

Zerstörungsfreie Untersuchungen zur Standsicherheit von Windenergieanlagen

Christoph STAUBERMANN, Christian RECKER, tBU GmbH, Greven
Jürgen TALLEN, BAUWERK CONSULTING GmbH & Co. KG, Münster

Kurzfassung. Windenergieanlagen unterliegen starken Belastungen unterschiedlichster Art. Die Auswirkungen betreffen sowohl die technische als auch die bauliche Seite. Hierzu gilt es Lösungsansätze bzw. Sanierungsmaßnahmen zu treffen. Dieses kann nur auf Grundlage einer fundierten Untersuchung der Windenergieanlage bzw. des Windenergieanlagentyps geschehen.

1. Einführung

Mit dem rasanten Wachstum der Windenergiebranche sind auch die Anforderungen an die Fundamentkonstruktion sowie an die Ausführungsgenauigkeit gewachsen. In den letzten Jahren sind bei den Windenergieanlagen der Multimegawattklasse vermehrt Fälle aufgetreten, in denen es zur Lockerung des Adapterrings, dem Fundamenteinbauteil, kommt, der den Stahlturm mit dem Betonfundament verbindet.

Durch die Vervielfachung der Kräfte, die über den T-förmigen Fußflansch des Fundamenteinbauteils in den Beton eingeleitet werden, ist die Toleranzgrenze deutlich gesunken, die Fehlstellen in der lastübertragenden Fläche verzeihen. Anhaftende Verschmutzungen, die durch falsche Lagerung vor und mangelnde Sorgfalt während der Installation des Fundamenteinbauteils entstehen, führen zu Reduzierung der lastübertragenden Fläche. Weiterhin trägt eine nicht fachgerechte Betonage im Bereich des Fußflansches zu einer weiteren Verminderung der lastübertragenden Fläche bei. Resultierend aus den verschiedenen Mängeln kann es zu einer Überbelastung des Betons ober- und unterhalb des Fußflansches kommen und sich durch die stete vertikale auf und ab Bewegung des Fundamenteinbauteils ein Mahlprozess einstellen.

In Schadenskombination mit einer Undichtigkeit der Dehnungsfuge im Übergangsbereich Beton/Stahl stellt sich ein Mahlprozess ein, der sich dadurch beschleunigt, dass die zerriebene Betonmatrix durch die hohe Dynamik des Turmbauwerks heraus gespült und frisches Regenwasser nachgeführt wird. Dieser Prozess ist durch die stetige Vergrößerung des Spalts am Fußflansch des Fundamenteinbauteils und die damit verbundene größere Dynamik ein selbstverstärkender Prozess.

Im folgenden sind typische Schäden am Übergangsbereich zwischen dem Betonfundament und dem Stahlturm sowie das Ergebnis des Mahlprozesses dargestellt.



Abb. 1: Beispiel Materialaustrag



Abb. 2: Beispiel Materialaustrag



Abb. 3: Abplatzungen des Betons



Abb. 4: Bruch des Betonfundamentes

2. Messkonzept / Untersuchungen

Für die genaue Bestimmung der Bewegungsintensität und die Größe der Bewegung zwischen Betonfundament und Fundamenteinbauteil wurde ein für alle Windenergieanlagentypen passendes Messkonzept entwickelt. Dieses Messkonzept beruht auf der Kombination von zwei verschiedenen Messaufnahmertypen, um das Bewegungsverhalten zwischen Betonfundament und Stahlurm zu erfassen. Es werden für die Bewegung zwischen Betonfundament und Fundamenteinbauteil Wegaufnehmern und für die Bestimmung der Stahldehnung Dehnungsmessstreifen (DMS) am Stahlurm eingesetzt. Dieses ist notwendig, um die tatsächliche Bewegung zwischen Betonfundament und Fundamenteinbauteil von der Stahldehnung zu trennen. Diese tatsächliche Bewegung bedeutet im allgemeinen eine Lockerung des Fundamenteinbauteils, da sich entweder oberhalb oder unterhalb des T-förmigen Fußflansches ein Spalt gebildet hat. Dieser Spalt kann sich durch weiterandauernde Belastung vergrößern. Somit kann sich der Mahlprozess einstellen und durch Eindringen von Wasser zu schweren Problemen führen.

