

# Guter Stand gelingt nur auf festem Grund

Fehlende Schubbewehrung – ein planerischer Fauxpas? Probleme sind programmiert. Fotos (7): Bosse

## Schäden an Fundamenten von Windenergieanlagen treten vermehrt auf

Angesichts vermehrt auftretender Schäden an Fundamenten von Windenergieanlagen wird deutlich, dass das Fundament von den verantwortlichen Planern nicht immer mit der gebührenden Aufmerksamkeit als Bestandteil des Gesamtbauwerks beachtet wurde. Das Fundament steht in der Planung als Bindeglied zwischen der Energie generierenden Turbine in der Höhe und dem alle Lasten aufnehmenden Baugrund doch zu oft hinten. Ökonomische Optimierungen und technische Variationen haben in dieser Art Preispolitik wenig Platz, so dass es leider auch schon zu Fundament-Dinosauriern mit 3000 t Betonieraufwand für eine 2-MW-Anlage kam, verbunden mit Kosten, die letztendlich vom Betreiber zu zahlen sind. Während einige Schadensbilder auf mangelhafte Ausführungen im Baubetrieb hinweisen, muss bei einigen Schäden auch vermutet werden, dass Mängel schon von vornherein in der konstruktiven Planung – unabsichtlich – eingebaut wurden.

Es ist verständlich, dass Schäden gern auf die in der Verantwortungskette am Ende Stehenden abgewälzt werden sollen. Das macht eine gutachterliche Schadensfeststellung notwendig. Wir unterscheiden Freie Gutachter,

Tragwerksplaner und Betontechnologen sowie öffentlich bestellte und vereidigte Gutachter. Für ein gerichtsfestes Beweissicherungsverfahren erfolgt die Benennung durch das Gericht.

### Die Untersuchungsmethoden

Die unmittelbare Schadensfeststellung erfolgt durch Beobachtungen, Messungen und Spezialuntersuchungen wie:

- Inaugenscheinnahme, Fotografie, Rissbildkartierung
- Messungen von Dehnungen und Bewegungen
- Kernbohrungen
- Endoskopie und Video-Befahrung
- Ultraschall und Thermographie
- Betonfestigkeitsprüfung und betonchemische Untersuchungen

Die unmittelbare Schadensfeststellung wird begleitet von einer Durchsicht der in der Planung und Bauausführung angewandten und erstellten Dokumente, Zeichnungen und Protokolle.

### Mangel – Schaden – Gewährleistung

Wir unterscheiden offen erkennbare, versteckte und verschwiegene Mängel. Ein Schaden ist definiert als die Verschlechterung des Zustandes durch ein unvorhergesehenes Ereignis, eine allgemeine Abnutzung, Ermüdung oder Umweltbelastung oder eine mangelhafte Bauweise oder Bauausführung. Kann ein Schaden auf einen Mangel zurückgeführt werden, spricht man von einem Mangelfolgeschaden. Kann ein Schaden auf ein vorsätzliches oder fahrlässiges Verschulden zurückgeführt werden, besteht ein Anspruch auf Schadensersatz, geregelt nach § 280 I BGB „Schadensersatz wegen Pflichtverletzung, Haftung für vermutetes Verschulden“. Durch die Neuregelung des Schuldrechtes im Jahr 2002 ist die schwierige Abgrenzung der Anspruchsfrage zwischen „näheren“ und „entfernten“ Mangelfolgeschäden verschwunden, jedoch ist die Frage der Verjährung weiterhin rechtlich zu klären.

### Die Gewährleistung

Die Gewährleistungsfrist von Handwerkern und Bauunternehmern kann bei der Vertragsgestaltung nach dem Bürgerlichen Gesetzbuch (BGB Werkvertragsrecht § 631 ff.)

oder der Verdingungsordnung für Bauleistungen (VOB Teil B) geregelt werden. Nach dem BGB beträgt die Gewährleistungsfrist fünf Jahre, nach VOB nur vier Jahre (VOB/B 2002), wenn nichts anderes vereinbart ist, mindestens aber zwei Jahre (VOB/B 2000). Bei Planungsleistungen besteht generell eine Gewährleistungsfrist von fünf Jahren. Davon abweichende Fristen bedürfen einer zusätzlichen vertraglichen Vereinbarung.

