

## **Neue Ansätze zur hochgenauen dreidimensionalen elektrooptischen Entfernungsmessung zur Anwendung in der Schaufelspielmessung an Kraftwerksturbinen**

Dipl. Ing. Knut Siercks

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung eines Messsystems, das die Schaufelspielmessung an Kraftwerksturbinen mit einer deutlich höheren Messsicherheit und einem höheren Automatisierungsgrad gegenüber den derzeitigen Lösungen ermöglicht. Als Schaufelspiel wird hierbei der auf die Turbine bezogene axiale und radiale Abstand der Turbinenschaufelkanten zum Turbinengehäuse bezeichnet. Zur Bestimmung des Schaufelspiels ist es ausreichend die Lage der Schaufelkanten im Turbinenkoordinatensystem zu bestimmen, da nach Angaben des Turbinenherstellers SIEMENS-KWU die Toleranz der Gehäuseposition vernachlässigbar ist. Den Stand der Technik zur Schaufelspielmessung stellt die bei SIEMENS/KWU in Mülheim eingesetzte manuelle und taktile Messmethode dar. Mit dieser Messmethode nimmt das Vermessen eines Turbinenläufers ca. 4 Manntage in Anspruch. Das Schaufelspiel wird derzeit mit 1 mm in radialer Lage und 1,5 mm in axialer Lage zur Turbinenachse bestimmt. Mit dem im Rahmen dieser Arbeit neu entwickelte System konnte die Vorgabe des Turbinenherstellers erreicht werden, eine radiale Messunsicherheit von kleiner 0,3 mm und eine axiale von kleiner 0,5 mm sicher zu stellen. Die Schaufelspielmessung an einem Läufer konnte auf einen halben Arbeitstag reduziert werden. Die neu entwickelte Messmethode basiert auf drei Funktionseinheiten; der neu entwickelten motorisierten Totalstation, einer speziell entwickelten Triangulationseinheit inklusive Steuerrechner sowie einem Leitreechner und dessen Auswerte- und Steuersoftware.

Intensive Recherchen ergaben, dass derzeit keine kommerzielle Totalstation die erforderliche absolute Entfernungunsicherheit von kleiner 0,1 mm aufweist und über eine Winkelmessgenauigkeit von 2" verfügt. Dies führte zu den eingangs vorgenommenen Untersuchungen von ausgewählten Systemkomponenten. Es zeigt sich bei der Untersuchung ausgewählter optischer Detektoren, dass die Trägerlaufzeit der Detektoren nicht vernachlässigbare Abhängigkeiten von der optischen Empfangsleistung, der Frequenz des Modulationssignals, dem Empfangsort auf der Fotoempfindlichen Fläche und der Vorspannung zeigen. Die erzielten Messergebnisse des entwickelten Entfernungsmessers zeigen, dass die aufgrund der gewonnenen Detektoreigenschaften getroffenen Maßnahmen hinreichend sind. Zur Minimierung der ortsabhängigen Signalübertragungseigenschaften der Fotodetektoren wird eine Lösung mittels Streuscheibe gewählt, die eine homogene Ausleuchtung des Detektors bewirkt. Die optische Empfangsleistung wird mittels eines variablen Dämpfungsglieds konstant gehalten. Die Abhängigkeiten von der Modulationsfrequenz werden durch Kalibrierung über eine interne Referenzstrecke eliminiert. Der theoretische Vergleich zweier entwickelter Empfangsoptiken zeigt, dass der optische Wegunterschied über den Querschnitt des Strahlengangs zu einem nicht vernachlässigbaren Laufzeitfehler führen kann und dass für eine der Messgenauigkeit angepasste Minimierung der mittleren optischer Wegdifferenz ein angepasstes optisches Design erforderlich ist. Die hier vorgestellte Empfangsoptik stellt eine einfache Lösung mittels Standardlinsen dar, die unter Vernachlässigung von Reflexionen die gesamte in die Empfangsoptik einfallende optische Signalleistung mit vernachlässigbarer mittlerer optische Wegdifferenz auf den Detektor leitet. Betrachtungen zum Einfluss der Eigenschaften der Messstrecke zeigen anhand von Praxisrelevanten Fallbeispielen, inwieweit diese die erzielbare Messsicherheit begrenzen kann.

Abschließend kann festgestellt werden, dass aufgrund der vorgenommenen Untersuchungen und der damit erzielten eindimensionalen Messunsicherheit der Totalstation von kleiner 0,1 mm, sowie der einfachen Handhabung des Gesamtsystems, erstmals eine halbautomatische Qualitätskontrolle des Schaufelspiels an Kraftwerksturbinen realisiert werden konnte.