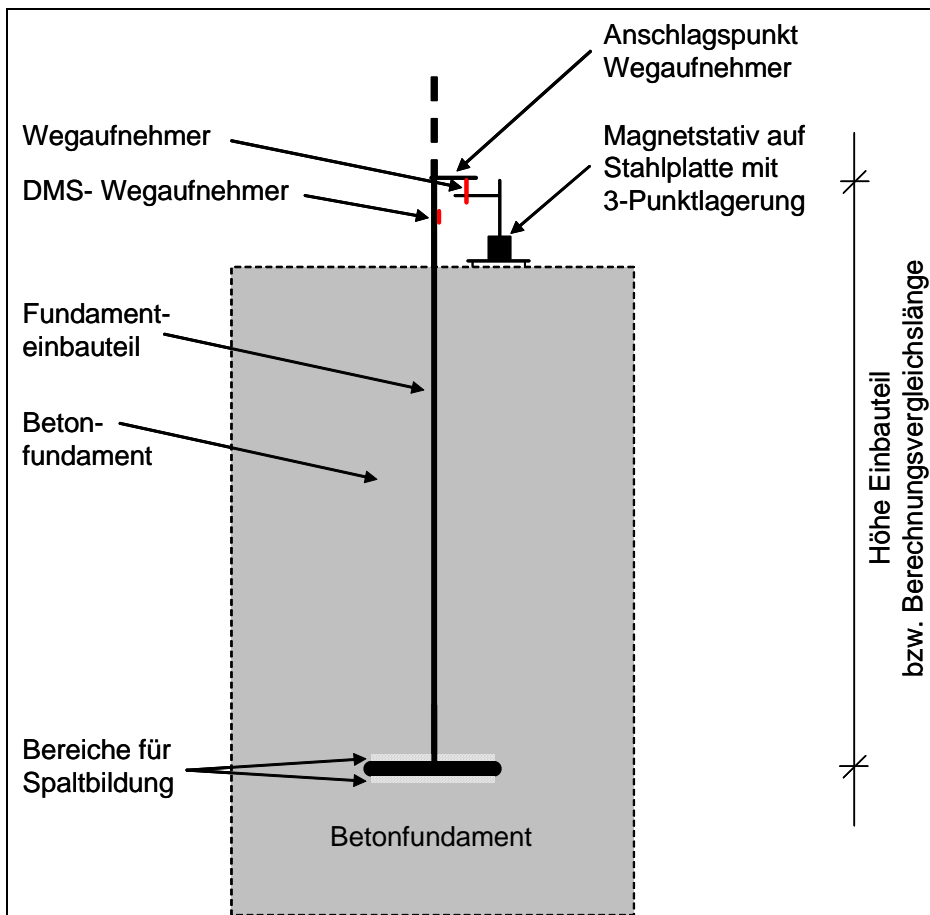


Abb. 5: Messprinzip

Es werden an der zu messenden Windenergieanlage jeweils 4 Aufnehmer jedes Typs in 2 Achsen installiert. Die Installation richtet sich nach der Hauptwindrichtung, da dort die größten Bewegungen zu erwarten sind. Die Ausrichtung der zweiten Achse beträgt 90° zur Hauptwindrichtung. Diese Achse bildet im Idealfall den Drehpunkt der gesamten Windenergieanlage zur Hauptwindrichtung und dient nur zur Kontrolle.