Liegt ein so genannter „entfernter Mangelfolgeschaden“ vor, verlängert sich die Haftungsdauer des Planers auf 30 Jahre, wenn eine „positive Forderungs- oder Vertragsverletzung“ nachgewiesen werden kann. Die Abgrenzung zwischen „nahen“ und „entfernten“ Mangelfolgeschäden wird daher besonders wichtig, wenn Schäden erst einige Jahre nach der Abnahme erkannt werden und die kurzen Verjährungsfristen aus dem Werkvertragsrecht abgelaufen

sind. Unter Mangelfolgeschäden fallen dann auch Schäden durch Nutzungsausfall, entgangenen Gewinn und die Gutachterkosten.

Wenn der Gewährleistungsfall eintritt, wird die Gewährleistungsfrist bis zur Behebung des Mangels unterbrochen. Eine anwaltliche Rechtsberatung sollte für den gesicherten Nachweis unbedingt hinzugezogen werden.

## Bauprinzipien von WEA-Fundamenten

Ein WEA-Fundament trägt eine sich dauerhaft bewegende Turbine und ist damit ein Maschinenfundament, gekennzeichnet durch einen hoch dynamischen Lasteintrag und komplexe Struktur- und Materialeigenschaften. Der Kraftangriff durch den Wind erfolgt in Nabenhöhe, erzeugt damit ein Moment am Turmfuß. Die Lebensdauer einer WEA wird



Eine schlecht ausgebildete Betonierfuge. Sie ist nicht nur unschön, sondern möglicherweise auch eine Zeitbombe.



Die Natur hilft sich selbst: Unnützes wird, wie hier zu sehen, abgestoßen.



Umlaufende Rissbildung im WEA-Keller – mit Kalk-Blumen.

für eine Ermüdungsbelastung über 20 Jahre angenommen, das sind Schwingungen des Bauwerks mit einer Anzahl von  $10^9$  Lastwechseln (in Worten: eine Milliarde) das ist ca. 1,5 mal pro Sekunde.

Die Turmeinbindung unterscheidet zwei grundsätzliche Bauprinzipien:

- die Einspannung mittels eines vorgespannten Ankerkorbes, auch in Verbindung mit den Spannelementen eines Betonfertigteilturmes konstruiert
- Stahlurm aufgeflanscht auf ein in den Beton eingegossenes Stahl-Fundamenteinbauteil (FET).

Wir wollen uns hier mit dem zuletzt genannten Einbauprinzip beschäftigen. Dieses Turmeinbindekonzept ist im Prinzip ähnlich bei vielen WEA-Typen und ist auch mit einem Offshore-Monopile zur Einbindung in den Nordseesand an

Stelle in den Fundamentbeton vergleichbar. Es sind eine Reihe von in den Beton eingebauten, Zugkraft aufnehmenden Bauteilen zu bemessen und zu konstruieren. Die Standardfundamentkonstruktion besitzt vom Beton eingeschlossene Bewehrungseisen, auch „schlafte Bewehrung“ genannt, bemessen und konstruiert nach dem Normenwerk der DIN 1045 und des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb). Während der Beton für die Aufnahme von Druckkräften verantwortlich ist, sollen die Bewehrungseisen die auftretenden Zugkräfte auffangen.

Das Fundamenteinbauteil (FET) wird alternativ ausgebildet, entweder mit Fußflansch in Mittellage oder als Wechselflansch. Dabei gilt die Positionierung der Flansche umschlossen von den Hauptbewehrungslagen als Grundprinzip des Lasteintrags in massive Bauteile. Die Flansche sind für



Kernbohrung: Nachweis des ringförmigen Ausbruchs einer unbewehrten Betonüberdeckung.



