

Vermeidbares Versagen



Sanierung eines Sockelfundaments mit hochelastischer Polyurethan-Abdichtung

FOTOS(3): KTW

Schäden an Turm und Fundament sind deswegen besonders ernst zu nehmen, weil sie die Standsicherheit einer Windenergieanlage gefährden. Die meisten Probleme lassen sich aber verhindern, wenn bei der Errichtung der Anlage ordentlich gearbeitet wird.

Ein Getriebschaden ist nach wie vor der Albtraum eines jeden Betreibers einer Windenergieanlage. Die Reparatur ist teuer und die Stillstandszeit der Anlage lang. Zum Glück konnte die Branche die Zahl der Getriebschäden in den zurückliegenden Jahren deutlich reduzieren. Häufiger kaputt, dafür schneller und günstiger repariert, sind heute Baugruppen wie die Elektronik, die Sensorik oder die Hydraulik einer Anlage. Irgendwo dazwischen liegen Türme und Fundamente: Auch sie weisen eher selten Defekte auf. Doch wenn, dann sind diese wegen der direkten Auswirkungen auf die Standfestigkeit der gesamten Anlage ernst zu nehmen.

Die drei häufigsten Mängel an Türmen und Fundamenten sieht Klaus Deininger, Geschäftsführer der KTW Umweltschutztechnik GmbH, in einer schadhafte Entkopplung von Turm und Fundament, in der Rissbildung im Beton und in einem gelockerten Fundamenteinbauteil. Um sicher zu gehen, dass letzteres wirklich fest sitzt, muss die Relativbewegung zwischen der Betonoberfläche und dem Fundamenteinbauteil der Anlage gemessen werden. Um aussagekräftige Werte zu bekommen, sollte dies bei hohem Lasteintrag geschehen – also zum Beispiel während eines drehzahlbedingten Notstopps der Anlage. Liegt die Relativbewegung unter 0,5 mm, ist keine akute



Beseitigung eines Korrosionsschadens am Stoß der Turmsegmente

Instandsetzung des Einspannzustands nötig. Bei einer Relativbewegung zwischen 0,5 und 1,0 mm sollte ein regelmäßiges Monitoring implementiert werden. Zudem sollte der Hersteller, ein Ingenieurbüro oder ein Sachverständiger den spezifischen Fall bewerten und die richtigen Maßnahmen ableiten. Spätestens wenn die Relativbewegung 1,5 mm überschreitet, muss umgehend ein Instandhaltungskonzept erstellt und kurzfristig umgesetzt werden. Als Ampelsystem sind diese Werte in der Technischen Richtlinie Teil 7, Betrieb und Instandhaltung von Kraftwerken für Erneuerbare Energien der Förderungsgesellschaft Windenergie (FGW) niedergeschrieben.

Soweit die Theorie. »4 bis 6 mm Schlupf messen wir durchaus oft«, erzählt Deininger aus der Praxis. Der Extremfall, von dem er berichten kann, waren aber sage und schreibe 16 mm Spiel. In diesem konkreten Fall hat die Behörde die Anlage sofort stillgelegt. Denn sobald lastabtragende Bereiche des Bauwerks Bestandteil einer Sanierung sind oder durch eine Sanierung beeinflusst werden, muss der Betreiber einen statischen Nachweis der Standsicherheit und der Lebensdauer (Ermüdungsnachweis) führen und mit der verantwortlichen Genehmigungsbehörde abstimmen. Im Allgemeinen wird die Standsicherheit dann durch einen staatlich anerkannten Sachverständigen geprüft.

Hat sich das Einbauteil gelockert, was oft ein hörbares Klappern verursacht, gilt es, die Ursache zu erforschen. Oft liegt es an Fehlern, die bereits während des Betonierens gemacht wurden. Meist haben die Arbeiter nachlässig gearbeitet und den Beton unzureichend verdichtet. Durch die Hohlräume beginnt der Beton nach ein paar Jahren im Inneren zu bröckeln. Anfangs kleine Hohlräume werden zu Löchern, diese immer größer und mit ihnen das unerwünschte Spiel zwischen den Bauteilen.

