

Drehwinkel messen ohne Modifikation

„Modimo“ erschließt kontaktlose Messung an nicht-modifizierten Wellen

Die Oberfläche einer Welle ist so einzigartig wie ein Fingerabdruck. Diese Eigenschaft nutzen wir im Forschungsprojekt „Modimo“, um erstmals berührungslos und modifikationsfrei den Absolutdrehwinkel zu erfassen. So schaffen wir die Grundlage für eine neue Art der kontaktlosen Drehmomentmessung.

Das anliegende Drehmoment an Wellen zu kennen ist für viele technische Anwendungen essenziell, etwa für Generatoren in Wind- und Wasserkraftanlagen oder für Antriebe in Schiffen. Erfassen lässt sich das Drehmoment mit unterschiedlichen Sensoren entweder kontaktlos oder berührend. Verbreitet sind aktuell beispielsweise Dehnungsmessstreifen, die präzise auf die Welle aufgeklebt werden. Kontaktlose Messverfahren haben demgegenüber mehrere Vorteile – vom geringeren Verschleiß bis zum wartungsärmeren Betrieb. Entsprechende Verfahren haben wir bereits in den Projekten „IntegrAD“ und „MiniVib“ erforscht und entwickelt. Voraussetzung für die berührungsfreie Messung ist bisher allerdings eine Modifikation der Welle, etwa durch Anbauteile oder Markierungen auf der Oberfläche.

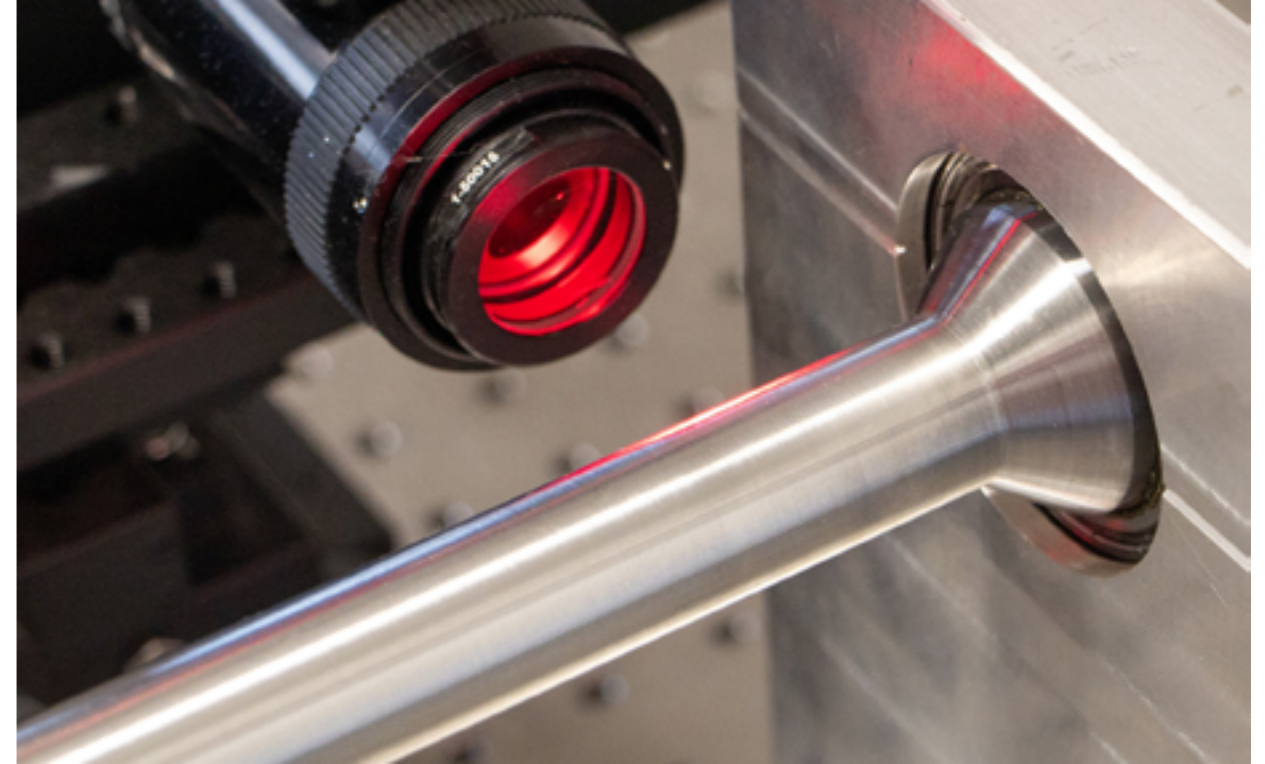
Neuartiges Messverfahren nutzt einzigartige Oberflächenstruktur der Welle

