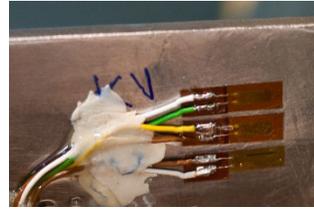


## Experimentelle Spannungsermittlung an rotierenden Maschinenelementen



Kruk, R.; Schäfer, G.

*Hier wird die experimentelle Spannungsanalyse an rotierendem Laufrad des Industrieventilators beschrieben. Sie wurde mit Dehnungsmessstreifen mit dem Messgitter aus metallischer Legierung und aus Halbleiter durchgeführt. Die Signale wurden mit einem Telemetriesystem von der Messstelle bis zum Rekorder übertragen. Hier wird das Ergebnis präsentiert und verglichen. Das Forschungsvorhaben führt Institut für Maschinenwesen in Kooperation mit der Firma Piller Industrieventilatoren durch. Das Projekt wird aus Mitteln des EFRE (Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung) finanziell unterstützt und mit zwei weiteren Forschungsstellen bearbeitet.*

*In this paper is a described experimental stress analysis at rotating machine element. This analysis was realized with metallic and semiconductor strain gage. For signal transmission was used a telemetry system. These results of measuring with both strain gages will be compared. On this project works Institut fuer Maschinenwesen in cooperation with company Piller Industrieventilatoren. This Project is financed by EU under the project nr: W2-80025315.*

### 1 Einleitung

Der Entwurfs- und Optimierungsprozess von Maschinenelementen wird mit numerischen Simulationen unterstützt. Es werden mathematische Modelle gebaut, die den realen Betriebszustand beschreiben. Diese theoretischen Arbeiten müssen mit den realen Bedienungen abgeglichen bzw. validiert werden. Ein Werkzeug für diese Aufgabe kann die Messtechnik sein, mit der zusammengebaute Maschinen und Anlagen während des Betriebs vermessen werden können. Hier wurde eine experimentelle Spannungsanalyse mit Dehnungsmessstreifen an dem Laufrad realisiert. Das untersuchte Laufrad als geschweißte Konstruktion rotiert während des Betriebs und eine Lösung müsste für die Signalübertragung von der Messstelle bis zum Rekorder konzipiert und erarbeitet werden. Eine Herausforderung war, dass es sich bei der Betriebsmessung um eine Standardausführung des

Ventilators handelt. In solcher Anlage wurden keine Vorrichtungen für Messtechnik und dies artige Applikationen vorgesehen und müssten für diese Aufgabe sowohl konzipiert als auch umgesetzt werden. Der Beitrag soll in IMW durchgeführte Arbeiten erläutern, die bei der Betriebsmessung an einem Industrieventilator durchgeführt wurden.

## **2 Ziel des Forschungsvorhabens**

Die experimentelle Spannungsanalyse wurde durchgeführt, um ein Vergleich zwischen mechanischen Spannungen aus der numerischen Simulation und auf dem realen Bauteil zu ermöglichen. In der Simulation (z.B. nach der Finite Elemente Methode) lassen sich sowohl richtungsabhängige Spannungen (radiale und tangential) als auch mechanische Vergleichsspannungen (z.B. nach Gestaltungsenergie Hypothese) und deren Verläufe im gesamten Bauteil berechnen. Die Messtechnik liefert uns Werkzeuge die gleichen Spannungen auf dem realen Bauteil zu ermitteln. Diese Spannungen werden jedoch in diskreten Punkten auf den untersuchten Objekten und in der Regel in den stark belasteten, kritischen Zonen erfasst. Dies kann für Validierung des numerischen Modells benutzt werden und bildet realen Zustand des Bauteils ab.

