



Türme und Fundamente

Hoch, breit, stark – und wirtschaftlich

Wachsende Fundamente und Türme ermöglichen immer neue Nabenhöhen, Blattlängen und Nennleistungen. Es funktioniert.

Foto: TÜV SÜD

Gesunder Stand

Betonsanierer erhalten die Stabilität der Gründungsstrukturen von Windturbinen über die gesamte Betriebszeit. | 49

Wurzel- ersetzt Kuchenform

Ein innovatives aufgelöstes Fundament aus Beton-Fertigteilen reduziert Bauzeit und Materialeinsatz um ein Vielfaches. | 53

Schlankmacher für den Turm

Schwingungstilger dämpfen die Ausschläge der neuen Turbinenriesen. Sie erlauben somit dünnere Stahlwände. | 54



Mustergültig angelegter Großfundamentbau von Arning Bauunternehmung für eine moderne Windenergieanlage

Leichter gut aufgestellt

Um sehr große Windenergieanlagen ohne Kostenexplosion zu errichten, entwickeln Turm- und Fundamentspezialisten vielfältige Technologien.

TILMAN WEBER



Sanierungsfall abgeplatzter Beton ...

Foto: KTW Unternehmensgruppe

„Die Standsicherheit ist auch künftig gegeben.“

Klaus Deining,
Geschäftsführer KTW
Unternehmensgruppe
dazu, dass Wind-
kraftfundamente von
Ingenieurbüros exakt
gerechnet werden

Zunehmende Turmhöhen und Rotorblattlängen und entsprechend neue Fundamentgrößen sind für Klaus Deining kein Gradmesser für Schadensanfälligkeiten. Der Chef des Betonsanierungsunternehmens **KTW Umweltschutztechnik** weiß nach Behandlung von gut 3.500 Sockeln durch sein Unternehmen in 16 Jahren, dass Risse und abgeplatztes Material in allen Windparkjahrgängen vorkommen. Ihr Ausmaß hängt eher von der Verarbeitung als von Dimensionen ab, besagt diese Erfahrung. Zumal Deiningers Wartungsteams nun ausgerechnet auch Stahl-Beton-Hybridtürme pflegen: eine Konstruktion, die Höhenwachstum mit konservativen Prinzipien beherrschen lassen sollte. Doch im obersten Betonturmabschnitt)

„Wir stellen uns neuen Höhen mit innovativen Sanierungssystemen“

3.500 Windturbinenfundamente haben Sie schon abgedichtet. Genügen Kunststoffinjektionen in Risse und Folie drüber, damit ältere Anlagen standsicher bleiben?

» **Klaus Deininger:** Wo Beton größere Risse und Abplatzungen hat, muss er gemäß den Vorgaben von Bundesverband Windenergie und der Richtlinienorganisation FGW mit polymermodifizierten Mörtelsystemen instandgesetzt werden, die einen Verbund zum vorhandenen Mörtel im Fundament herstellen. Die mehrere Zentimeter tiefen, nicht bewehrten Bereiche auf der Oberseite der Fundamente rings um den eingelassenen Stahlurm müssen Sanierer nicht selten auch vom Turm entkoppeln, sodass dieser bei Schwingungen und Bewegungen ein minimales Spiel in diesem Kragenbereich erhält. Außerdem können wir mit hochelastischen Abdichtungen in solchen unbewehrten Bereichen die Abplatzungen und Risse bremsen. Sie entstehen infolge Millionen dynamischer Lastwechsel einer Windenergieanlage. Manche Betreiber müssen gemäß der Typenprüfungsanforderungen ihrer Windenergieanlagen schon bei Neubauten solche Abdichtungen anbringen. Risse im Beton bedrohen zwar nicht unmittelbar die Tragfähigkeit der Fundamente, doch kann dort Wasser eindringen und zu Rost etwa an Fundamenteinbauteil oder Ankerkorb führen. Und Rost dehnt das Materialvolumen um ein Mehrfaches aus, was neue Abplatzungen erzeugt und dann doch irgendwann die Tragfähigkeit des Systems gefährden kann.

Wie lässt sich kostenbewusst entscheiden, wann Sanierungsbedarf herrscht?

