

# Drehend Messen

## Vorteile des Derotators bei der Schwingungsanalyse

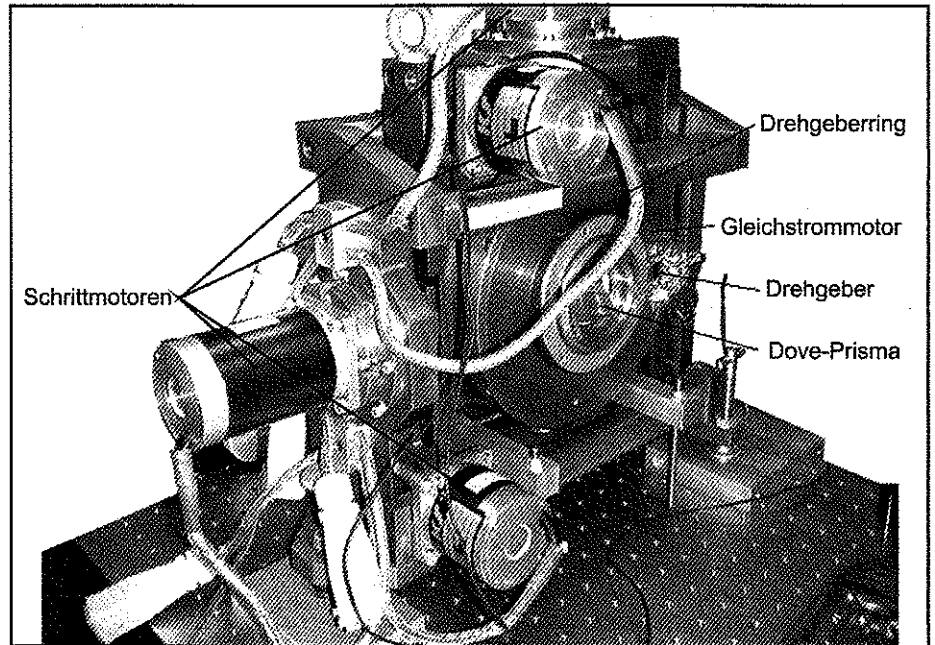
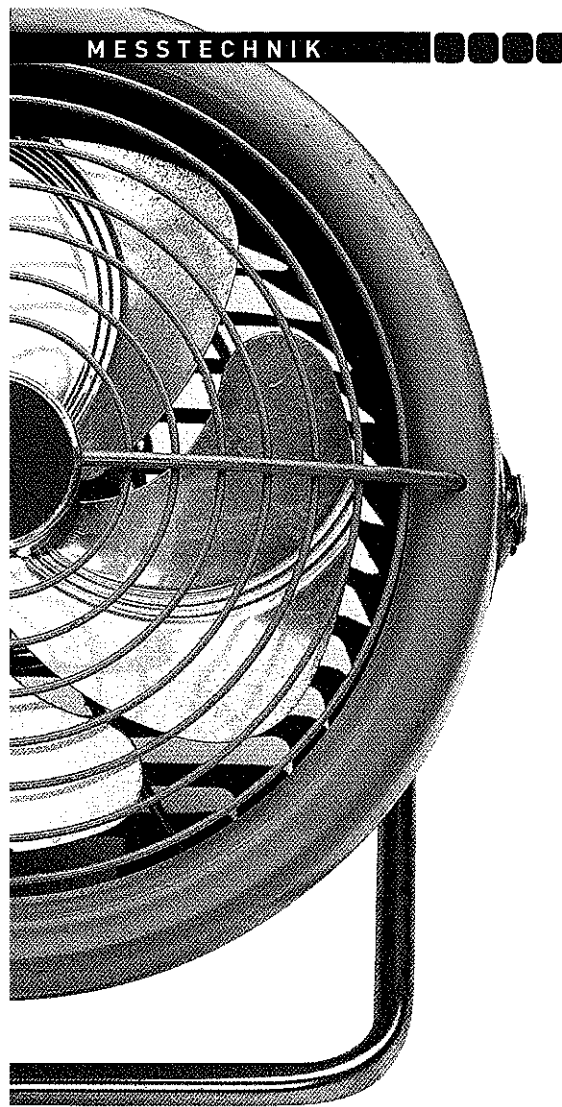


