

Entwicklung eines Messsystems zur Untersuchung von Salzablagerungen in Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) mittels Digitaler-Speckle-Korrelation

Thole Horstmann, Heiko Hinrichs, Uta Kühne

Institut für Windenergie fk-wind, Hochschule Bremerhaven

mailto: thole.horstmann@studenten.hs-bremerhaven.de

OWEA sind rauen klimatischen Bedingungen ausgesetzt. Insbesondere salzhaltige Luft kann in das Innere der Anlagen gelangen und dort Schäden verursachen. Dieses System misst Salzablagerungen an Bauteiloberflächen mittels Digitaler-Speckle-Korrelation um Windparkbetreiber auf defekte oder unzureichende Filtersysteme aufmerksam zu machen.

1 Einleitung

Klimatologische Umweltparameter, wie Feuchte, Temperatur und Aerosole haben einen nachhaltigen Einfluss auf die Korrosion von Bauteilen in OWEA. Insbesondere salzhaltige Luft kann über das Filtersystem der Anlage in das Innere gelangen und dort durch Ablagerung und hervorgerufene Korrosion Schäden verursachen. Die messtechnische Erfassung und Auswertung dieser Bedingungen stellt daher einen wichtigen Schritt zur Ermittlung der Lebensdauer und Funktion der Bauteile dar. Dieses kostengünstige System misst Salzablagerungen an Bauteiloberflächen mittels Digitaler-Speckle-Korrelation. Die Ergebnisse werden für die Auslegung von Offshore-Luftfiltersystemen benötigt und können Windparkbetreiber auf defekte oder unzureichende Filtersysteme aufmerksam machen.

2 Prinzip der Digitalen-Speckle-Korrelation

Speckle entstehen, wenn kohärentes Licht an rauen Oberflächen gestreut wird. Eine Änderung der Oberfläche, z.B. durch einen Materialeintrag, resultiert in einer Änderung des Specklemusters auf dem Detektionssystem. Die Kreuzkorrelation liefert folgenden Koeffizienten:

$$r = \frac{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})(B_{mn} - \bar{B})}{\sqrt{\left(\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})^2\right) \left(\sum_m \sum_n (B_{mn} - \bar{B})^2\right)}} \quad (1)$$

Der Zähler beschreibt hier die Kreuzkorrelation zwischen den Intensitätsverteilungen der ersten (A) und zweiten (B) Aufnahme. Der Nenner stellt das Produkt der Autokorrelationen der Intensitätsverteilung A und B dar. \bar{A} bzw. \bar{B} sind die Mittelwerte der Intensitätsverteilungen. Je stärker die Aufnahmen der Probe dekorrelieren, desto größer ist der Salzeintrag in dem Laboraufbau.

3 Laboraufbau

Abbildung 1 zeigt schematisch den Laboraufbau. Als Lichtquelle dient ein kostengünstiger frequenzverdoppelter, diodengepumpter Festkörperlaser mit 4 mW Ausgangsleistung und 532 nm Wellenlänge (1). Mit einer Konkavlinse wird der Strahl aufgeweitet und auf die Bauteiloberfläche (2) gerichtet. Eine CCD-Kamera mit 1600 x 1200 Pixeln der Größe 4,4 x 4,4 μm^2 (3) wird verwendet, um das Specklefeld aufzunehmen. Die Auswertung der Bilder erfolgt am Rechner mittels Kreuzkorrelation (4).

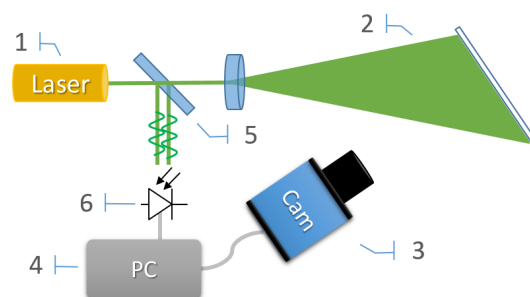


Abb. 1 Schematischer Aufbau der Oberflächenvermessung mittels Digitaler-Speckle-Korrelation. Bildfeld der Kamera: 26 x 20 mm²

Zu Beginn der Messung wird ein Referenzbild der unbelasteten Probenoberfläche aufgenommen. Darauf folgend werden aktuelle Aufnahmen bei einer mit Salz beaufschlagten Oberfläche gemacht, die jeweils mit dem Referenzbild korreliert werden. Um im Labor einen Salzniederschlag auf der Probe zu erzeugen, wird ein Ultraschallvernebler mit einer Salzwasserlösung (35 g NaCl pro Liter vollentsalztem Wasser) verwendet, dessen Aerosol auf die Probe gerichtet wird. Über die Dauer der Beaufschlagung können unterschiedlich hohe Salzeinträge erreicht werden. Das umliegende Aerosol wird abgesaugt, um einen Niederschlag auf Optiken zu vermeiden. Durch die Verwendung von vollentsalztem Wasser mit NaCl ist sichergestellt, dass in den ersten Versu-

chen nur Salz zu einer Abnahme des Korrelationskoeffizienten führen kann. Wegen der Phasenempfindlichkeit des Messverfahrens setzt der Aufbau eine konstante Ausgangswellenlänge des Lasers voraus. Diese ist bei kostengünstigen Diodenlasern nicht gegeben, da sie mit Hilfe einer eingebauten Monitordiode auf eine konstante Ausgangsleistung, nicht aber Wellenlänge optimiert sind. Aus diesem Grund ist eine Überwachung der Wellenlänge notwendig. Durch Einbau eines Interferometers (hier eine Glasscheibe, $d=1\text{ mm}$) (5) in den Strahlengang, kann die Änderung der Wellenlänge durch eine Fotodiode (6) überwacht und durch geeignete Regelung gesteuert werden. Die Stabilität der Modenstruktur kostengünstiger Diodenlaser wurde in [1] ausführlich untersucht.