» **Klaus Deininger:** Entdecken Sachverständige bei den sogenannten Wiederkehrenden Prüfungen Wasser im Fundamentkeller, sollten sie dies als Hinweis auf Defekte im Beton ernstnehmen. Aber das Abdichten kostet schon Mal 3.000 Euro, Verpressungen mit Injektionsharzen bis zu 12.000. Wo Hohlräume den kraftübertragenden Turmfußflansch in seiner Einspannung klappern lassen, müssen kostenintensive Bohrungen für die Injektage bis zum Fundamenteinbauteil ausgeführt werden. Risse im Beton müssen jedoch nicht unbedingt eine gelockerte Einspannung als Ursache haben. Um dieses festzustellen, sind Bewegungsmessungen, die beim Stoppen der Anlage durchgeführt werden, hilfreich. Wie von BWE und FGW festgelegt, sind 0,5 Millimeter Auslenkung unkritisch und entsprechen der reinen Dehnung des Stahlteils unter der Last. Bei mehr



Klaus Deininger,
Geschäftsführer, KTW
Unternehmensgruppe



Foto: KTW Unternehmensgruppe

...und elastische Abdeckung bei feuchtem Untergrund

als 1,5 Millimeter muss eine aufwendigere Instandsetzung durch Verpressung erfolgen, die auch die Standfestigkeit erneuert. Auch Messen kostet etwas, erspart aber voreilige pauschale Sanierungen.

Sind die Maßnahmen nur für Altanlagen sinnvoll, um Restlaufzeiten herauszuholen?

» **Klaus Deininger:** Nein. Wir verwenden daher langzeitgetestete, UV-beständige Abdichtungssysteme – wie sie auch weitere Anbieter nutzen. Aber es gibt Abdichtungen, die nur zwei, drei Jahre halten.

Derzeit nehmen Sie speziell auch die ersten Hybridtürme ins Visier ...

» **Klaus Deininger:** Wir arbeiten seit drei Jahren an denen, und es gibt ja keinen rissfreien Beton. Bei Rissen größer 0,2 Millimeter sieht die DIBT-Richtlinie eine Abdichtung vor. Eine heikle Zone ist hier der Übergang vom Beton- zum Stahlurm. Die Schraubenbolzen zum Anflanschen des ersten Stahlzylinder-Turmsegments an den Adapterring schauen hier raus. Spannstahlseile verspannen das obere Betonturmende mit dem Fundament. In dieser Übergangszone führen extreme Krafteinwirkungen zu Rissen von teils 0,4 Millimetern. Eine hochelastische Bandage muss hier langfristig die Rostgefahr durch eindringende Nässe verhindern.

Kann alles repariert werden?

» **Klaus Deininger:** Wir stellen uns mit innovativen Sanierungssystemen den höheren Belastungen. Sollten beispielsweise Ausbrüche durch Kantenpressungen an Adapterelementen von Hybrid-Türmen auftreten, kann durch CFK Sheets auf Carbonfaserbasis eine „Bandage“ erfolgen, die die Tragfähigkeit solcher Bereiche noch verstärkt. (TW) ■

Foto: KTW Unternehmensgruppe



Web-Wegweiser:
ktweimar.de

Türme und Fundamente Special



Torsten Laderholz, KTW Umweltschutztechnik, bei Sanierungsarbeit an einem Hybridturm

Foto: KTW Unternehmensgruppe

mit dem eingelassenen Adapter zum Anflanschen der Stahlurmhälfte sind bei ersten Anlagen nach zehn Jahren unter den hier sehr großen Spannungen kleine Risse entstanden. Die Spezialisten stabilisieren diese Bereiche seit drei Jahren mit Bandagen aus belastungsstarken Abdichtungen und wappnen sie gegen eindringende Nässe (siehe Interview Seite 49).

Die einst eingeführte Hybridbauweise ist nicht die einzige etablierte technologische Antwort auf das Turmwachstum, bleibt aber als gut berechenbares Konzept im Rennen. Hier errichten Bauunternehmen einen bis zu 90 Meter hohen, sich nach oben verjüngenden Betonzylinder. Bodendurchmesser von bis zu 10 Metern sichern die Standfestigkeit. Darauf schließt der weltweit lieferbare Stahlurm an, dessen Röhren im Liegendtransport die viereinhalb Meter hohen Autobahnbrücken gerade noch passieren können.

Deininger hat eine gute Botschaft: „Türme und Fundamente sind von Ingenieurbüros entworfen, die ordentlich rechnen“, sagt der Experte, der den Arbeitskreis Gründungs- und Tragstrukturen der FGW leitet – der für Qualitätsstandards zuständigen Branchenorganisation. „Bei guter Bau- oder Produktionsausführung ist Standsicherheit auch künftig gegeben“, sagt er zu den in Beton nicht unüblichen Rissen. Und dank Innovationen der Sanierer blieben Schäden immer reparabel.

ANZEIGE

„Komplettanbieter für Infrastrukturarbeiten auch beim Repowering“

Wie garantieren Sie Standsicherheit und Stabilität, ohne dass das die Kosten treibt?