Deutlich erkennbarer Schaden: Der Riss erreicht die Hauptbewehrung.



Umlaufende Rissbildung in Verbindung mit Radialrissen bei einem Kreuzbalkenfundament. Es könnte sich um eine unterschätzte Spannungskonzentration im Zwickel handeln.

die Übertragung der vertikalen Lasten als Druckkräfte in den Beton verantwortlich.

Die Einbindung mittels FET erfordert eine Ausbildung als Köcherfundament nach DAfStb Hefte 399 und 411 mit umlaufender Sockelbewehrung zur Aufnahme und Umlenkung des horizontalen Lastanteils aus dem Momenteintrag. Eine Vernachlässigung dieser horizontalen Anteile widerspricht dem Modellverhalten einer Köchereinbindung. Die Anordnung einer Druckspitzenabminderung mittels einer Lastspitzen verteilenden Gummischicht ist dabei sinnvoll.

Die Übertragung der Lasten aus den Flanschen erfolgt über einen als Lastaufhängung innerhalb und außerhalb der Wandungen des FET ausgebildeten Bewehrungskorb mit Verankerung in den Hauptbewehrungslagen. Zusätzlich wird eine umlaufende Spaltzugbewehrung ausgebildet.

Die Lastübertragung aus dem Köcherbereich in die Fundamentplatte hinein wird durch die Hauptbewehrungslagen, oben und unten, und eine im Fundamentfeld angeordnete Schubbewehrung gewährleistet. Bei einer Turmeinbindung mit Sockelaufsatz bis zu 8 m Höhe sind zusätzlich zum Vorgenannten die Ausbildung mehrerer Arbeitsfugen im Sockel nach DIN 1045 und deren Abdichtung sowie die Beachtung kritischer Spannungskonzentrationen (sog. Spannungszwiebeln) im Türdurchlass zu berücksichtigen.

Die vorgenannten Prinzipien vergleichen wir nun mit einer zu typischen Schäden neigenden Flachgründung. Die typengenehmigte Konstruktion ist bei Flach- und Tiefgründung gleich ausgebildet und gekennzeichnet durch:

- einen frei liegenden Flansch oberhalb der oberen Hauptbewehrungslage





Das Turmeinbindekonzept – im Vergleich die mangelbehaftete Konstruktion.

- unbewehrter Aufbeton auf oberem Flansch
- kein Sockel, keine Ringbewehrung
- keine Lastaufhängebewehrung in unmittelbarer Nähe zum FET
- keine Schubbewehrung im Feld
- Spaltzugbewehrung nur im unteren Bereich vorhanden
- Weichschichtauflage zur Entkopplung des oberen Flansches von der unbewehrten Betonüberdeckung nur außen angeordnet
- Erdüberdeckung am Stahlrohrturm direkt anliegend, wasserführend, unsichtbare Turmeinbindung, Schmutz
- mögliche vertikale Zugbewegungen im oberen Flansch auf Grund von Lastumlagerungen, Materialeigenschaften und zulässigen Verformungen können nicht aufgenommen werden
- aus Turmeinspannung und obenliegenden Flansch können horizontal auftretende Kräfte nicht übertragen werden
- Aufbeton platzt ringförmig auf
- Rissbildung im Feld infolge mangelnder Schubfestigkeit
- Gefahr des Durchstanzens infolge fehlender Lastaufhängung und Schubbewehrung

Die Annahme von konstruktiv bedingten Mängeln erscheint berechtigt.

## Der Schaden im Detail

Die Konstruktionsmerkmale mit ihrem ursächlichen Mangelpotenzial werden ergänzt durch mangelanfällige Problemzonen für die Bauausführung. Die Symptome sind hinreichend bekannt, nämlich ringförmige Risse um Turm, weitere Risse im Feld, Ausbruch von Betonschollen oberhalb des Flansches, fontänenartiger Wasseraustritt, Pumpen des Wassers

im Riss sowie Bewegungen des Fundamenteinbauteils, gemessen bis zu 14 mm.

