



Foto: FUCHS Europoles Wind

Errichtung des Mock-up-Testturms von Fuchs Europoles Wind

Immer der Nabe nach

Hersteller und Entwickler von Türmen und dazugehörigen Technologien müssen immer höhere Nabenhöhen ermöglichen. Diese hier zeigen, wie.

TILMAN WEBER

Nummer Drei ist da. Im zweiten Jahr nach der öffentlichen Ankündigung auf der Windenergiemesse in Husum will das nordbayerische Bau- und Masten-Unternehmen Fuchs Europoles bereits 75 Fertigteil-Betontürme produzieren und ausliefern. Und bei genug Nachfrage am Windenergiemarkt nach den bis zu 100 und mehr Meter hohen Betonsockeln für Stahl-Beton-Windkrafttürme könnte die Firmengruppe erklärtermaßen ab Mitte 2026 nachlegen. Die neue Windsparte **Fuchs Europoles Wind** werde dann „bei steigender Nachfrage“ eine „erweiterte Fertigungskapazität in zweiter Produktionsstätte“ von 200 Türmen pro Jahr dazunehmen. Die Kunden, Windenergieanlagenhersteller und mitunter Projektentwicklungsunternehmen, sollen sich an marktüblicher „Projektvorlaufzeit“ orientieren: Sechs Monate

75

BETONTÜRME

jährliche Produktionskapazität will Neuling Fuchs Europoles Wind noch 2025 im Neumarkter Werk bereitstellen. Bei mehr Nachfrage ließe sich die Kapazität auf bis zu 200 untere Betonturmhälften für Windrad-Hybridtürme erweitern.

nach einer Bestellung werde das Unternehmen mit den Errichtungsarbeiten im Windpark starten.

Hybridtürme aus oberer Stahlzylinder- und unterer Betonsockelhälfte haben sich zunächst in Deutschland als Standardbauweise für die moderne Großwindturbine mit wachsender Nabenhöhe durchgesetzt. Je höher hinauf sie die Nabe in windreichere Luftzonen strecken müssen, auf umso stärkerem Fuß mit größerem Radius stellen Hersteller das Windkraftwerk ab. Die Technik lässt bis zum Stahlurm hoch kegelförmig sich verjüngende Bauwerke entstehen, die schwingungsarm sind. Marktbeherrschend ist hierbei ein System, dessen Bauteams am Boden aus selten zwei, eher drei bis vier Fertigbetonsegmenten jeweils Ringabschnitte montieren, sie auftürmen und innen mit Stahlseilen verspannen. ▶

„Wir haben ein neues hochmodernes Turmsystem entwickelt“

Sie bringen einen durch „360-Grad-Validierung“ bestätigten neuen Beton-Stahl-Hybridturm in den Markt – geprüft auf Funktionalität, Stabilität, Lebensdauer. Was ist mit dieser Rundum-Prüfung gemeint?

» **Jürgen Joos:** Die enormen Belastungen moderner Turbinentechnologien und die stetig steigenden Nabenhöhen erfordern ein robustes, hochwertiges und zukunftsfähiges Turmdesign. Unsere Antwort darauf ist eine Null-Fehler-Strategie. Dafür prüfen wir die Funktionalität des FUCHS-Hybridturms vor der Markteinführung unter anderem durch 360-Grad-Validierung: Neben unseren eigenen Experten arbeiten unabhängige Ingenieure und Institute mit. Zusätzlich überwachen wir über „Quality Gates“ nach Automotive-Prinzip jede Phase der Entwicklung sorgfältig – von der Betonrezeptur über die Fugengenaugkeiten, Produktions- und Montagetests bis hin zur ersten Pilotanlage und der Nullserie. So garantieren wir: Unser System ist zuverlässig und funktioniert.

Vor zwei Jahren hat sich FUCHS Eurocoles auf der Messe Husum Windenergie als neuer Anbieter für zudem ein neues Turmdesign der Beton-Stahl-Hybridbauweise vorgestellt. Jetzt starten Sie die Produktion. Was haben Sie in dieser Zeit vorbereitet?

» **Jürgen Joos:** Wir haben in kurzer Zeit ein neues hochmodernes Turmsystem entwickelt, das wir nach weniger als zwei Jahren in der ersten Nullserie im eigenen neuen Werk fertigen. Wir meisterten zahlreiche Meilensteine. Besonders relevante Turmkomponenten wie den Übergangsbereich und die Spanngliedführung haben wir neu konzipiert und optimiert.

Gleichzeitig haben wir die Herstellung der Betonsegmente mit klarem Fokus auf Präzision, Qualität und effiziente Prozesse neu durchdacht. Dafür entwickelten wir innovative Maschinenteknologie, die nun in der Produktionsstätte in Neumarkt implementiert wird.

Das erste Mock-up wuchs schon im Spätsommer 2024 auf unserem Werksgelände in die Höhe: Es war der erste Anwendungstest für den Übergangsbereich unseres Turmsystems. Das Ergebnis bestätigt unsere Bemühungen.