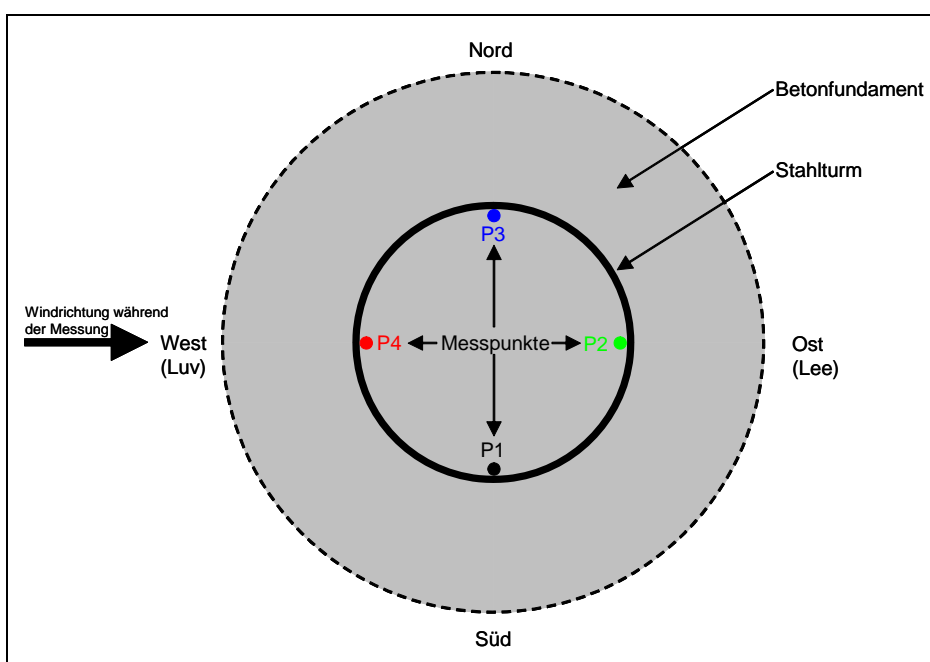


Abb. 6: Messanordnung

Tabelle A: Aufnehmerbeschreibung

Bezeichnung	Aufnehmertyp	Bewegungsrichtung	Position
Weg P1	Wegaufnehmer	vertikal	180 ° = Süd
Weg P2	Wegaufnehmer	vertikal	90 ° = Ost
Weg P3	Wegaufnehmer	vertikal	0 ° = Nord
Weg P4	Wegaufnehmer	vertikal	270 ° = West
DMS P1	Dehnungsmessstreifen	vertikal	180 ° = Süd
DMS P2	Dehnungsmessstreifen	vertikal	90 ° = Ost
DMS P3	Dehnungsmessstreifen	vertikal	0 ° = Nord
DMS P4	Dehnungsmessstreifen	vertikal	270 ° = West

Die Messpunkte können sich sowohl innerhalb als auch außerhalb der Windenergieanlage befinden. Die Wahl des Standortes der Aufnehmer unterliegt mehreren Kriterien:

- Zugänglichkeit des Übergangsbereiches innerhalb der Windenergieanlage
- Wetterbedingungen
- Wirtschaftlichkeit

Die folgenden Abbildungen zeigen verschiedenste Befestigungsvarianten für Wegaufnehmer in Kombination mit DMS- Aufnehmer, abhängig von dem Schadensfall.