Abb. 1: Derotator des IMR

**Wie messe ich am drehenden Objekt?**

**Neben der Telemetrie bietet sich auch**

**ein weiteres Verfahren an: Die Derota-**

**tor-Technologie. Die haben Wissen-**

**schaftler der Leibniz Universität Hanno-**

**ver unter realen Bedingungen**

**untersucht. Was sie dabei herausgefun-**

**den haben, erfahren Sie auf den nächs-**

**ten Seiten.**

Viele optische Messverfahren zur Schwingungsanalyse, wie die Laser-Doppler-Vibrometrie (LDV) oder die digitale Bildverarbeitung, können nur bedingt auf rotierende Objekte angewendet werden. Diese Verfahren versagen, wenn eine kritische Drehzahl überschritten wird. Um dieses Problem zu beseitigen und das dynamische Verhalten rotierender Objekte unter realen Betriebsbedingungen zu untersuchen, wird am Institut für Mess- und Regelungstechnik der Leibniz Universität Hannover ein optomechanischer Bildderotator

eingesetzt. Er transformiert das Koordinatensystem des Messgerätes in das rotierende Koordinatensystem des Objektes. Dieser optische Effekt lässt Messungen zu, die bislang nicht ohne Weiteres möglich waren, wie beispielsweise Schwingungsmessungen an schnell rotierenden Bauteilen, Deformationsmessungen und Stabilitätsanalysen von rotierenden Werkzeugen im Einsatz oder Untersuchungen der Bruchmechanik an rotierenden scheibenförmigen Objekten (z.B. Bersten von Schleifscheiben).

### Prinzip des Bildderotators

Das Kernstück des Bildderotators ist ein Bild-drehprisma nach Dove. Wird ein rotierendes

Objekt durch ein Bildrehprisma (hier Dove-Prisma) hindurch beobachtet, das mit der halben Winkelgeschwindigkeit in gleicher Drehrichtung rotiert, so erscheint das Objekt ruhend. Voraussetzung dafür ist, dass die optische Achse des Prismas, die Drehachse seines Antriebes sowie die Objektdrehachse identisch sind.

Als eigenständiges Gerät verfügt der Bildderotator über eine kardanische Verstelleinheit, mit der die Drehachse des Bildderotators individuell auf die Drehachse eines Objektes ausgerichtet werden kann. Die Drehzahlsynchronisierung des Derotatorantriebs zum Objekt im Verhältnis 1:2 erfolgt mit elektronischer Steuerung. Abbildung 1 zeigt die wesentlichen technischen Komponenten des Derotators.