Dann muss aufwändig saniert werden. Über Bohrungen würde Deininger in so einem Fall Kunstharz injizieren. In den letzten zehn Jahren hat sein Unternehmen rund 500 Windenergieanlagen auf diese Art und Weise

Checkliste Bauausführung

- Planum kontrollieren
- Passende Betonrezeptur auswählen (DBV-Merkblatt »Massige Betonbauteile«)
- Abgleich zwischen dem Tragwerksplaner und den Bauausführenden hinsichtlich des Betonierkonzeptes, der Materialauswahl etc.
- Führen eines Bautagebuchs
- Überprüfen der Schalung vor Beginn der Betonierarbeiten
- Abnahme der Bewehrung durch den Prüfeningenieur und/oder Tragwerksplaner
- Überprüfen der Funktionsfähigkeit der eingesetzten Entkopplung vor Beginn der Betonierarbeiten
- Einhalten und Überprüfen der Pflichtabstände zwischen einzelnen Leerrohren (DIN 1045-3) während des Betoneinbringens
- Überprüfen der Betonkonformität (DIN 1045-3 bzw. DIN EN 13670:2011-03) während der Betonierarbeiten
- Ergreifen und Überprüfen von geeigneten Nachbehandlungsmaßnahmen
- Kontrolle der durchgeführten Betonprüfungen und der Nachbehandlungsmaßnahmen

Quelle: BWE-Ratgeber Fundamente

instandgesetzt. Das Verfahren ist mit zehn- bis zwölf-tausend Euro pro Anlage zwar nicht gerade günstig, verspricht aber gute Ergebnisse. Selbst die Anlage mit den 16 mm Schlupf konnte die KTW Umweltschutztechnik so instandsetzen, dass sie wieder den Betrieb aufnehmen konnte und durfte. Neben Polyurethanharzen werden für die Injektage auch Zementsuspension und Epoxidharze verwendet.

Hochelastische Beschichtungen bieten dauerhaften Schutz

Ein weiterer Grund für ein lockeres Fundamenteinbauteil kann eine fehlerhafte Entkopplung von Stahl und Beton sein. Zur Entkopplung werden im Zuge der Errichtung Weichschichten innen und außen am Fundamenteinbauteil angebracht. Sie sorgen dafür, dass sich die Bewegungen des Turms nicht auf das Fundament übertragen und dort zur Rissbildung führen. Nach oben abgedichtet wird die Entkopplung durch eine Hohlkehle zwischen Stahl und Beton.

Wurde die Entkopplung mangelhaft ausgeführt oder erlitt sie im Laufe der Zeit Beschädigungen, steht der Turm nicht mehr fest. Im Rahmen der Sanierung muss die Fuge inklusive der Hohlkehle erneuert werden. Gegebenenfalls muss auch der Beton partiell wieder instandgesetzt werden.

Um neuerliche Schäden zu verhindern, kann zudem eine Abdichtung aufgetragen werden, zum Beispiel eine hochelastische Beschichtung, für die diverse Hersteller unterschiedliche Produkte entwickelt haben. Beim Auftragen muss vor allem auf die Restfeuchte des

Betons geachtet werden. In der Regel sollte die nicht höher als rund 5 % sein, was im Sommer ohne Probleme zu erreichen sein sollte. Für die kälteren – und nasser – Jahreszeiten gibt es spezielle Lösungen, die auch auf feuchten Untergrund appliziert werden können. Waren solche hochelastischen Beschichtungen vor einigen Jahren nicht wirklich ein Thema in der Branche, sind sie zumindest in der Instandhaltung heute durchaus gängige Praxis. Innerhalb der Branche ist das Bewusstsein für die Vorteile so einer Abdichtung im Laufe der letzten Jahre deutlich gestiegen. Manche Hersteller bieten solche Beschichtungen inzwischen auch serienmäßig schon bei der Errichtung der Anlage an. Doch am Ende ist das eine Kostenfrage. Denn eine 1 m breite Abdichtung rund um den Turmfuß kostet rund 1.500 bis 2.000 €, sagt Deininger.

Dafür sind diese Abdichtungen dann wahre Wunderkinder. Mit ihnen können nämlich auch Risse im Fundament repariert werden. Über die Risse, die in gewissem Maße bei der Betonierung kaum zu verhindern sind, kann Wasser in das Fundament eindringen. Arbeitet sich dieses bis zum Fundamenteinbauteil oder zur Bewehrung des Fundaments vor, drohen Rostbildung und der Verlust der Tragfähigkeit. Eine elastische Abdichtung verschließt nicht nur den Riss, sondern macht auch die Bewegungen der Bauteile mit.

