

# 50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium

September, 19-23, 2005

**Maschinenbau  
von Makro bis Nano /  
Mechanical Engineering  
from Macro to Nano**

**Proceedings**

Fakultät für Maschinenbau /  
Faculty of Mechanical Engineering

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

## Impressum

- Herausgeber: Der Rektor der Technischen Universität Ilmenau  
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter Scharff
- Redaktion: Referat Marketing und Studentische Angelegenheiten  
Andrea Schneider
- Fakultät für Maschinenbau  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Kurtz,  
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. med. (habil.) Hartmut Witte,  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Linß,  
Dr.-Ing. Beate Schlütter, Dipl.-Biol. Danja Voges,  
Dipl.-Ing. Jörg Mämpel, Dipl.-Ing. Susanne Töpfer,  
Dipl.-Ing. Silke Stauche
- Redaktionsschluss: 31. August 2005  
(CD-Rom-Ausgabe)
- Technische Realisierung: Institut für Medientechnik an der TU Ilmenau  
(CD-Rom-Ausgabe) Dipl.-Ing. Christian Weigel  
Dipl.-Ing. Helge Drumm  
Dipl.-Ing. Marco Albrecht
- Technische Realisierung: Universitätsbibliothek Ilmenau  
(Online-Ausgabe) [ilmedia](#)  
Postfach 10 05 65  
98684 Ilmenau
- Verlag:  Verlag ISLE, Betriebsstätte des ISLE e.V.  
Werner-von-Siemens-Str. 16  
98693 Ilmenau

© Technische Universität Ilmenau (Thür.) 2005

Diese Publikationen und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt.

ISBN (Druckausgabe): 3-932633-98-9 (978-3-932633-98-0)  
ISBN (CD-Rom-Ausgabe): 3-932633-99-7 (978-3-932633-99-7)

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

Sascha Mäuselein / Dr. Roman Schwartz

## Alternative Sensoren für die Wägetechnik

### ABSTRACT

In der Wägetechnik werden zur Zeit hauptsächlich Wägezellen auf DMS-Basis (DMS-WZ) eingesetzt. Grund dafür ist, dass mit dieser seit Jahrzehnten bekannten und ständig weiter entwickelten Messtechnik zur Zeit relative Messunsicherheiten von  $10^{-4}$  und darunter bei vergleichsweise niedrigen Produktionskosten erreicht werden. Für höhere Genauigkeitsanforderungen, insbesondere in der Laborwägetechnik, werden elektrodynamische Kraftkompensations-Wägezellen (EDK-WZ) eingesetzt, mit denen relative Messunsicherheiten von einigen  $10^{-7}$  erzielt werden, allerdings nur bis zu Lasten von einigen zehn Kilogramm. Daneben hat in den letzten Jahren die Mechatronik und Mikrosystemtechnik zunehmend an Bedeutung gewonnen, die durch das effektive Zusammenspiel mechanischer, elektronischer und IT-Komponenten sowie deren Miniaturisierung auch für das klassische Gebiet der Wägetechnik völlig neue Perspektiven bietet.

Der Vortrag gibt den aktuellen Stand einer Studie wieder in der alternative Messverfahren auf ihr zukünftiges Potential in der Wägetechnik untersucht werden. Bei der Vorstellung ausgewählter Messverfahren wird auf die Vor- und Nachteile und die derzeitigen Einsatzbereiche eingegangen.

Am Weitesten verbreitet ist die Bestimmung der Gewichtskraft der zu wiegenden Masse durch Messung der Verformung eines Federkörpers. Zum Einsatz kommen Stahl- und Aluminiumfederkörper. Der prinzipielle Nachteil liegt in Kriechen, Hysterese und Alterungseffekten des Federmaterials. Wird die Dehnung mittels Folien-DMS gemessen, treten diese Effekte auch in der Klebeverbindung zwischen Federkörper und DMS auf. Weiterhin ist die Feuchteempfindlichkeit des Klebers zu beachten. Vorteilhaft wäre daher eine Messung ohne diese Verbindungsprobleme im Kombination mit einer digitalen Kriechkompensation. (Z. Z. erfolgt die Kriechkompensation über das Kriechen des Klebers.) Alternative kristalline Federmaterialien wie z. B. Silizium ohne Hysterese- und Kriecheffekte haben gut reproduzierbare Eigenschaften und ermöglichen daher eine digitale Kompensation des Kriechens.

Mittels Sputtertechnik applizierte Metall-DMS gehen eine direkte Verbindung mit dem Federkörper ein, wodurch Kriechen und Hysterese vermieden werden. Da die DMS-Strukturen mit dieser Technik kleiner werden (Faktor 15), sind die Rückwirkungen auf den Federkörper geringer und auf gleicher Fläche können mehr DMS appliziert werden, was beispielsweise zur Unterdrückung von Störgrößen genutzt werden kann. Eine zusätzliche Verdopplung der Messgrößen bzw. eine Reduzierung

der benötigten DMS lässt sich mit time-to-digital Konvertern (TDC) erreichen. Diese Technik ermöglicht die digitale Auswertung von DMS in einer Halbbrückenschaltung, während bei den üblichen Trägerfrequenzverstärkern Vollbrücken benötigt werden, um das Beste Signal-zu-Rausch Verhältnis zu erlangen.