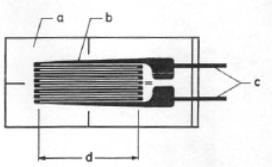
Weiteres Ziel in dem Forschungsvorhaben war die messtechnische Ermittlung der dynamischen Belastung des Laufrades im Betrieb. Dazu wurden Oberspannungen und Unterspannungen aus den zeitlichen Spannungsverläufen für stationäre Betriebspunkte abgelesen. Nächstens wurden sie ins Verhältnis gesetzt und Spannungsverhältnis  $R$  gebildet. Dies ist ein Maß für dynamische Belastung und damit kann man Rückschlüsse ziehen, ob das untersuchte Bauteil dynamisch belastet wird. Hier soll dieser Parameter ermittelt werden, um Dauerfestigkeit der Konstruktion zu identifizieren.

Zusätzlich wurden in diesem Projekt zwei verschiedene Arten von Dehnungsmessstreifen (DMS) eingesetzt. Der Unterschied von den DMS liegt in Messgitter. Es wurden hier DMS mit Messgitter aus Konstantan und aus Halbleiter appliziert. Die Ergebnisse von beiden Arten werden hier präsentiert und verglichen.

## **3 Experimentelle Spannungsanalyse**

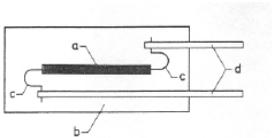
Die Messtechnik bietet viele Verfahren zur Ermittlung von mechanischen Spannungen auf einem Bauteil an. Im Institut für Maschinenwesen wird das Verfahren mit Dehnungsmessstreifen für experimentelle Versuche seit vielen Jahren und mit großem Erfolg eingesetzt. Bei

dieser Aufgabenstellung geht es um rotierendes Maschinenelements und das Messsignal muss von der Messstelle bis zur Auswertungseinheit (Rekorder) geleitet werden. Für die Übertragung des Signals wurde ein mehrkanaliges Telemetriessystem eingesetzt. Damit die Belastung infolge Fliehkräften möglich gering halten, wurden die elektronische Teile des Systems (Sender mit Vorverstärker) und Spannungsquelle (Batterien) in der Mitte des untersuchten Rotors in dafür konstruierte Halterung platziert. Die Messstellen selber waren am Rand der Deck- bzw. Rückscheibe platziert. Die elektrische Verbindung zur Sender erfolgte durch geschirmte mehradrige Leitungen und die Sendeantennen wurden durch kleine Bohrung auf dem äußeren Teil der Rückscheibe ausgeführt. Dies war notwendig, weil die Empfängerantennen an dieser Seite in einer Öffnung im Gehäuse montiert wurden. Die alle Kabel wurden durch die ganze Länge von der Messstelle bis zur Halterung geklebt, um sie gegen Abreisen zu sichern. Als Spannungsquelle wurden Li-SOCl<sub>2</sub> Batterien angewendet, die bei Einsetzten in der hohen Temperaturen (bis 120°C) und bei der Fliehkraftbelastung kaum Leistungsverlust aufweisen.



**Bild 1:** Dehnungsmessstreife mit dem Messgitter aus einer metallischen Legierung /3/

In dieser Applikation wurden zwei Arten von den Dehnungsmessstreifen installiert, die unterschiedlich aufgebaut sind. Die erste Art sind die DMS mit dem Messgitter aus einer metallischen Legierung (z.B. Konstantan). Die zweite Art hat das Messgitter aus einem Halbleiter. Hier wird einen Vergleich zwischen den gemessenen Signalen aus den beiden Sensorarten durchgeführt.