» **Stefan Busch:** Als ausführendes Unternehmen erfüllen wir konstruktive Vorgaben der Windturbinenbauer. Etwa 85 Prozent der Kosten verursacht das Material. Beton kostet regional unterschiedlich viel, Stahlpreise unterliegen starken Schwankungen am Weltmarkt. Als Kostensenker sehen wir eher die Optimierung der Erdarbeiten: überschüssigen Aushub vermeiden, der zu hohen Entsorgungskosten führt und mit vielen Lkw abgefahren werden muss. Durch das Anheben der Fundamente kann eine Massenneutralität geschaffen werden, die in einigen Regionen eine Wasserhaltung in der Bauzeit erspart. Arning Bauunternehmung nutzt vor allem Synergien. Als Generalunternehmer für Infrastrukturarbeiten übernehmen wir auch Wegebau und Kabelverlegungen und arbeiten schnittstellenoptimiert.

Wie bewältigen Sie die Betonvolumen?

» **Stefan Busch:** Hauptherausforderung ist inzwischen, die riesigen Betonmengen an einem Tag anliefern zu lassen. Wir beauftragen teilweise mehrere Betonwerke gleichzeitig, um die Liefermengen zu heben. Es werden auch Betonierfugen in Absprache mit den konstruktiven Ingenieuren und Kunden angeordnet, um nicht ausreichende Lieferkapazität



Stefan Busch,
Bauleiter
Windenergie, Arning
Bauunternehmung



WIR BAUEN
LEIDENSCHAFTLICH
GERNE

zu kompensieren: Im ersten Betonierabschnitt wird dann die Hauptmenge gegossen. Durch zusätzliche Schubbewehrung bleibt das Fundament konstruktiv einwandfrei. Im zweiten Abschnitt folgt das Betonieren von Oberflächen und Sockel. Ein positiver Nebeneffekt ist, dass die Oberflächenbearbeitung bei Tageslicht durchgeführt werden kann.

Sie werden nun auch Komplettanbieter für Infrastrukturarbeiten beim Repowering?

» **Stefan Busch:** Seit diesem Jahr starten wir mit dem Rückbau von Altanlagen. Mit Baggern zermeißeln wir die alten Fundamente, um Sie anschließend mit Brechanlagen zu einer passenden Körnung aufzuarbeiten und bauen mit dem Material die Baustellenwege. Wir nutzen ein großes Händlernetzwerk, örtliche Dienstleister und Fahrzeuge kleinerer Firmen, um regionale Wertschöpfung zu erzeugen und die Akzeptanz des Projekts vor Ort zu stärken. Für die Anlagendemontage arbeiten wir mit weiteren Rückbaufirmen zusammen. Wo Windparkinvestoren die Kapazität fehlt, beauftragen wir die Gewerke und koordinieren alle Schnittstellen und ermöglichen so den reibungslosen Ablauf. (TW) ■

Foto: Arning Bauunternehmung



Web-Wegweiser:
arning-bau.de



Foto: Sam Green - Anker Foundations

Aufgelöstes Fundament im Betonfertigbau von Anker Foundations: Gut zu sehen sind Lastverteilplatten zwischen den Rippen zur Beschwerung mit Erde.

Gleichwohl müssen sich Fundament- und Turmspezialunternehmen dem Anlagenwachstum an Land mit vielfältigen Konzepten stellen. Klar, bei immer neuen Nabenhöhen zumal der schon angekündigten 164 bis 169 Meter erhöhen sich Hebelwirkungen auf Turm und Fundament. Rotordurchmesser von künftig 160 bis 170 Meter nehmen mehr Lasten in das Gesamtbauwerk auf.

Traditionelle Betonfundamentbauer wie **Arning Bauunternehmung** reagieren mit cleveren Strategien. Das Unternehmen aus dem münsterländischen Steinfurt gründet seit mehr als 20 Jahren Windenergieanlagen gemäß Vorgaben der Ingenieurbüros der Anlagenhersteller. 15 teils große Windparks im Jahr sind das Übliche. Doch das unterirdische kuchenförmige Bauwerk ist häufig schon so groß, um die Riesenanlagen noch ausreichend zu beschweren, dass die Baufirma mehrere Betonwerke gleichzeitig zur Anlieferung des Gussmaterials beauftragen muss. Und die Gusszeit sprengt den Tageslichtrahmen bei weitem. Arning Bauunternehmung ging daher dazu über, auf Kundenwunsch den Guss auch in zwei Abschnitte zu teilen, auch um die Arbeiter komplett bei Tageslicht hantieren zu lassen (siehe Interview Seite 50).