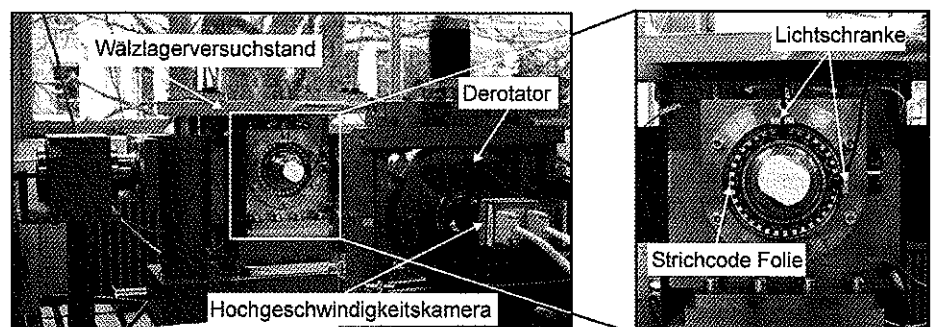


Abb. 2: Versuchstand zur Ermitteln des Wälzkörperschlupfs eines Wälzlagers

## Schlupf messen

Einen Derotator kann man beispielsweise dafür verwenden, den Wälzkörperschlupf am Wälzlager zu messen. Der Schlupf einzelner Wälzkörper oder des gesamten Wälzkörpersatzes in einem Wälzlager kann gravierenden Schäden an der Lauffläche zur Folge haben. Es existieren verschiedene Methoden zur Messung des Schlupfes. Es ist jedoch festzustellen, dass der Schlupf einzelner Wälzkörper und dessen zeitliche Änderung mit der bisherigen Technik nicht exakt bestimmt werden kann. Mit Hilfe des Derotators wird dieses jetzt ermöglicht. Zur Ermittlung des Wälzkörperschlupfs wird zunächst die Geschwindigkeit des Wälzkörpers während des Betriebs des Lagers gemessen. Abbildung 2 zeigt den verwendeten Versuchsaufbau dieser Untersuchungen. Er besteht aus dem Einzellagerversuchstand des Instituts für Maschinenelemente, Konstruktionstechnik und Tribologie (IMKT) der Leibniz Universität Hannover, dem Bildderotator und einer Hochgeschwindigkeitskamera. Die Hochgeschwindigkeitskamera ist eine CMOS-Camera mit der zeitlichen Auflösung von  $f = 500$  Bilder/s mit einer maximalen Bildauflösung von  $1.280 \times 1.240$  Pixel. Der full camera Link Frame Grabber der Kamera ermöglicht einen Bilddatentransfer zum Host mit einer Übertragungsrates bis 528 MB/s. Die Regelung der Derotatordrehzahl wird mit der speziellen Echtzeitanwendung xPC Target durchgeführt, welche auf Matlab basiert. Hierdurch kann das Messsystem auf einer Standard PC-Hardwareumgebung betrieben werden. In diesen Versuchen dreht sich der Derotator mit der halben Geschwindigkeit des Wälzlagerkäfigs d. Dadurch wird die Drehung des Wälzkörpers um den Innenring eliminiert und nur die Eigenrotation des Wälzkörpers beobachtet. Für die Messung der Käfigdrehzahl wird ein hell-dunkel Strich Code auf dem Käfig des Wälzlagers angebracht und dessen Drehzahl und Drehrichtung mit zwei Lichtschranken erfasst.

## Schwingungen an rotierenden Bauteilen

In vielen Bereichen im industriellen Kontext werden schnell rotierende Bauteile verwendet, wie z.B. in Flugzeug- oder Kraftwerksturbinen. Gerade im High Performance Bereich ist eine Schwingungs- bzw. Modalanalyse unumgänglich, um die Konstruktion und die Betriebsparameter des rotierenden Bauteiles optimal auszuliegen und so ein ruhiges Laufverhalten zu garantieren. Ein etabliertes Verfahren zur flächenhaften Schwingungsanalyse stellt die Laser-Doppler-Vibrometrie dar. Bei diesem Verfahren wird ein Objekt an diskreten Punkten mit einem Laserstrahl abgetastet und die Schwingungen mit dem vom Objekt zurückgestreuten Laserlicht unter Ausnutzung des Doppler-Effektes bestimmt. Auf diese Weise können sogar Schwingungsanalysen im Kilo-