Derzeit läuft die Zertifizierung des ersten Turmtyps, sodass wir im Sommer mit dem Bau der ersten Pilotanlagen in Bayern starten können. Dann kann die Serienproduktion beginnen.

Insbesondere der schon angesprochene Adapter zwischen Betonturm- und Stahl-



„Die enormen Belastungen moderner Turmtechnik und stetig steigende Nabenhöhen erfordern ein robustes zukunftsfähiges Turmdesign. Unsere Antwort ist eine Null-Fehler-Strategie.“

Jürgen Joos,
Geschäftsführer,
FUCHS Eurocoles
Wind GmbH



turmhälfte war ein Ziel Ihres Neudesigns. Was haben Sie hier konkret erreicht?

» **Jürgen Joos:** Eine der größten technologischen Herausforderungen bei hybriden Tragstrukturen besteht im Lastabtrag zwischen Stahl- und Betonturm. Unser Hauptziel war es daher, Spannungsfelder in diesem Bereich zu eliminieren. Dafür haben wir uns von einem konzentrierten Übergangsstück verabschiedet und einen mehrstufigen Übergangsbereich entwickelt. Dieser gliedert sich nun in drei wesentliche Komponenten: in einen Stahladapter zur Lasteinleitung von Stahl zu Stahl, in einen Gussring, der die Last homogen in den Beton überträgt, und in zwei massive Betonvollringe, die stabil genug sind, um die Kräfte sicher in den Betonturm einzuleiten.

Besonders innovativ ist der Gussring. Zwar ist sein Einsatz in Maschinenhäusern und Turbinen naben bereits verbreitet, doch erstmalig findet er Anwendung in einer Tragstruktur. Er gleicht die eingeleitete Last aus und sorgt für gleichmäßige Übertragung in den Beton. Die Funktionalität und Eignung des Gussrings wurde durch umfangreiche Gutachten bestätigt.

Um dem deutschen Markt in den kommenden Jahren zu genügen, müssen Sie beim Beliefern der Projekte sehr schnell werden: Wie meistern Sie das?

» **Jürgen Joos:** Sobald wir im Herbst die Serienreife erreicht haben, sind wir in der Lage, einen Turm in nur drei Tagen zu produzieren und zunächst 75 Türme pro Jahr zu liefern. Gleichzeitig bereiten wir den Bau einer zweiten Produktionsstätte vor, um bis Ende 2026 die wachsende Nachfrage befriedigen zu können.

Wie sieht die angekündigte größtmögliche Modularität aus?

» **Jürgen Joos:** Jeder Betonring besteht aus drei gleichen Betonsegmenten. Je nach Nabenhöhen oder länderspezifischen Rahmenparametern kann der Turm durch eine Erweiterung der Betonringe im unteren Bereich oder durch eine Verschiebung der Schnittstelle zum Stahlturm im oberen Bereich wachsen oder reduziert werden. Das gibt uns den größtmöglichen Spielraum, um Kundenbedürfnisse standardisiert zu erfüllen und länderspezifische Vorteile nutzen zu können. (TW) ■



Web-Wegweiser:

fuchs-wind.de/en/fuchs-hybrid-tower

Foto: FUCHS Eurocoles



Foto: graupause | Filmkreation



Foto: HYTORC



Foto: ESM



Foto: FUCHS Europoles Wind

Windkraftturbau als internationales, technologisch vielfältiges Geschäft: Mobile Beton-Fertigteile-Produktion in Thailand durch Max Bögl (oben links), innovative Schraubenmontage mit Hytorc-Technik (oben rechts), Impulsdämpfer gegen wirbelerregte Querschwingungen von ESM (links unten), Fuchs-Europoles-Wind-Chef Jürgen Joose beim Prüfen der Qualität (rechts unten).

Weil die Branche mit immer leistungstärkeren Windenergieanlagen mehr und verlässlicher Strom pro Standort ernten will, haben die Hybriddürme Hochkonjunktur. Wachsende Nabenhöhen mit 2024 schon 143 Metern im Durchschnitt ermöglichen die dafür notwendigen sehr großen Rotordurchmesser. Wobei die Windparkbauer in küstenferneren windärmeren Bundesländern die Rotoren im Mittel auf 150 bis mehr als 160 Meter Höhe setzen, um energiereichere Höhenwinde zu nutzen. Und nun nimmt auch der Windparkbau dank der 2022 verabschiedeten Energiewende-Reformpakete wieder stark zu.

Der Markt reagiert. Nach dem bislang unangefochten dominierenden Marktführer der Fertigbau-Turmring-Bauweise, Max Bögl, und dem schon 2022 auf der Windkraftmesse in Hamburg als neuer Anbieter angekündigten niedersächsischen Wettbewerber Oehm, jüngst umfirmiert in MFB, bringt Fuchs Europoles weitere Produktionskapazitäten dieser Technik ein. Die Baufirma mit 1.700 Mitarbeitern an mehr als 25 Standorten hat mit ihrem

700

TURMSOCKEL

kann Max Bögl Wind bereits jährlich in die Windparkbaustellen für Windenergieanlagen auf Stahl-Beton-Hybriddürmen anliefern.