Zwar seien Betongussarbeiten in einem Abschnitt noch die Regel, sagt Stefan Busch als

„Vermeiden der Nachtschichten erhöht die Qualität.“

Stefan Busch,

Bauleiter Windenergie bei Arning Bauunternehmung, zur Möglichkeit, große Ortbetonfundamente in zwei Abschnitten zu gießen

Leiter des Arning-Bereichs Windenergie. Doch die Vermeidung von Nachtschichten, ist er überzeugt, erhöht dank besserer Sicht die Qualität der Verarbeitung. Eine bessere Verdichtung reduziert dann Rissbildungen. Auch senken die Westfalen die Organisationskosten, indem sie als Komplettanbieter den Wegebau, Kabelverlegung, bei Repowering-Projekten den Fundamentabbruch mitsamt Wiederaufbereitung des Betons zum Windparkwegebau organisieren und die Gewerke auf der Baustelle beaufsichtigen. Zudem beraten sie bei der exakten Positionierung der Turbinen an Bergstandorten – entscheidet diese doch darüber, wo die Kräne sich platzieren lassen, ohne dass zu viel Erde zum Einebnen der Standfläche umzuschichten ist.

Eine Übersicht darüber, wie gut und innovativ das Gründen und Auftürmen aktueller und künftiger Anlagengrößen funktioniert, hat **Tüv Süd**. Das Prüf- und Zertifizierungsunternehmen ist mit seinem umfassenden Netzwerk und breiten technologischen Sachverstand an über 1.000 Standorten in 50 Ländern vertreten.

Teamleiter bei Tüv Süd für die Zertifizierung von Fundamenten und Türmen ist Stephan Mayer. Er beschreibt die Herausforderungen anhand weniger dominierender Entwicklungslinien: Während schon alleine durch die begrenzte Wirkung)

Türme und Fundamente Special

der Autobahnbrücken „ein einfaches Hochskalieren bestehender Turmkonzepte nicht möglich ist“, könnten auch die mobilen Kräne nicht beliebig große Lasten hochhieven. Tatsächlich teilen Turmbauer die Segmente in Bodennähe – ob aus Stahl oder aus Beton – längst in modulare Bauteile wie geschwungene Stahlplatten oder Halb- und Drittel-Beton-Schalen, die sie auf der Baustelle durch Schraub- oder Verguss-Systeme zusammenfügen.

Hingegen könnten „die bewährten Standardlösungen bei Fundamenten“ gemäß Mayers Beobachtung „grundsätzlich problemlos an größere Anlagen angepasst werden.“ Die „Weiterentwicklung auf neuartige Konzepte zur Reduktion des Materialeinsatzes und zur Verwendung von vorgefertigten Komponenten bei gleichzeitiger Optimierung der Fundamentlösungen“ sei aber absehbar (siehe Interview unten). Angesichts eines hohen Anteils des Materials an den Gesamtkosten sieht der Experte den Handlungsdruck: Felsanker zum Anheften der Fundamente an nahe unter der Erde liegendes Gestein wie in Skandinavien könnten Bauwerksgrößen ebenso reduzieren lassen wie aufgelöste Strukturen.

Schon größere Konzerne haben sich wohl am Fertig-Fundamentbau versucht. Durchgesetzt haben sie sich nicht. Das könnte und will **Anker Founda-**

„Müssen auf zwei Entwicklungen reagieren: höhere Türme und die Kostenoptimierung von Stahltürmen.“

Lukas Schneider,
Leiter dynamische Schwingungstilger, ESM

tions im hessischen Lichtenfels ändern. Gegründet von Ingenieuren wie dem Entwickler der ehemaligen Holzturmfirma Timber Tower, Gregor Prass, definiert sich das 13 Mitarbeiter zählende Unternehmen als „Auftrags-Entwickler und Hersteller von Fertigteil-Fundamenten für Windenergieanlagen“. Es entwickelte einen Bausatz mit nur vier Gussformen. Der Prototyp ging jüngst als Fundament unter einer drei Megawatt (MW) leistenden Enercon-Anlage E-115 mit 149 Meter Nabenhöhe in Betrieb. Auf fünf weiteren Anker-Fundamenten für größere E-126-Turbinen stehen schon die Türme.

Zuvor sei die Branche bei der Berechnung von Beton-Fertigteilelementen für Fundamente „nicht zu wettbewerbsfähigen Preisen gekommen“, sagt Verkaufschef Christof Strebe. Doch binnen drei Jahren entwickelte das Unternehmen ein Set, das bis zu 70 Prozent Volumen einspart und das sich auf Standard-LKW ohne Sondergenehmigungen oder gar Eskortierung durch Sicherheitspersonal anfahren lässt. Die Bauteile formen in der Mitte einen Ring und greifen wie Baumwurzeln aus. Die eingesparte Masse als Faktor der Standsicherheit gleicht die Struktur durch ihre Beschwerung mit dem Erdaushub aus. Preisreduzierend soll auch ein seltenerer Sanierungsbedarf wirken, den der Betonguss in einer

ANZEIGE

„Wir stehen mit unserem Namen für die Sicherheit“

Welche Entwicklungen sehen Sie bei Türmen und Fundamenten?