Abb. 7: Aufnehmer außen



Abb. 8: Aufnehmer außen, Beton gebrochen



Abb. 9: Rissüberwachung



Abb. 10: Messung am Fundamenteinbauteil



Abb. 11: Messung am Verbindungsflansch



Abb. 12: Messung am Turm

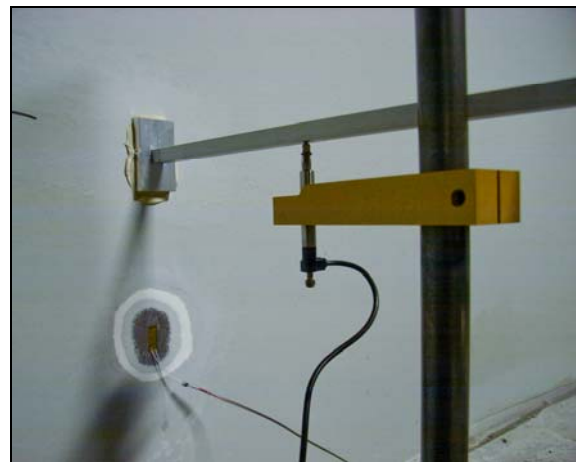


Abb. 13: Messung mit Anschlagpunkt

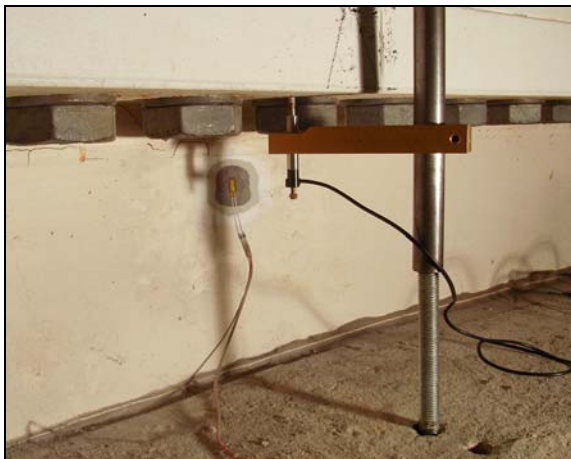


Abb. 14: Messung über Hohllage



Abb. 15: Messung der Verdrehung

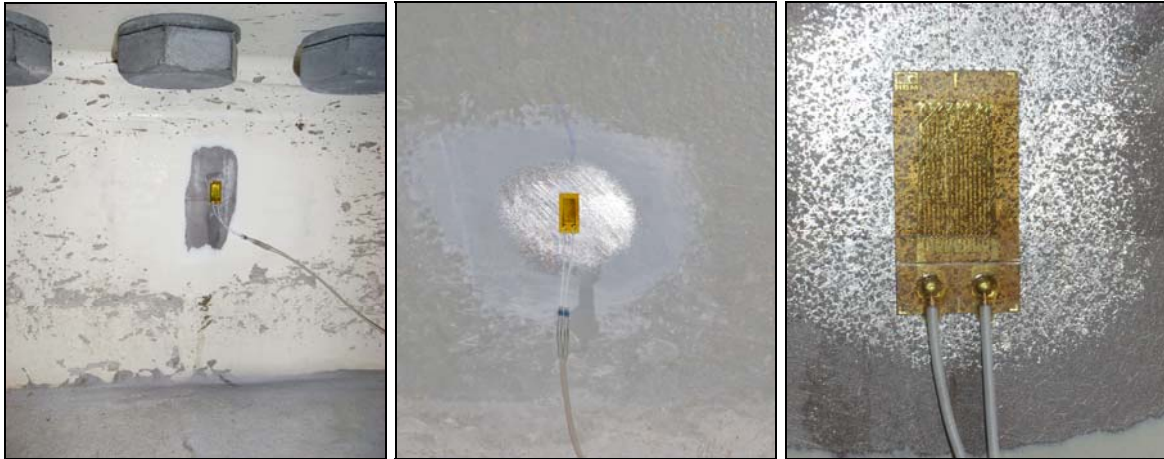


Abb. 16-18: Dehnungsmessstreifen am Stahlturm / Fundamenteinbauteil (DMS)

Die Messung erfolgen bei Windstärken von ca. 10 m/s und umfassen folgende Betriebszustände der Windenergieanlage:

- Hochfahren
- Normalbetrieb
- Notausschaltung.