Da existieren zum einen sog. Entwässerungsöffnungen im WEA-Keller für eventuell anfallende Kondensatfeuchtigkeit. Leider bewirkt das an der Außenhaut ablaufende Regenwasser genau das Gegenteil, es sickert in die oftmals recht hoch angeschüttete Erdabdeckung und fließt in den Turmkeller hinein. Die außen angeordnete Weichschaumschicht auf dem Flansch wird während der Bauausführung leider oft vergessen, im Innern ist keine Weichschaumschicht vorgeschrieben, so dass der Aufbeton direkt auf dem Flansch zu liegen kommt. Ohne Puffer für eine mögliche Bewegung des Flansches können vertikale Bewegungen und im kleineren Maßstab auftretende Horizontalbewegungen nicht abgefangen werden. Es kommt zum bekannten Rissbild.

Die untere Auflagefläche des oberen Flansches neigt traditionell zu Lufteinschlüssen, zu einer Taschenbildung. Die Lastübertragung „Druck“ ist nicht komplett gewährleistet, Verpressschläuche sind nicht vorgesehen. Schwund im Volumen des Betons durch den chemischen Abbindeprozess lässt den Beton nicht komplett an der Stahlwandung anliegen. Wasser, das auf den verschiedenen Wegen in den Körper eindringt, wird durch die Dynamik bis in die feinsten Hohlräume gepumpt. Die Fuge wird ausgewaschen. Ausgelaugter Kalk und abgeriebene Feinanteile werden ausgespült.

Im Zusammenwirken der beschriebenen Faktoren lockert sich das Fundamenteinbauteil im Beton. Eine Verringerung der Ermüdensfestigkeit und damit der Lebensdauer wird festgeschrieben. Im Falle einer nicht kompletten Lastaufnahme durch den oberen Flansch kommt es zu einer Lastumlagerung, die wegen des Fehlens der Lastaufhängebewehrung direkt auf den Beton unterhalb des unteren Flansches drücken muss. Die untere Hauptbewehrungslage

wird herausgerissen, der Flansch drückt durch in den Untergrund.

Starke vertikale Bewegungen lassen ein Durchstanzen des unteren Flansches vermuten. Entsprechend dem Ergebnis einer Bewegungsmessung, mindestens ab 3 mm Vertikalbewegung sinnvoll, ist festzulegen, dass eine Zusatzuntersuchung auf Durchstanzen durchgeführt werden soll. Durch Erbohren der Sohle, Entnahme des Bohrkerns und nachfolgende Endoskopie ist der Durchstanzbruch auszuschließen.

## Ansätze für ein Sanierungskonzept


Eine Sanierung kann nur annähernd den Zustand bei Herstellung zurückgewinnen. Zusätzliche Elemente können angeordnet werden. Prinzipielle konstruktive Mängel können jedoch nicht oder nur sehr schwer ausgeglichen werden. So kann eine Sanierung nur das Ziel haben, dem Fortschreiten der Deterioration Einhalt zu gebieten.

Bei Durchstanzbruch wird eine Verfestigung des Untergrundes durch ein sogenanntes VergROUTEN mittels wasserundurchlässigen Betons erforderlich. Bei sehr starken Vertikalbewegungen ist ein Sonderverfahren zur Hebung und Sicherung der gesamten WEA mit hydraulischen Pressen durchzuführen, die Unterfütterung des oberen Flansches erfolgt mit einem quellfähigen, schnellabbindenden Beton-Ersatzsystem.