» **Stephan Mayer:** Bei TÜV SÜD prüfen und zertifizieren wir pro Jahr bis zu 200 Fundamente und etwa 100 Türme. Hinzu kommen die Bauüberwachung an rund 50 Anlagen sowie weltweite Fertigungsinspektionen bei Turmherstellern. Neben größeren Nabenhöhen und leistungsstärkeren Anlagen sehen wir einen starken Trend zur Kostenreduktion. Waren früher Konstruktionen oft standardisiert, gibt es aktuell nur noch hoch optimierte Designs, die immer näher an der Grenze des technisch Möglichen liegen. Dadurch steigen die Anforderungen an die Berechnung und die Qualitätssicherung der Fertigung und an die Installation von Türmen und Fundamenten.

Was bedeutet das für die Rolle von TÜV SÜD?

» **Stephan Mayer:** Neue Konstruktionen, effiziente Bemessungsansätze und besondere Fertigungsverfahren stellen höchste Anforderungen an Prüfung und Zertifizierung. Durch unsere Kompetenz und unsere Erfahrungen gewährleisten wir eine technische Prüfung in der erforderlichen Tiefe. Hier gilt es, permanent am Stand der Technik und der Forschung zu bleiben. Denn wir stehen mit unserem



Stephan Mayer,
Leiter Gruppe Turm und Fundament von Windenergieanlagen, TÜV SÜD AG



Namen für die Sicherheit der von uns geprüften Bauteile ein. Gleichzeitig sorgen wir für Termintreue bei unseren Projekten. Dadurch können unsere Kunden ihre neuen Produkte schnell auf den Markt bringen, wobei unsere Zertifikate die Voraussetzung für den Einsatz sind.

Welchen Beitrag leisten Sie zu Innovationen bei Türmen und Fundamenten?

» **Stephan Mayer:** Unser Ziel ist es, für das nötige Sicherheitsniveau zu sorgen und gleichzeitig zu einer erfolgreichen Umsetzung beizutragen. Nach unserer Erfahrung haben Innovationen dann Erfolg, wenn die technischen, regulatorischen und normativen Randbedingungen frühzeitig berücksichtigt werden. Durch unsere entwicklungsbegleitenden Prüfungen schaffen wir für innovative Lösungen beste Startbedingungen. Zudem unterstützen wir externe Forschungsprojekte zum Stahl-, Massiv- und Holzbau und untersuchen in einem aktuellen Innovationsprojekt die Anwendbarkeit innovativer Berechnungsmethoden, die deutliche Einsparungen bei der Bewehrung klassischer Fundamente ermöglichen. ■

Foto: TÜV SÜD AG

» **Web-Wegweiser:**
tuvsud.com/de-de/branchen/energie

wohl temperierten Halle einbringt (siehe Interview unten). Anker Foundations plant 2022 eine eigene Fertigung zu eröffnen – nachdem es die Bauteile weiter verfeinert hat. Bis dahin will es unter anderem noch ein wenig Stahl einsparen.

Stahl sparen am anderen Ende stellt **ESM** in Aussicht. Die ebenfalls in Hessen ansässige ESM Energie- und Schwingungstechnik Mitsch GmbH entwickelt seit knapp zehn Jahren vielfältige Schwingungstilger. Sie lassen sich in dünnwandiger ausgelegten hohen Stahlzylindertürmen am Ansatz für den Drehkranz des Maschinenhauses anbringen sowie in einem oberen und einem mittleren Turmsegment, um Schwingungsamplituden einzudämmen (siehe Interview Seite 54). Turmdesigner stützen ihre Waddickenberechnungen für diese weicher werdenden Leichtbauten bereits auf die Schwingungen eindämmende Wirkung der Tilger.

Diese nutzen zur Dämpfung Hydraulik, Wirbelstromtechnik oder Impulse eines gegen ein Gummi schleuderndes Masseteil. Die fünf bis zehn Tonnen schweren Komponenten schwingen gegenläufig zu den Turmauslenkungen – und erfordern je nach Anlagengröße eine Investition im fünf- bis sechsstelligen Eurobereich. Auch gegen das Aufschwingen der Türme auf Baustellen helfen sie, wenn steifer Wind



Grafik ESM

3 Sorten Schwingungstilger



Foto: Wölfel

Schwingungsmesser

weht, aber die Rotoren noch nicht montiert sind. Und mit einem Rolltilger im Maschinenhaus lassen sich Hebelwirkungen ins Fundament dämpfen.

