



# Kontrolleure mit Belastungsgespür

Der dritte Teil unserer Serie „**WIE GEHT DAS?**“ beschäftigt sich mit Dehnungsmessstreifen. Die kleinen Sensoren kommen seit Jahrzehnten in der Bauteilüberwachung zum Einsatz – auch in Windrädern. Auf Fundamente oder Türme geklebt, **erlauben sie Rückschlüsse auf Zustand und Lebensdauer der Anlagen.**

Text: Daniel Hautmann

Dehnungsmessstreifen sind kleine Alleskönner – auch wenn der Begriff nicht spektakulär klingt. Wie der Name schon sagt, ermittelt man damit die Dehnung bestimmter Materialien, sagt Holger Huhn, Abteilungsleiter Tragstrukturen und Monitoring beim Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (Iwes) in Bremerhaven. Der Wissenschaftler ist überzeugt von den kleinen Sensoren. Und nicht nur er. Denn die Dehnung gibt umfassend Auskunft über den Zustand der Windräder. Mit ihrer Hilfe lässt sich die Last am Blattanschluss genauso beobachten wie die Kräfte im Fundament. „Man möchte wissen, wie sehr sich ein Bauteil verformt. Die Daten gleicht man dann mit dem Computermodell ab. So kann man die Lasten abschätzen“, erklärt Huhn.

Die etwa fingernagelgroßen, nur wenige Euro teuren Sensoren werden dazu direkt auf das zu messende Bauteil geklebt. So ein elektrischer Dehnungsmessstreifen sieht aus wie eine Art Wäscheständer in Miniatur. Die in Schleifen verlegte Leine ist der Messdraht, meist ein Metall oder Halbleiter. Er hängt jedoch nicht frei in der Luft wie eine Leine, sondern ist in der Regel auf einer Trägerfolie fixiert. Als Bindemittel zwischen Messsensor und Bauteil dient ein spezieller Klebstoff, der individuell, je nach Anwendung ausgewählt wird. Der festgeklebte Sensor wird mit einer Schutzschicht überzogen, die ihn vor Nässe, korrosiven Flüssigkeiten oder me-

chanischen Einflüssen schützt, nur die Enden der Drähte schauen dann noch aus der Masse heraus (siehe Grafik). Über diese Kontakte lässt sich der Sensor mit einem Signalverstärker und schließlich mit einem Messrechner verbinden, der die Daten auswertet. Teilweise fließen die Informationen auch direkt in das Condition-Monitoring-System eines Windkraftwerks ein.

## Haarfeines Messen möglich

Der elektrische Widerstand der Messdrähte verändert sich, wenn der Streifen gedehnt oder gestaucht wird. In bestimmten Grenzen ist diese Widerstandsänderung proportional zur Dehnung und kann durch eine geeignete Schaltung in eine elektrische Spannung umgewandelt werden. Liegt also eine Spannung an, so lässt sich anhand ihrer Veränderung ableiten, welche Kräfte am Bauteil wirken: Eine positive Spannungsänderung entspricht einer Dehnung beziehungsweise Verlängerung des Materials. Eine negative Spannungsänderung entspricht einer Stauchung. „Es geht immer darum, Grenzwerte zu erkennen. Das erlaubt Rückschlüsse darauf, ob etwas überstrapaziert wird“, sagt Reinhard Bertermann vom Messtechnikunternehmen HBM in Darmstadt.