4 Messergebnisse

Abbildung 2 zeigt die dreimalige Beaufschlagung der Probe mit einem Aerosol aus einer Salzwasserlösung (35 g NaCl pro Liter) von jeweils einer Minute. Die reine Probe beginnt bei einem Korrelationskoeffizienten von nahezu 1. Während der Beaufschlagung sinkt der Korrelationskoeffizient und fluktuiert aufgrund des zwischen Kameraobjektiv und Probe befindlichen Aerosols. Erst nach Abschalten des Ultraschallverneblers, Absaugen des Aerosols und anschließender Verdunstung der Feuchtigkeit auf der Probenoberfläche erreicht der Korrelationskoeffizient einen stabilen Wert, der aufgrund des anhaftenden Salzes unter dem Ausgangswert liegt.

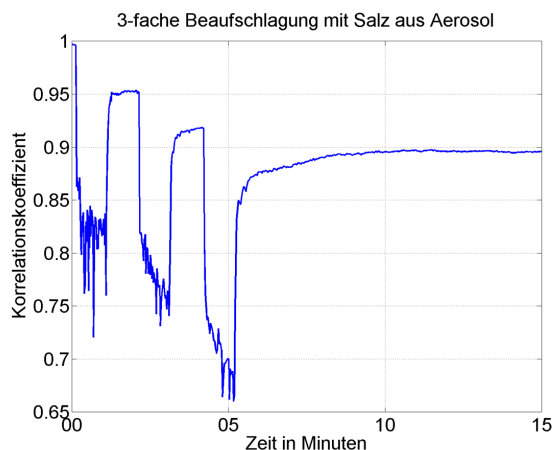


Abb. 2 Dreimalige Beaufschlagung der Probe mit einem Aerosol aus einer Salzwasserlösung

Um der Abnahme des Korrelationskoeffizienten eine physikalische Größe zuordnen zu können, wird die Probe nach der Messung des Korrelationskoeffizienten mit vollentsalztem Wasser gespült und mittels Leitwertmessgerät die Leitfähigkeit der Lösung ge-

messen. Über den Leitwert, die Spüllösung und der Probenoberfläche lässt sich der tatsächliche, auf der Probe befindliche Salzeintrag errechnen. Die Messwerte sind in Abbildung 3 dargestellt.

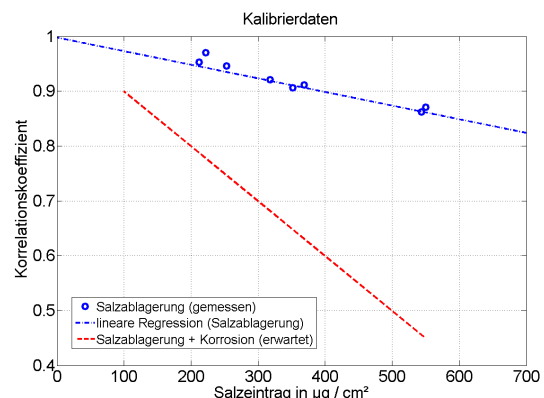


Abb. 3 Aus dem Leitwert der Spüllösung ermittelte Kalibrierdaten für Salzablagerungen, deren lineare Regression und der erwartete Verlauf für Salzablagerungen mit gleichzeitiger Korrosion

5 Zusammenfassung

Die vorgestellten Messungen zeigen, dass die Digitale-Speckle-Korrelation eine geeignete Methode zum Nachweis von oberflächlichen Salzablagerungen unterschiedlicher Stärke ist. Günstige Diodenlaser sind prinzipiell geeignet, benötigen aber eine Regelung, um die Wellenlänge zu stabilisieren. Um in der OWEA zwischen Salzablagerungen und daraus resultierender Korrosion unterscheiden zu können, ist entweder die Verwendung einer nicht-korrozierenden Referenzprobe notwendig, oder aber die Korrosion ist durch eine steilere Abnahme des Korrelationskoeffizienten erkennbar (beispielhaft in Abb. 3 dargestellt). Diese Variante setzt jedoch einen Erwartungswert bezüglich des Salzeintrags auf der Bauteiloberfläche voraus.

6 Danksagung

Diese Forschungsarbeit ist Teil des Forschungsvorhabens "UFO - Umgebungseinflüsse auf Offshore-Windenergieanlagen", gefördert vom BMWi und ein Projekt der Forschungsinitiative RAVE.

Literatur

- [1] HELMERS, Heinz ; SCHULTE, Bianca: Low-Cost Speckle-Messtechnik mit Laserpointer, CCD-Modul und Notebook, 2006 (107. Jahrestagung der DGaO), 17