Lukas Schneider stellt als Abteilungsleiter für die Schwingungstilger klar, dass die Nachfrage nach den Turm-Schlankmachern aus seinem Hause längst global ist: Mit einer chinesischen Tochtergesellschaft bedient das 120 Mitarbeiter zählende Unternehmen auch den größten Windenergiemarkt.)

ANZEIGE

„Deutlich weniger Betonvolumen als im klassischen Modell“

Sie nutzen bis 70 Prozent weniger Beton. Wie geht das, wo Fundamente doch viel Masse und Breite brauchen, um so hohe windbelastete Bauwerke zu stabilisieren?

» **Christof Strebe:** Wir bauen in einer Breite ähnlich der eines Ortbetonfundaments. Bei den letzten Anlagen, die wir beliefert hatten, waren die Durchmesser um circa einen Meter größer als bei den klassischen Ortbetonfundamenten dieser Windenergieanlagen. Aber wir benötigten deutlich weniger Betonvolumen. Unsere Fundamente bestehen aus im Zentrum zu einem Ring zusammenschließenden und sternförmig ausgreifenden Betonrippen. Wo sich sonst ein massiver Betonkegel wölbt, lassen wir Lücken. Doch wir decken dafür an der Unterseite der Betonrippen mitgegossene Simse mit je einer Lastverteilerplatte pro Zwischenraum ab. Auf das gesamte Fundament schieben wir fast den gesamten Erdaushub zurück und beschweren es damit.

Was war die größte Herausforderung, um die Fertigbetonteile richtig zuzuschneiden?

» **Christoph Schwenger:** Dass wir sie Stück für Stück komplett entwickeln mussten, was drei Jahre in Anspruch nahm. Dazu gehört die Zertifizierung.
» **Christof Strebe:** Durch konsequentes, volumenoptimiertes Design haben wir solche Material- und



Christof Strebe,
Head of Sales,



Christoph Schwenger, COO,
Anker Foundations



Zeiteinsparungen erzielt, dass es sich lohnt. Rentabilität erreichen wir durch die Modularität bei nur vier Gussformen, indem wir unsere Fundamentrippen herstellerübergreifend für die jeweiligen Windturbinenklassen verwenden möchten, sowie durch Transportierbarkeit der Bauteile in gewöhnlichen LKW und durch hohe Anpassungsfähigkeit.

Sie gründen nun erste Enercon-Großanlagen. Sofort wächst die Nachfrage, warum?

» **Christoph Schwenger:** Wichtig war zu sehen, dass wir die Serienreife jetzt erreichen und ein Fundament tatsächlich in fünf Tagen errichten können. Als wir nun zeigen konnten, dass es funktioniert, haben wir sofort entsprechende Resonanz gefunden.

Wie reduzieren Sie die Teilevielfalt, um den Aufwand der Produktion klein zu halten?

» **Christoph Schwenger:** Unsere Teilevielfalt ist mit vier verschiedenen Formen nicht groß. Aber wir haben noch Entwicklungsarbeit vor uns. So wollen wir den Stahleinsatz reduzieren und maximal drei bis vier verschiedene Standardrippen haben, die am besten für mehrere Anlagentypen passen. (TW) ■

Fotos: Anker Foundations

» **Web-Wegweiser:**
anker-foundations.com

Türme und Fundamente Special

Neue Fakten schafft der Markt selbst – wie den Bedeutungsverlust der Hybridturmbauweise und der unabhängigen Anbieter für modulare Fertigbeton-Turmsockel. Die Anlagenhersteller haben sich ihre Zulieferketten für eigene modulare Turmbaukonzepte aufgebaut. So stellt die Nordex-Gruppe sogar die Fertigteile reiner Betontürme selbst her. Seit 2020 machen die für sie neu errichteten Hybridtürme keine vier Prozent mehr der Windparkennleistungen aus, im Vergleich zu knapp 30 Prozent der reinen Betontürme durch Projekte vor allem in Lateinamerika, USA, Südafrika und Spanien sowie einem Anteil von zwei Dritteln für reine Stahltürme. Das größere Siemens Gamesa setzt auf Hybrid- und Stahlzylindertürme aus eigener Entwicklung in Zusammenarbeit mit Zulieferern. Die frühere Zusammenarbeit mit einem dänischen Entwickler modularer Stahltürme ist beendet. Weltmarktführer Vestas fertigt Stahlzylindertürme, wird das aber zugunsten von mehr Flexibilität in Zulieferernetzwerken aufgeben. Weltweit setzen die Dänen selbst entwickelte Stahlzylindertürme mit flexiblen Durchmesser am Boden und „vollständiger Modularisierung“ ein. Turbinenbauer Enercon arbeitet „mit externen Produktionspartnern, die die Turmkomponenten für Projekte mit Enercon-Wind-