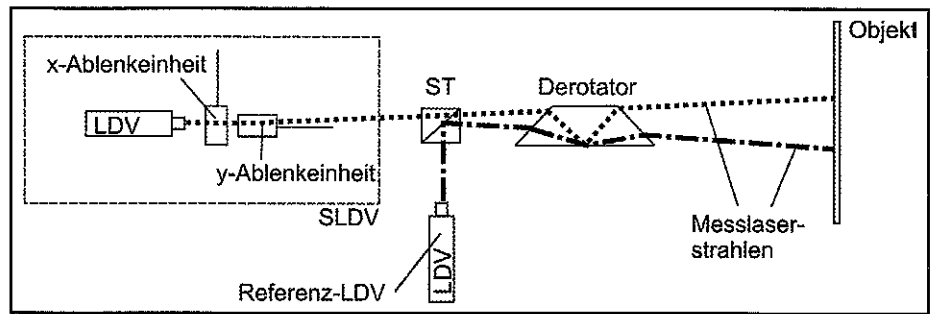


Abb. 3: Schematische Darstellung der Kombination von LDV und Derotator

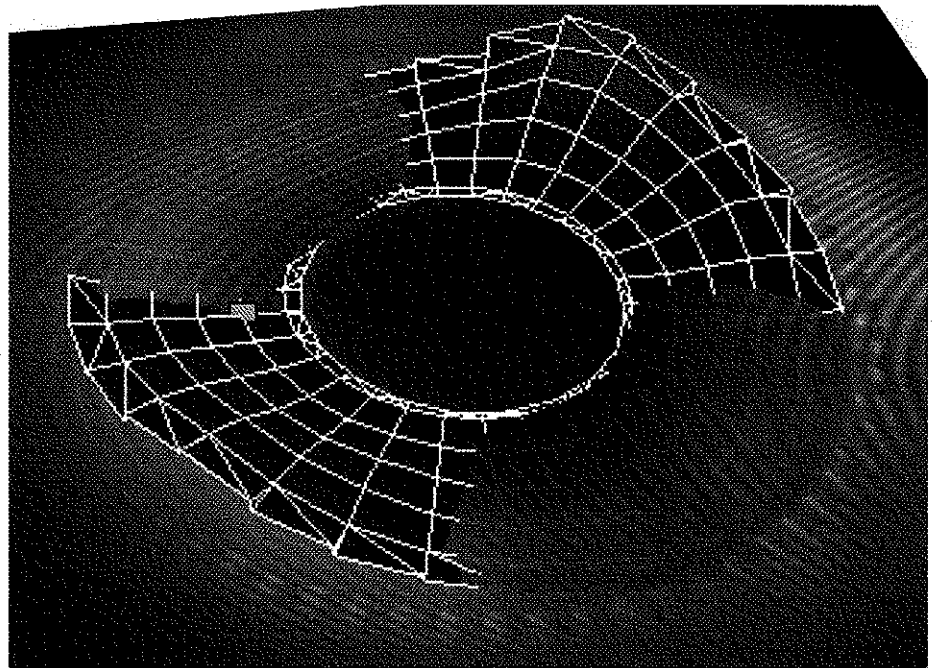


Abb. 4: Schwingungsmoden einer Trennschleifscheibe, mit dem IMR-Derotator gemessen

hertzbereich durchgeführt werden. Bei rotierenden Objekten kann der Laserstrahl ab einer bestimmten Rotationsgeschwindigkeit nicht mehr mit dem Objekt mitgeführt werden, so dass das Objekt unter dem Laserstrahl wegrotiert. Durch die Kombination aus LDV und Derotator kann der Laserstrahl mit dem rotierenden Objekt mitgeführt und Schwingungsmessungen bis zu einer Objektdrehzahl von  $n = 10.000$  U/min durchgeführt werden. Der Laserstrahl wird durch das Dove-Prisma gelenkt (Abb. 3) und somit in Rotation versetzt. Wie in Abbildung 3 dargestellt ist, muss zur Rekonstruktion der Schwingungsmoden zusätzlich ein Referenz-LDV verwendet werden, das den Phasenbezug der gemessenen Schwingungen an den diskreten Messpunkten liefert. Auf diese Weise werden z.B. Schwingungsanalysen an einzelnen Lamellen einer Flugzeugturbine möglich.

## Fazit

Bei rotationssymmetrischen Bauteilen, wie Bremscheiben oder Festplatten, rotieren die auftretenden Schwingungsmoden zumeist mit dem Bauteil mit. Um z.B. die Eigenfrequenzen

solcher Moden fehlerfrei bestimmen zu können, muss das Messsystem mit dem rotierenden Bauteil mitdrehen. Durch den Derotator lässt sich dies einfach realisieren, indem der Laserstrahl des LDV in Rotation versetzt wird. In Abbildung 4 ist exemplarisch eine Schwingungsmoden einer Trennschleifscheibe dargestellt, die im Rahmen eines AIF Vorhabens untersucht wurde. Die Messungen wurden mit dem Derotator des IMR und einem scannenden LDV der Firma Polytec durchgeführt.

## Autoren

Sahar Mirzaei  
Maik Rahlves  
Thomas Fahlbusch  
Eduard Reithmeier

Institut für Mess- und Regelungstechnik  
Leibniz Universität, Hannover  
Tel.: 0511/762-3235  
www.imr.uni-hannover.de