Titze, M. Misol, A. Lehn, H.P. Monner*
**Passive und aktive Lärmreduktionsmaßnahmen für Flugzeuge mit neuartigen
Rumpfstrukturen** 171
- A. Reininger, L. Grasböck, A. Humer, M. Nader,
A. Pechstein, D. Reischl*
**Simulationsgestützte optimale Auslegung eines mehrschichtigen kreisrunden
piezoelektrischen Aktuators** 181
- J. Jungblut, P. Zech, D. F. Plöger, S. Rinderknecht*
Unwanted sound radiation of a piezoelectric inertial mass actuator 193

E. Slomski-Vetter, T. Melz

**Effiziente Zuverlässigkeitsbewertung smarter Systeme - Kombiniertes
Konzept qualitativer und quantitativer Sensitivitätsanalysen**

203

Funktionsintegration

F. Kayatz, J. Haberland, F. Schaller

Neue Ansätze zur Herstellung dreidimensionaler funktionalisierter Oberflächen

217

Aktive Schwingungsbeeinflussung

*A. Grimm, H. Atzrodt, G. Stoll, T. Hansen, P. Hüskens, H. Lohmann,
M. de Wendt, M. Meiler, N. Sreeprakash, K. Finger, S. Herold*

**Optimierter Leichtbau unter Berücksichtigung des vibro-akustischen
Verhaltens der Fahrzeugstruktur im Projekt „LeichtFahr“**

231

V. Mees, L. Balzer, G. Lapicciarella, J. Millitzer

**Pareto-Optimierung eines Systems zur aktiven Schwingungsminderung mit
Hilfe evolutionärer Algorithmen und Echtzeitsimulation am Beispiel eines
semiaktiven Dämpfers**

243

*D. Reischl; D. Mayer; S. Herold; B. Mrak; S.K. Venkatesan; W. Berger;
M. Nader; B. Depraetere*

Benchmarking Workshop on (active) vibration damping

257

M. Koch, D. Mayer

**Machbarkeitsstudie zur Verwendung energieautarker adaptiver
Schwingungstilger in technischen Anwendungen**

271

Condition und Structural Health Monitoring, Predictive Maintenance

K. Tschöke, T. Gaul, L. Schubert, F. von Dungern, J. Guerrero Santafe

**Strukturüberwachung von Kohlefaserkunststoffverbunden im Automobilbau
mittels integrierten Wandlernetzwerken**

287

A. Preisler, F. Wolf-Monheim, A. Dafnis,

K.-U. Schröder, P. van der Jagt, W. David, P. Zandbergen

**Faseroptische Schadensüberwachung von GFK-Blattfedern mittels
struktureller Schadensindikatoren**

299

B. Kelkel, P. Argus, M. Gurka

Demonstrator zur in-situ Lokalisierung von Schädigungsereignissen in dünnwandigen CFK Strukturen 311

M. Voß, D. Ilse, W. Hillger, T. Vallée,

M. Eppmann, J. de Wit, F. von Dungern

Numerische Simulation der Ausbreitung von Lamb-Wellen und deren Wechselwirkung mit Defekten in CFK-Laminaten für die zerstörungsfreie Prüfung 325

D. Kimpfbeck, S. Gschoßmann, J. Wagner, M. Schagerl

Optimizing the electrical conductivity of CNT embedded thin films printed with industrial inkjet technology for strain sensing applications 339

Autonome Systeme und Energy Harvesting

S. Langbein, S. Horn, M. Langhoff, P. Dültgen

Energierückgewinnung aus geringsten Temperatur-differenzen mittels Formgedächtnislegierungen 353

Y.J. Park, S. Perfetto, M. Mathes

Wearable piezoelectrets for energy harvesting using human body motion 365

T. Klesse, M. Oemus, J. Augustin, P. Neumeister, L. Schubert, F.-P. Schiefelbein

Entwicklung eines energieautarken Miniatursensorsystems zur Steckzyklenzählung 379

D. Mayer, M. Misol, C. Humer, S. Herold, H. P. Monner

Wireless Sensor Networks and Energy Harvesting for Energy Autonomous Smart Structures 391

Autorenverzeichnis