„Wir haben das Wissen in unsere Systeme zur Fundament- und Turmüberwachung einfließen lassen.“

Bastian Ritter, Produktmanager, Wölfel Wind Systems, verweist auf ein intelligentes Monitoringsystem, das Turm und Fundament als strukturelle Einheit abbildet.

energieanlagen in aller Welt herstellen“. Überall werde der Trend zu modularen Stahltürmen gehen, sagt Pressesprecher Felix Rehwald.

Auch **Wölfel** aus Höchberg bei Würzburg entwickelt und baut Schwingungstilger. Zudem sind Schwingungssensoren im Turm die Spezialität der Franken. So verweist Bastian Ritter, Produktmanager für Monitoring-Systeme, auf das von Wölfel beanspruchte Alleinstellungsmerkmal, Turm und Fundament als strukturelle Einheit mit Wechselwirkungen bei Schwingungen und Lasten zu berechnen. „Wir haben dieses Wissen in unsere Systeme zur Fundament- und Turmüberwachung einfließen lassen“, sagt Ritter. Eine ausgetüftelte Programmierung versorgt die Überwachungseinheit mit künstlicher Intelligenz.

Die mit KI abgekürzte Wirkung besteht darin, dass die Datenverarbeitung selbst lernend zu den statistischen Kurven immer neue Sachzusammenhänge herstellt. Dies lässt den exakten Verschleiß von Windturbinen bestimmen, die nach 20 Jahren die gesetzliche Absicherung einer guten Vergütung verlieren und im Stromhandel nun weniger verdienen. Wölfels zertifiziertes System bemisst die Restlebensdauer der Anlage und liefert die datentechnische Grundlage zum Weiterbetrieb. Darauf baut

ANZEIGE

„Tilger dämpfen die Turmschwingungen“

Inwiefern lassen sich höhere Türme und größere Lasten im Fundament dank Schwingungstilgern besser verwirklichen?

» **Lukas Schneider:** Wir müssen auf zwei Entwicklungen reagieren: Höhere Türme und die Kostenoptimierung von Stahltürmen durch Verwendung von weniger Material. In beiden Fällen sinken die erste und zweite Turmeigenfrequenz, die ihre maximalen Schwingungsamplituden am Turmkopf beziehungsweise in der Turmmitte haben. Die Turmeigenfrequenzen waren früher von der niederfrequenten Anregung aus der Rotorunwucht, der Rotorpassage am Turm, noch weit entfernt. Nun liegen sie mitten im Anregungsbereich und Resonanzen drohen. Impulsdämpfer und Schwingungstilger dämpfen die Turmschwingungen so, dass die Schwingungsamplituden trotz Resonanzen begrenzt bleiben.

Welche Schäden verhindern diese?

» **Lukas Schneider:** Zu unterscheiden sind zwei Situationen: Zu Sonderereignissen können Laminarwinde an weitgehend fertiggestellten Anlagen führen, denen nur Gondel oder Rotor noch fehlt. Sie erzeugen hohe Schwingungen und schädigen so die Türme sehr stark vor. Dies war immer schon ein Phänomen, das sich durch schnellen Sofortaufbau der gesamten Anlage oder durch die Beschränkung



Lukas Schneider, Leiter dynamische Schwingungstilger, ESM Energie- und Schwingungstechnik Mitsch GmbH

der ersten Ausbaustufe auf nur ein- bis zwei Turmsegmente verhindern ließ. Allerdings ist das bauteilentechnisch und logistisch nicht immer sinnvoll. Sollte es dagegen zum besagten Aufschwingen des Turms im Anlagennormalbetrieb kommen, drohen große Spannungen und Schäden im Fundament.

Wie stellen Sie Tilger präzise ein?