Wie sich das Drehmoment nicht nur kontaktlos, sondern auch modifikationsfrei messen lässt, haben wir erstmals im Forschungsprojekt „Modimo“ untersucht, das 2025 abgeschlossen wurde. Grundlage für die modifikationsfreie Messung ist die Oberfläche der Welle selbst. Sie weist an jeder Stelle eine einzigartige Struktur auf, die sich optisch eindeutig zuordnen lässt. Diese Struktur nutzen wir als Maßverkörperung.

Dazu messen wir die Welle zunächst einmal vollständig: Die Welle wird sehr langsam gedreht, während eine Kamera Bilder der Oberfläche aufnimmt. Aus den Einzelaufnahmen entsteht ein 360-Grad-Oberflächenpanorama (siehe Abbildung rechts), das als optische Referenz über den gesamten Umfang der Welle dient.

Um den Drehwinkel an der Messstelle möglichst genau zu bestimmen, haben wir einen präzisen Absolutwinkel-Encoder entwickelt. Hohe Genauigkeit hatte im Forschungsprojekt Priorität, denn nur aus exakt gemessenen Absolutwinkeln lässt sich später auch das Drehmoment belastbar ableiten. Im Messbetrieb muss das System auch dann zuverlässig arbeiten, wenn die aufgenommenen Bilder vom Panorama abweichen – beispielsweise weil die Welle im laufenden Betrieb verschmutzt. Deshalb haben wir drei Ansätze der Bildzuordnung untersucht und miteinander verglichen: feature-basierte, pixel-basierte und KI-basierte Verfahren.

Oberflächenpanorama: © Eike Lorenz | Foto: © Susann Reichert



Zweistufige Bildverarbeitung ermöglicht robuste, schnelle und genaue Messung

Der pixel-basierte Ansatz vergleicht den Bildausschnitt nach und nach mit jeder einzelnen Stelle der Welle und prüft, wo die höchste Übereinstimmung erzielt wird. Dieses Verfahren ist sehr genau, aber langsam. Der feature-basierte Ansatz erkennt markante Punkte im Bild und ordnet die Aufnahmen darüber zu. Das funktioniert in unseren Untersuchungen selbst bei starken Verschmutzungen der Welle. Für den KI-basierten Ansatz haben wir Bildausschnitte gezielt verändert, um Verschmutzungen zu simulieren, und damit ein Regressionsmodell trainiert. Das Training ist aufwendig, die spätere Vorhersage erfolgt dafür sehr schnell – bleibt aber zu grob für den Anwendungsfall. Deshalb haben wir ein zweistufiges Verfahren entwickelt, das eine robuste, schnelle und genaue Zuordnung ermöglicht: Zunächst bestimmen wir die ungefähre Bildlage mit einem feature- oder KI-basierten Ansatz, anschließend verfeinern wir das Ergebnis mit einer pixel-basierten Kreuzkorrelation.

Erfassen wir den Absolutwinkel an zwei Stellen in definiertem Abstand zueinander und berücksichtigen zusätzliche Geometrie- und Materialeigenschaften der Welle, lässt sich daraus das Drehmoment berechnen. Besonders interessant ist das für Antriebswellen, etwa in Schiffen – hier wäre eine modifikationsfreie, kontaktlose Messung ein echter Quantensprung. Bis zur Anwendungsreife besteht noch Forschungsbedarf, doch das Projekt „Modimo“ hat bereits gezeigt, dass unser Ansatz funktioniert.

<https://modimo.iph-hannover.de/>

Dieses vorwettbewerbliche Projekt mit dem Förderkennzeichen 23006 N wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit den Mitteln der IGF gefördert.