Die Fuge zwischen Stahl und Beton sowie die Risse im Nahbereich der Turmeinbindung sollten weitestgehend mit einem adäquaten Verpressmaterial verfüllt werden. Hierzu bieten sich Kunstharze an, die, mit hohem Druck verpresst, bei niedriger Viskosität in feinste Hohlräume gelangen können. Diese sind volumenbeständig und gleichzeitig widerstandsfähig gegen hohen Druck. Ein weiterer Vorteil ist die Wasseraufnahmefähigkeit einiger Kunstharze, so dass der Neubildung und dem neuerlichen Auswaschen einer Fuge hier eine klare Grenze gesetzt werden kann. Diesen Anforderungen wird eine Zementleimauspressung nicht gerecht.

Der obere Flansch ist komplett gegen nach oben gerichtete und seitliche Bewegungen zu entkoppeln. Der Vorschlag, dem sicherlich preiswerterem Auffüllen der Rinne oberhalb

des Flansches mit einem Beton-Ersatzsystem eine Sockelkonstruktion entgegenzusetzen, zielt auf eine saubere Lösung hin. Die Erdabdeckung wird vom Sockel von der Turmwandung ferngehalten, eine offen einsehbare Konstruktion ist als wartungsfreundlich einzuschätzen. Die Fuge zwischen Stahl und Beton kann jederzeit nachgearbeitet werden. Abschließend ist der Forderung nach einer dauerelastischen Abdichtung der Fuge zwischen Beton und Stahl oder nach einer Folienhaut für die gesamte Oberfläche des sanierten Bereichs Rechnung zu tragen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen: Die Vernachlässigung der Bedeutung eines Fundamentes für die Lebensdauer einer WEA und die damit verbundenen Mängel in der konstruktiven Ausbildung haben bei einigen Fundamenttypen zu Mängeln geführt, die nur sehr schwer und mit hohem Kostenaufwand kontrolliert werden können. Es wird ein Sanierungskonzept vorgeschlagen, welches auf eine Erhöhung der Ermüdensfestigkeit der Turmeinbindung und des diesen Bereich einschließenden Betons abzielt. Die Sicherung des Bauwerks gegen Wasser ist oberstes Gebot. Da ein Versagen der Fundamentplatte wegen der Mängel der konstruktiven Ausbildung nicht prinzipiell ausgeschlossen werden kann, muss durch eine laufende Beobachtung das Verhalten des Fundamentes geprüft werden. Die Einbindung der regelmäßigen Beobachtung des Fundamentes in das Wartungspflichtenheft ist dringlich empfohlen. Zur Sicherung der Ansprüche ist anwaltliche und fachliche Hilfe geboten. 

## Fragebogenaktion

Der BWE Arbeitskreis Fundamente führt aktuell eine Fragebogenaktion zum Thema „Schäden an Fundamenten“ durch. Betreiber, die Mängel und Schäden an ihren WEA feststellen, sind aufgerufen, diese zu melden. Fragebögen sind bei den BWE-Geschäftsstellen erhältlich. Weitere Informationen bei Windplan Bosse GmbH und dem Verfasser.

## Dipl. Ing. Harald Bosse



Seit 1999 in der Windplan Bosse GmbH verantwortlich für Antrags- und planrechtliche Abwicklung von Windpark-Projekten, immissionsrechtliche Gutachten, Tragwerksplanung Fundamente in Einzel- und Typenprüfung, Sonderstatik für Tiefgründungen, Schadensanalysen und -sanierungen sowie Bauleitung und -überwachung.

Zentrale Berlin:  
Windplan Bosse GmbH  
Dipl. Ing. Peter Bosse  
Katzbachstr. 9  
D-10965 Berlin  
Tel +49 (0)30 7899 1525  
Fax: +49 (0)30 7899 1526  
E-Mail: info@windplan.de

Büro Meinersen:  
Windplan Bosse GmbH  
Dipl. Ing. Harald Bosse  
Schmiedekamp 15  
D-38536 Meinersen  
Tel +49 (0)5372 972797  
Fax: +49 (0)5372 972799  
E-Mail: hb@windplan.de