Einen höheren k-Faktor bieten beispielsweise Halbleiter-DMS. Diese weisen aber eine hohe Temperaturempfindlichkeit und geringere Linearität auf. Hier sind für hohe Genauigkeiten Referenzsensoren und Kompensationen erforderlich. Weitere alternative Materialien zur Dehnungsmessung sind magnetostruktive Materialien, die in Magnetfeldsensoren z. B. zu piezoresistiven Sensoren führen, piezokapazitive Materialien oder leitfähige Kunststoffe. Die Hysterese und Reproduzierbarkeit entspricht jedoch vielfach nicht der von Metall-DMS.

Piezoelektrische Folien (z. B. PVDF) weisen ein besseres Signal-zu-Rausch Verhältnis als Metall-DMS auf. Problematisch sind wie bei allen piezoelektrischen Verfahren statische Messungen, die nur durch aufwendige Elektronik und Signalverarbeitung möglich sind.

Bei der direkten Längenmessung der Verformung eines Federkörpers, beispielsweise optisch, kapazitiv oder mit Ultraschall, entfallen die Probleme der Klebeverbindung und die Rückwirkungen auf den Federkörper. Optische Verfahren zur Wegmessung sind im Allgemeinen sehr genau. Allerdings bleiben die prinzipiellen Nachteile des Federkörpers bestehen und die Herstellkosten sind, abgesehen von der faseroptischen Reflexion, in der Regel sehr hoch.

Sensoren, die auf dem Photoelastischen Effekt beruhen, wie sie beispielsweise mit monolithischen Laserkristallen realisiert werden, bieten einen großen Auflösungsbereich über 10 Dekaden. Problematisch ist hier jedoch die Krafteinleitung in den Kristall.

Wägezellen nach dem Schwingsaiten-Prinzip sind mit relativen Auflösungen bis zu  $4 \cdot 10^6$  erhältlich. Dabei ist durch die Verwendung von zwei Saiten ein direkter Massenvergleich möglich, wenn die benötigte Vorspannkraft über eine Vergleichsmasse aufgebracht wird. Ein ähnliches Verfahren nach dem Doppelstimmgabel-Prinzip (DETF), bietet eine bessere Güte des Schwingkreises und verringert die Probleme durch das Mitschwingen der Einspannung.

Piezoelektrische Kraftaufnehmer aus Quarz sind in der dynamischen und quasistatischen Kraftmessung weit verbreitet. In der Wägetechnik konnten sie sich aufgrund der vom Ladungsverstärker verursachten Drift nicht durchsetzen. Vorteilhaft sind jedoch die durch Konstanten beschreibbaren Materialeigenschaften, die weder Kriechen, Hysterese noch Alterungseffekte aufweisen und universell bestimmt werden können.

Bei den Kompensationsverfahren, die im hochauflösenden Bereich eingesetzt werden, wird die Gewichtskraft durch eine Gegenkraft kompensiert. Das Messsignal kann aus der Stellgröße zur Erzeu-

gung der Kompensationskraft gewonnen werden. Da diese Verfahren quasiweglos sind und beispielsweise die Federkörper ihren Arbeitspunkt nicht verlassen, wird eine hohe Genauigkeit und eine gute Linearität erreicht.

Eine Alternative zur elektrodynamischen Krafterzeugung für Lasten im mg-Bereich stellt die elektrostatische Kraftkompensation dar. Da die elektrostatische Kraft quadratisch zum Plattenabstand abfällt, ist eine Fertigung in Mikrotechnik sinnvoll, um nutzbare Kräfte zu erreichen. Solche Wägezellen erreichen Auflösungen von  $10^{-6}$  bei maximalen Lasten von 1 g. Die Mikrotechnik bietet auch für viele der übrigen Verfahren ein großes Potential. Z. B. wurden bereits DETF zur Dehnungsmessung mit einem Dehnungsfaktor von 2700 gefertigt und kapazitive Si-WZ mit Auflösungen von  $10^{-4}$  bei einer maximalen Last von 500 kg entwickelt.

Großes Potential wird in der Mikrotechnik gesehen, besonders im Bereich der elektrostatischen Kraftkompensation, da es sich um ein Kompensationsverfahren handelt. Auch Si-Federkörper mit gesputterten oder mittels Dotierung eingebrachter Halbleiter-DMS sind erfolgversprechend, weil dieses Verfahren eine hohe Reproduzierbarkeit erwarten lässt.

**Autorenangaben:**

Sascha Mäuselein

Dr. Roman Schwartz

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100

38116, Braunschweig

Tel.: 0531 592-1189

Fax: 0531 592-1105

E-mail: sascha.maeuselein@ptb.de