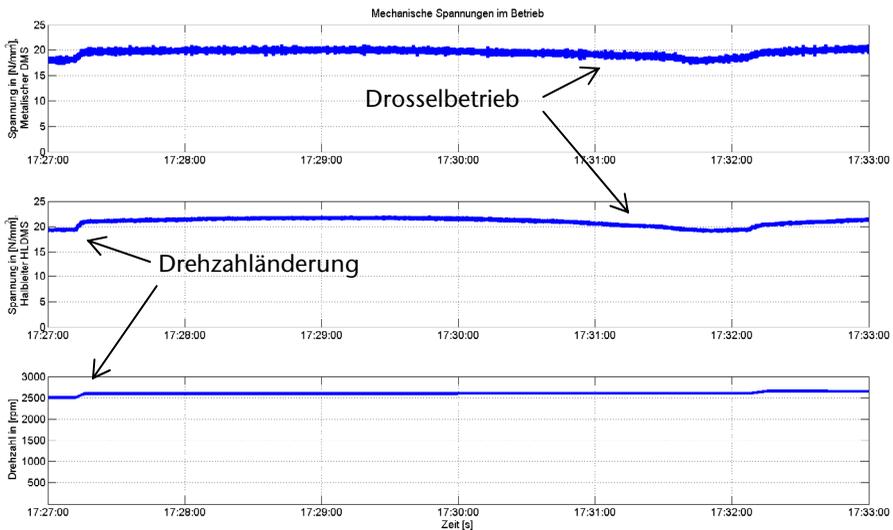
**Bild 2:** Dehnungsmessstreife mit dem Messgitter aus einem Halbleiter /3/

Ein DMS mit dem metallischen Gitter ist in dem **Bild 1** zu sehen. Dieser Sensor hat insgesamt ein langes Messgitter, der über eine Fläche

aufgebracht ist und liefert ein gemittelttes Signal über diese Fläche. Der Halbleiter DMS zeigt das **Bild 2**. Der Messgitter solches DMS ist nicht über eine Fläche wie bei metallischen DMS, sondern als eine Linie aufgebracht. Bei beiden Sensoren ermittelt man eine Widerstandsänderung, die proportional zur Dehnung ist. Man spricht dabei von dimensionslosen Proportionalitätsfaktor  $k$ , der für beide DMS unterschiedlich ist. Die metallischen DMS haben in der Regel den  $k$ -Faktor in der Höhe von 2 und die Halbleiter DMS in der Höhe bis zu 100. Das weist darauf hin, dass die zweite Art empfindlicher ist und ihre Messsignale geringere Verstärkung erfordern.

#### 4 Ergebnisse aus den experimentellen Versuchen

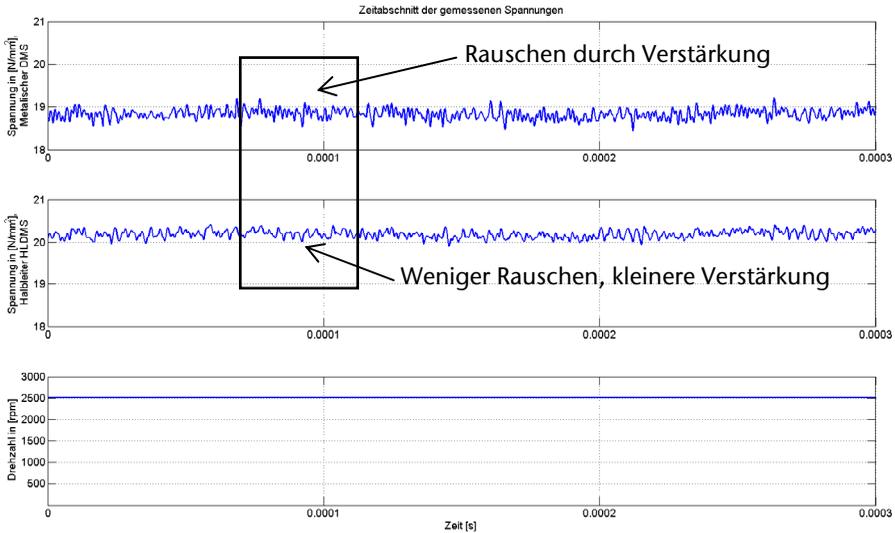
Das Messergebnis ist im **Bild 3** zu sehen. Das obere Diagramm stellt die gemessene Spannung mit dem DMS mit dem metallischen Messgitter. In der Mitte ist die ermittelte Spannung für Halbleiter DMS dargestellt. Das unterste Diagramm zeigt den Drehzahlverlauf während der Messung.