Allerdings ist nicht jeder Riss bedenklich. Risse im Bereich der zulässigen Rissbreite nach DIN EN 1992-1-1, DIN 1045-1 beziehungsweise der DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen sind unkritisch. Für den Turm sowie für Gründungsbauteile bis zu 50 cm unterhalb der Geländeoberkante liegt diese zulässige Rissbreite in der Regel bei 0,2 mm. Bei tiefer liegenden Gründungs-

Ein Sanierungsbeispiel



Schaden: Betonabplatzung



Entfernung loser Betonteile: Betonfläche strahlen/schleifen und korrodierte Stähle entrostet



Grundierung als Haftgrund für die später aufzubringende Abdichtung

bauteilen liegt sie bei 0,3 mm. Sind die Risse größer, müssen sie durch einen Sachverständigen begutachtet werden.

Thermische Nachbehandlung beugt Rissbildung vor

Risse entstehen meist, wie auch die oben erwähnten Hohlräume, durch Fehler oder nachlässiges Arbeiten beim Betonieren. Um sie zu verhindern, sollte man auch der Nachbehandlung des Betons besondere Aufmerksamkeit schenken – insbesondere der thermischen Nachbehandlung. Denn die Fundamente von Windenergieanlagen sind massige Bauteile aus Beton, die bei der Erhärtung Wärme abgeben. Bei zu großen Temperaturunterschieden während der Erhärtung sind Risse vorprogrammiert.

Ein Exkurs in die Zementherstellung: Aus einem Rohstoffgemisch natürlicher Mineralkomponenten (CaO, SiO, AlO, FeO) wird beim Brennen im Rahmen der Zementherstellung (1.000 bis 1.450°C) ein Zementklinker, der hydraulische Eigenschaften aufweist. Für Betonierarbeiten wird dem Zementklinker Wasser zugegeben, was die Hydratation startet und den Zementklinker in Hydratphasen umwandelt. Diese C-S-H-Phasen sind durch eine kristalline Vernetzung und chemische Bindungen für die Festigkeitsentwicklung des Betons verantwortlich. Die Hydratation ist ein stark exothermer Vorgang – es wird Wärme freigesetzt und zwar nicht zu wenig.

Während es nach der Erhärtung des Betons im Bauwerk Temperaturunterschiede von nur wenigen Grad gibt, sieht das während der Erhärtung anders aus. Da

kann es schon mal zu Temperaturunterschieden von 40 °C zwischen der Oberfläche und dem Fundamentkern kommen. Durch eine thermische Nachbehandlung lässt sich diese Temperaturdifferenz deutlich reduzieren. Das Ziel ist es, 15 bis 20°C Temperaturdifferenz nicht zu überschreiten. So können Eigenspannungen und damit Rissbildung verhindert werden. Für die thermische Nachbehandlung wird das frische gegossene Fundament mit Wärmedämmmatten abgedeckt.

Neben der thermischen Nachbehandlung sollte zudem dem Verdunstungsschutz Aufmerksamkeit geschenkt werden. Grundsätzlich muss die Verdunstungsrate von Wasser an der Betonoberfläche gering bleiben, weswegen für Windenergiefundamente in der Regel Betone mit langsamer Festigkeitsentwicklung eingesetzt werden. Um die Verdunstungsrate weiter zu reduzieren, kann das Fundament mit Folien abgedeckt werden. Die Nachbehandlung sollte so lange aufrecht erhalten bleiben, bis der oberflächennahe Beton 50 % der charakteristischen Festigkeit des verwendeten Betons erreicht hat. Als grobe Orientierung kann man 14 Tage nennen.

Die Holcim (Deutschland) GmbH möchte solch aufwändige Schritte bei der Errichtung überflüssig machen. Sie hat ein Fundament aus Betonfertigteilen entwickelt und will damit im Grunde den gleichen Weg gehen, den die Betonurbauer gegangen sind. Das innovative Fertigfundament besteht aus einzelnen Betonbauteilen, die im Werk produziert werden und auf der Baustelle nur zusammengesetzt werden müssen. Durch die Herstellung des Betons in der Halle will Holcim eine rissfreie Qualität garantieren und die Kosten reduzieren. Laut Arne Stecher, Leiter der Geschäftsentwicklung des Unternehmens, steht die Technik zu 90 % und auch die Zertifizierung laufe bereits. Man darf gespannt sein.

Katharina Garus



Entkopplung: Einbau von Weichschichten zur baulichen Trennung von Stahlkörper und Beton



Vliesarmierte Abdichtung des Turmanschlusses und der Betonfläche als rissüberbrückende Komponente



Versiegelung des Abdichtungsmaterials