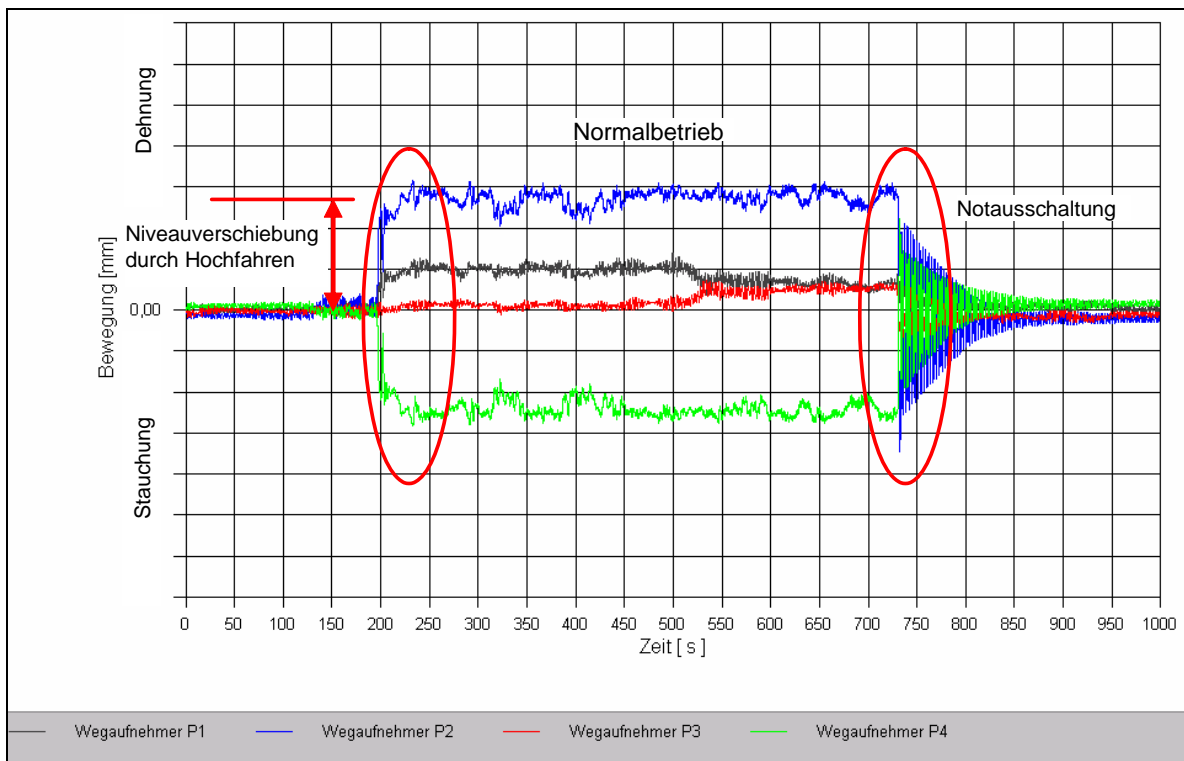


Abb. 19: Messablauf mit Betriebszuständen

Das Hauptereignis ist die Notausschaltung, da dort die größten Bewegung durch den sofortigen Stopp der Windenergieanlage entstehen.

Zusätzlich können auch Signale aus der Windenergieanlage (Windgeschwindigkeit, Azimutwinkel, Drehzahlen) mit in das Messkonzept eingebunden werden. Dieses ermöglicht einen sekundengenauen Vergleich der Messwerte mit den äußeren Bedingungen bzw. Belastungen.

3. Auswertung

Aus den gewonnenen Messdatensätzen können maximale Bewegungen und Stahlspannungen bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten und Betriebszuständen, die Eigenfrequenz des Turmes, sowie die Häufigkeitsverteilung der Schwingungen bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten ermittelt werden.

Im folgenden sind beispielhaft Ergebnisse von 2 Messungen grafisch dargestellt.