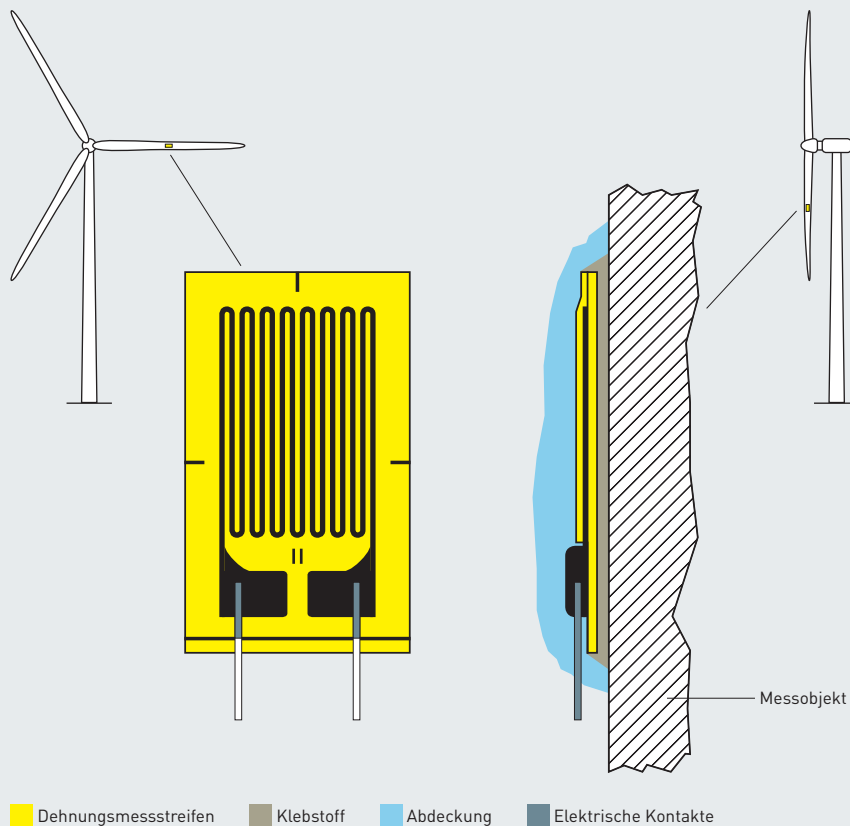
So sind die Minisensoren wertvolle Helfer bei der Suche nach Ursachen von nahenden Defekten. Über ihre Verformung können sie Kräfte, Drücke und Drehmomente ermitteln. Je nachdem, was sie

messen sollen, haben die Sensoren unterschiedliche Gestalt, manche bestehen nur aus einem Streifen, manche aus mehreren, die sternförmig angeordnet sind, und so Kraftwirkungen aus verschiedenen Richtungen registrieren können.

Dank ihrer Vielfalt eignen sich die Streifen für unterschiedlichste Einsatzzwecke: In Waagen lässt sich über ihre Dehnung auf das Gewicht des aufgelegten Gegenstands schließen, in Brücken, Bahngleisen oder eben an Windkraftanlagen auf Verformungen des Baumaterials und damit auf mögliche Ermüdungserscheinungen.

Die Sensoren registrieren minimalste Verformungen. In der Praxis wird das Messsignal, die Dehnung, gewöhnlich in Mikrometer pro Meter angegeben (ein Mikrometer ist ein Tausendstel Millimeter, also etwa so dick wie ein Haar) und entspricht der Längenänderung des Bauteils bezogen auf seine Anfangslänge. Die Messstreifen sind robust: Aus dem passenden Material aufgebaut – beispielsweise aus Konstantan, eine Legierung aus Kupfer, Nickel und Mangan, deren elektrischer Widerstand über weite Temperaturbereiche konstant bleibt –, funktionieren sie genauso verlässlich bei minus 269 Grad Celsius wie bei plus 250 Grad Celsius. Angeschweißte Sensoren messen sogar noch bei 800 Grad. Sie können in der Regel mehrere Millionen Lastwechsel überstehen, und in manchen Fällen übersteigt ihre Lebensdauer damit die des zu messenden Bauteils.

## So funktioniert die Bauteilüberwachung



Der Messdraht der Sensoren ist auf einer Folie fixiert. Mit Klebstoff wird das Plättchen dort auf dem Windrad befestigt, wo es Verformungen des Baumaterials aufzuspüren gilt. Eine wasserabweisende Abdeckung schützt den Sensor vor Nässe und Korrosion.