**Bild 3:** Experimentell ermittelte Betriebsspannungen auf der Rückscheibe eines Laufrades

Bei Vergleich beiden Signalen lässt sich ein Unterschied ablesen. Das kann daran liegen, dass die beiden DMS Arten nebeneinander appli-

ziert wurden. Der Unterschied kommt von tatsächlichen mechanischen Spannungen in der Konstruktion. Aus beiden Verläufen lassen sich die Spannungsmittelwerte in Abhängigkeit vom Betriebspunkt (z.B. Drehzahl oder stark gedrosseltes Betrieb) identifizieren.



**Bild 4:** Dehnungsmessstreife mit dem Messgitter aus Halbleiter /3/

Das **Bild 4** stellt einen kurzen Zeitabschnitt aus der Messung dar. Aus diesem Bild kann man die zeitlichen Änderungen der ermittelten Spannungen bekommen und die Ober – auch Unterspannung für das R Verhältnis ausrechnen. Es sind hier Unterschiede zu sehen, die durch verschiedene Positionen beiden Sensoren zu erklären sind. Der Halbleiter DMS ist empfindlicher als der metallische DMS. Aus diesem Grund brauchen die Halbleiter DMS weniger Verstärkung bei Signalübertragung und sollen besser die dynamischen Beanspruchungen wiedergeben. Bei dem Verstärken von Messsignalen werden dabei die unerwünschten Störungen aus dem Sender (z.B. Eigenrauschen) verstärkt und das wichtige Nutzsignal kann überdeckt werden.

## 5 Zusammenfassung

Für die Durchführung von experimentelle Spannungsanalyse an rotierenden Maschinenelementen werden zusätzliche Maßnahmen für

die Signalübertragung benötigt. Hier wurde ein Telemetriesystem angewendet. Die Dehnungsmessstreifen eignen sich für Ermittlung von mechanischen Spannungen im Betrieb und die dynamischen Beanspruchungen können aus den aufgezeichneten Zeitsignalen ermittelt werden. Die Halbleiter DMS sind empfindlicher als DMS mit dem metallischen Messgitter und eignen sich besser für die Ermittlung von kleineren und dynamischen Beanspruchungen.

## 6 Literatur

- /1/ Carolus, T.: Ventilatoren. Aerodynamische Entwurf, Schallvorhersage, Konstruktion, Teubner, Wiesbaden 2003
- /2/ Schlender, F., Klingenberg, G.: Ventilatoren im Einsatz. Anwendung in Geräten und Anlagen, VDI – Verlag GmbH, Düsseldorf 1996
- /3/ Hoffmann, K.; Eine Einführung in die Technik des Messens mit Dehnungsmessstreifen, Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt, 1987
- /4/ Keil, S.: Beanspruchungsermittlung mit Dehnungsmessstreifen, Cuneus, Zwingenberg an der Bergstr., 1995
- /5/ HBM-Publikation: Der Weg zum Messgrößenaufnehmer – Ein Leitfaden zur Anwendung der HBM K-Dehnungsmessstreifen und Zubehör, <http://www.hbm.com/fileadmin/mediapool/hbmdoc/technical/s2303.pdf>
- /6/ Technisches Informationsblatt 02/01. Halbleiter-DMS. Kennwerte und Gebrauchsanweisung für Halbleiter Dehnungsmessstreifen [http://www.zse.de/download.cfm/download/1/pr\\_do\\_id/5401J64E404642441/path/](http://www.zse.de/download.cfm/download/1/pr_do_id/5401J64E404642441/path/)

Dieses Projekt wird mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung gefördert.