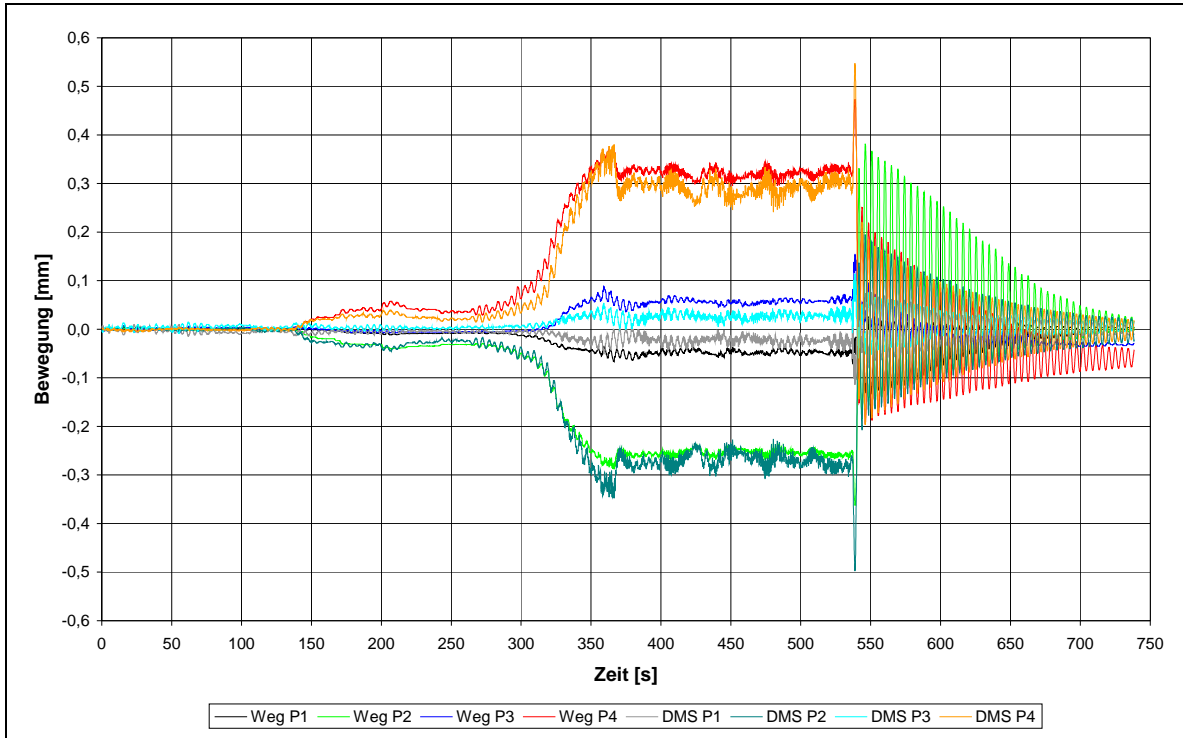


Abb. 20: Messergebnis "festes" Fundamenteinbauteil

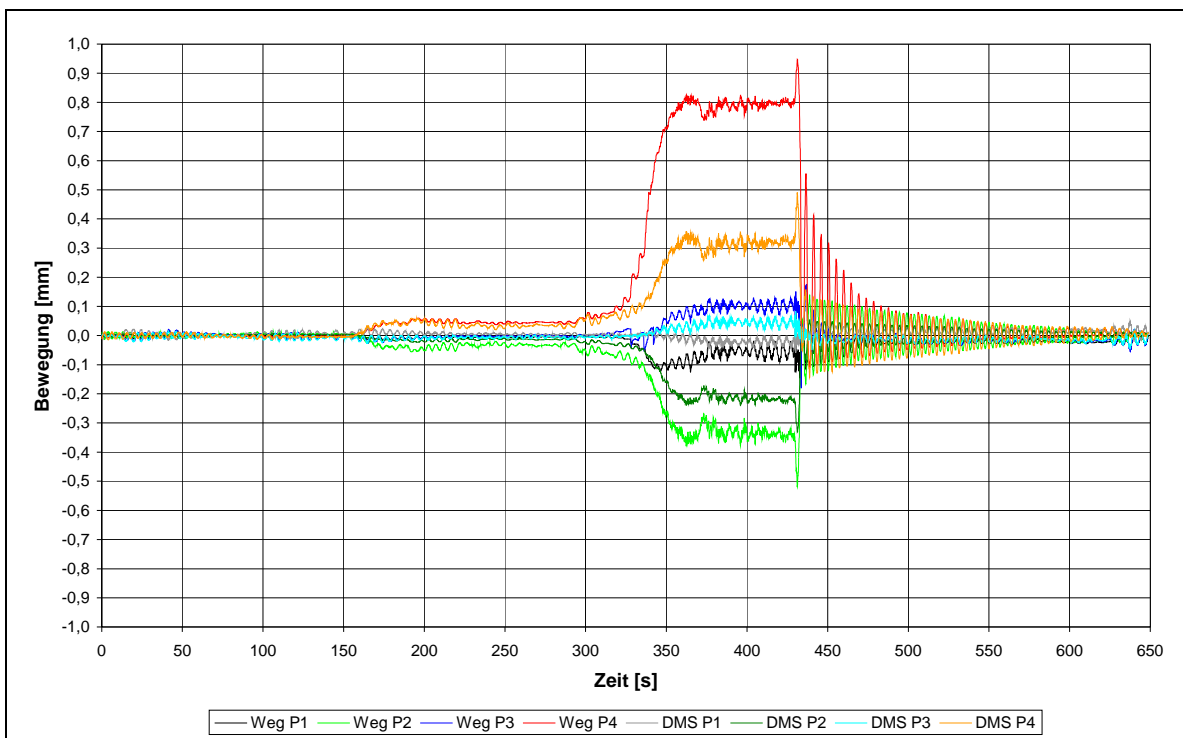


Abb. 21: Messergebnis "lockeres" Fundamenteinbauteil

Die beiden Diagramme zeigen einen typischen Messablauf mit den beschriebenen Betriebszuständen. In der Abbildung 21 zeigt sich, dass die Kurven der Wegaufnehmer nicht nahezu deckungsgleich mit den Kurven der DMS- Aufnehmer sind.

4. Zusammenfassung

Der Vergleich der Ergebnisse der Weg- und DMS- Aufnehmer zeigt, ob ein Spalt zwischen Betonfundament und Einbauteil vorhanden ist. Die Größe des Spalts wird durch die Differenz der beiden Aufnehmertypen ermittelt. Die Auswertung der Daten einer solchen Messung bilden eine gesicherte Grundlage für ein eventuell notwendiges Sanierungskonzept aufgrund eines "lockeren" Fundamenteinbauteils. Das Sanierungskonzept gründet sich auf weiteren Untersuchungen wie z.B. Betonuntersuchungen, Rissbildverhalten. Somit ergibt sich unter Berücksichtigung von herstellerabhängigen Toleranzen eine Aussage zur Standsicherheit der Windenergieanlage. Eine Auswertung mehrerer Messungen an Windenergieanlagen gleichen Typs erlaubt eine Bewertung von technischen Daten von Beschichtungs- und Abdichtungssystemen.

Kontakt



Institut für textile Bau- und Umwelttechnik GmbH
Arbeitsbereich Bauerhaltung
Gutenbergstrasse 29
48268 Greven
Tel.: 02571 / 9872 0
Fax: 02571 / 9872 99
Internet: www.tbu-gmbh.de
Mail: tbu@tbu-gmbh.de



BAUWERK CONSULTING GmbH & Co. KG
Beratende Ingenieure und Sachverständige für Betontechnologie und Bauerhaltung
Schöppingenweg 90
48149 Münster
Tel.: 0251 / 135 6372
Fax.: 0251 / 135 6731
Internet: www.bauwerk-consulting.de
Mail: mail@bauwerk-consulting.de