## Angewandte Sensorik: Das Offshore-Projekt HiPR Wind

Das EU-Offshore-Forschungsprojekt HiPRWind (High Power, High Reliability Offshore Wind Technology) untersucht den Einsatz von schwimmenden Windenergieanlagen. Eines der Ziele ist es, für zentrale technische Herausforderungen im Bereich Rotorblattdesign, Anlagenüberwachung, Antriebs- und Regelungselektronik neue Lösungen zu entwickeln. Auch hier ist die Sensorik ein wichtiges Thema. „Wir vermessen die Rotorblätter mit faseroptischen Sensoren und den Floater mit elektrischen Dehnungsmessstreifen“, sagt Holger Huhn vom Fraunhofer Iwes, das das Projekt leitet. HiPRWind hat eine Laufzeit von fünf Jahren, das Gesamtbudget beträgt 20 Millionen Euro, beteiligt sind 19 Partner, darunter Hochschulen, Wissenschaftszentren und Branchenvertreter wie ABB, Acciona, Wölfel oder das Bureau Veritas.

„Die größte Verformung findet in den Rotorblättern statt“, sagt Holger Huhn. Vor allem die Blattspitzen und die Vorderkanten seien starken Belastungen ausgesetzt. „Je weiter man in der Windkraftanlage über die Rotorblätter bis zum Fundament nach unten kommt, desto geringer wird

die Verformung“, sagt Huhn. Die Streifen können im Fundament, im Turm, in der Gondel und in den Flügeln an den Stellen platziert werden, an denen der Zustand der Bauteile kontrolliert werden soll. Allerdings ist diese Art der Überwachung in Windrädern noch nicht Standard. Zwar werden die

kleinen Messelemente mehr und mehr eingesetzt, doch „Sensorik kostet Geld“, sagt Huhn. Daher findet sie vor allem bei Belastungstests neu entwickelter Bauteile wie Blätter oder Getriebe Verwendung und an den Prototypen von Offshore-Windenergieanlagen. Beim Pionier-Windpark Alpha Ventus etwa wurden vier der zwölf Windräder zu Forschungsanlagen erkoren und komplett mit Messgeräten verkabelt. „Der Großteil der Sensoren sind Dehnungsmessstreifen“, sagt Huhn. In Zukunft könnten sie vor allem die Offshore-Gründungssegmente überwachen, um Auskunft über deren Stabilität zu geben.

In jüngster Zeit bekommen die elektrischen Messelemente Konkurrenz von faseroptischen Sensoren (Lichtfaserkabel aus der Telekommunikationsbranche). Durch Druck, Dehnung oder Biegung, verändert sich ihre Lichtleitfähigkeit und damit die Intensität und die Wellenlänge des durch die Fasern geleiteten Lichtsignals. Eigenschaften, die sich messen lassen und Rückschlüsse auf die auftretenden Kräfte erlauben. Gegenüber den elektrischen Streifen haben diese auf der so genannten Bragg-Gitter-Technologie basierenden Sensoren einige Vorteile, die beim Einsatz in Windrädern besonders zum Tragen kommen: Da die Dehnung mit Licht gemessen wird, ist kein elektrisches Signal nötig und damit keine zusätzliche Leitung. Und auch onshore können sie sich rechnen, denn für Blitzeinschläge, wie sie bei den hoch aufragenden Türmen häufig vorkommen, sind die elektrisch nicht leitenden, faseroptischen Messelemente deutlich weniger anfällig. Zudem benötigen sie keine aufwändige, zusätzliche Verkabelung, da die Faser zugleich Sensor und Signalleiter ist. Der Hauptvorteil liegt aber darin, dass faseroptische Streifen gleich bis zu zehn Messungen auf einmal ermöglichen.

Der große Nachteil: Noch sind diese Sensoren rund 30 Mal teurer als die elektrischen, sagt Holger Huhn, der mit seinem Institut selbst an faseroptischen Varianten forscht. Zudem ist die Installation der optischen Sensoren komplexer als das Verkleben bei den elektrischen. Mal eben ein faseroptisches Messsystem auf einer Baustelle nachträglich anzubringen, ist daher kaum möglich. „Die Mitarbeiter müssen entsprechend geschult sein“, sagt Huhn. ◀