» **Lukas Schneider:** Hierfür haben wir ein Baukastenprinzip mit verschiedenen Tilgerkomponenten. Die Frequenzen stellen wir über Federvorspannung, kleine Zusatzmassen, Luftdruck oder andere einfache Maßnahmen ein. Die Dämpfungseinstellung hängt vom Dämpfungsprinzip ab. Für die Wirbelstromdämpfung bietet sich die Änderung des Luftspalts an. Hydraulik-, Reibungs- und Gummidämpfung lassen sich über andere Maßnahmen unkompliziert verändern. Auf Kundenwunsch können wir zudem möglichst präzise einstellen oder die robuste Kompletteneinstellung vornehmen, die alle Schwingungsszenarien zugleich abdeckt und mehr Tilgermasse erfordert. Die Einstellung der Turmtilger kann auf Wunsch vor Ort bei Inbetriebnahme oder im ESM-Prüffeld erfolgen. (TW) ■



Foto: ESM

» **Web-Wegweiser:** esm-gmbh.de/branchen/#Windkraftanlagen

Anker Foundations,

Tel. 040/2383056-0

Arning Bauunternehmung,

Tel. 02551/9388-0

ESM,

Tel. 06252/6893-0

KTW Umweltschutztechnik,

Tel. 036453/875-0

Tüv Süd,

Tel. 089/5791-3146

Wölfel,

Tel. 0931/49708-0

Wölfel das Gutachten auf, ohne das die Anlagen sonst nach 20 Jahren die Betriebserlaubnis verlieren.

Die Nachfrage ist enorm: Wölfel habe weltweit mehr als 3.000 Schwingungsminderungs- und Monitoringsysteme installiert, sagt Ritter. So verweist er auf eine in der Branche immer neu zu entdeckende Dauererkenntnis: „Ja, Kosten lassen sich weiter senken – Grenzen des Anlagenwachstums sind noch nicht erkennbar.“ Das gilt, solange zum Beispiel Strukturüberwacher wie Ritter immer genauer und früher schadhafte Belastungen erkennen und innovative Dienstleister wie Deininger sanieren. ■



Foto: TÜV SÜD

Stephan Mayer, Tüv Süd, im Windradaufstieg: mehr Höhe dank neuer Turmbaukonzepte

ANZEIGE

„Können Lebensdauerverbrauch berechnen“ – auch dank KI

Ihr elektronisches Zustandsmonitoring zeigt Fundament und Turm der Windturbinen in Echtzeit. Was gewinnen Sie?

» **Bastian Ritter:** Durch kontinuierliche Erfassung und Verarbeitung der hochfrequenten Messdaten bewerten wir den Zustand der Anlage rund um die Uhr. Zum Beispiel können wir die mechanischen Belastungen genau berechnen und früh bei sich entwickelnden Strukturschäden am Fundament warnen. Durch unsere einzigartige Kompetenz vereinen wir struktur- und bauwerksdynamische Aspekte in einer Hand und liefern mit dem System aus Beschleunigungs- und Neigungssensoren eine schlüsselfertige Lösung, die auch als Retrofit einfach integrierbar ist.

Mit künstlicher Intelligenz inspizieren Sie Schadensfortschritte noch genauer ...

» **Bastian Ritter:** Die KI ermöglicht es uns, aus den Messungen die sehr variablen Betriebseinflüsse wie Windböen und wetterbedingte Effekte wirksam zu eliminieren. Damit lassen sich auch kritische Schiefstellungen des Fundaments und Rissentwicklung aus den überlagerten Rauschsignalen sichtbar machen. Den wirklichen Durchbruch bringt allerdings nicht KI allein, sondern die geschickte Verheiratung mit strukturdynamischen Modellen, um belastbare Aussagen zu strukturellen Schädigungen



Bastian Ritter,
Produkt-Manager
SHM.Foundation &
SHM.Tower,
Wölfel Wind Systems

und mechanischen Lasten der Windenergieanlage abzuleiten. Diese Expertise haben wir in die Algorithmen und Datenanalyse integriert, was uns stets sicher eine zuverlässige Prognose zum aktuellen Zustand der Windenergieanlage liefern lässt.

Für den Weiterbetrieb von Bestandsanlagen können Sie deren ursprüngliche konservative Lebensdauerprognose deutlich verlängern. Wie das?

» **Bastian Ritter:** Durch unser gutachterlich bestätigtes Verfahren zur Lebensdauerprognose basierend auf echten Schwingungsmessungen können wir den tatsächlichen Lebensdauerverbrauch gegenüber den konservativen Designannahmen berechnen. Dies ist unser Alleinstellungsmerkmal. „Daraus ergibt sich die deutliche Verlängerung des Lebensdauerhorizontes ohne Einbußen an Prognosesicherheit. Aus unserer langjährigen Erfahrung im Feld sind je nach Standort und Anlagentyp mehrere Jahre Weiterbetrieb durchaus möglich. Denn Turbinen erfahren an verschiedenen Standorten auch innerhalb eines Windparks sehr unterschiedliche Lastkollektive. (TW) ■



Foto: Wölfel

» **Web-Wegweiser:**
woelfel.de/branchen/windenergie