Entwicklungsteam von rund 30 Mitarbeitenden ein innovatives, eigenes Konzept geschaffen. Es setzt erklärtermaßen auf eine neu durchdachte Fertigung der Betonsegmente durch „innovative Maschinenteknologie“. Die Entwicklung fand im 2022 eröffneten Werk in Neumarkt statt. Dort feilte das Team – teils gebildet aus vom Wettbewerber Max Bögl hinübergewechselten Experten – in Zusammenarbeit mit unabhängigen Ingenieuren und technologischen Instituten an allen Entwicklungsphasen von der Betonrezeptur über Fugengenauigkeiten, Produktions- und Montagetests bis zum „Mock-up“ (siehe Interview vorige Seite). Im Sommer fand dieser Vortest der Kerninnovation statt: der Aufbau des Übergangsbereichs von Beton zu Stahl, bei dem die Entwickler die Herstellung der Betonsegmente, die Montage der oberen Betonringe bis zum Anschluss zur Stahlsektion probten. Um diesen Schnittstellenbereich gegen Lasten aus zunächst bei Fuchs Europoles anvisierten Turmhöhen von 140 bis 175 und später 200 Meter unverwundbar zu machen,

schufen die Neumarkter ein dreiteiliges Design. Ein Stahladapter nimmt die Lasten aus dem Stahlurm auf, leitet sie über in einen Gussring, der sie gleichmäßig in zwei massive Betonringe überträgt.

Die Adapter, wie die Übergangsegmente auch heißen, hätten bei kommenden Nabenhöhen zur Achillesferse der Hybridtürme werden können. Das Aufeinandertreffen zweier Materialien mit unterschiedlichen Fähigkeiten und Schwächen ist eine ingenieurtechnische Herausforderung. Passt das Design nicht zu den Lasten, können Schwingungen der Stahltürme zu Rissen im Beton führen.

Auch Platzhirsch **Max Bögl Wind** hat das Übergangsstück durch ein Nachdesign angepasst. Vor allem aber hat er sich 2024 ein drittes Werk zugelegt – zusätzlich zur Turmsegmente-Produktion im nur 12,5 Kilometer Autostrecke vom neuen Wettbewerber entfernten Stammwerk Sengenthal und im schleswig-holsteinischen Werk Osterröhnfeld. Im Juli übernahm Max Bögl eine 2023 vom Baukonzern Bettels im eigenen Auftrag gestartete Betonturmtei-

199

METER Nabenhöhe stehen als nächste Marke der Turmhöhen in Deutschland an.

lieferung in Emden und baute sie auf mehr als 200 Türme pro Jahr aus. Nun können die Sengenthaler 700 Türme jährlich für Windparks in Deutschland, aber auch im Ausland zuliefern.

Bereits jetzt hat das Unternehmen die Fertigung für Nabenhöhen von bis zu 199 Meter ausgelegt. Dies ist das vom Windturbinenbauer Vestas 2022 angekündigte Rekordmaß für den künftig leistungsstärksten Vestas-Onshore-Typ V172, für das die Dänen mit Max Bögl kooperieren. Es wird den Prototyp der nächsten Nordex-Flaggschiff-Anlage N175 um 20 Meter toppen, dessen Rotor der Vestas-Wettbewerber im Januar mit einem eigenen Hybridurm auf erstmals 179 Meter Höhe setzte. Mit einem prämierten Konzept können die Max-Bögl-Leute zudem für große Baustellen im Ausland wie 2018 und 2019 auf einem 90-Anlagen-Feld in Thailand vorgeführt eine mobile Fertigung betreiben. Als jüngste Innovation bewirbt Max Bögl aber einen klimafreundlicheren Beton, mit dem die Turmherstellung nur halb so viel Treibhausgase verursacht ▶

ANZEIGE

Betonwende für die Energiewende

Für die Energiewende muss viel Beton verbaut werden. Beton aber emittiert bei seiner Herstellung sehr viele Treibhausgase. Ein Widerspruch? Nicht für das bayerische Bauunternehmen Max Bögl, das den vermeintlichen „Klimakiller“ im Hybridurm Bögl mit Hilfe von hauseigenen Beton-Forschern klimaneutral machen will. Der aus Stahl- und Betonelementen zusammengesetzte Hybridurm ist eine der wichtigsten Komponenten für moderne Windenergieanlagen mit hohen Naben. „Dabei macht der Betonteil dieser Türme Anlagen bis zu 200 Meter Nabenhöhe erst möglich“, so die Nachhaltigkeitsexpertin der Max Bögl Wind AG, Johanna Grad.

Bei der Betonherstellung kommt Zement als Bindemittel für Sand und Kies zum Einsatz, der bei der Verarbeitung im Zementofen beträchtliche Mengen Kohlenstoffdioxid (CO₂) freisetzt. „Um den Zementanteil im Beton zu senken, haben wir gleich an mehreren Stellschrauben angesetzt“, erläutert Johanna Grad. „Allen voran an neuen Beton-Rezepturen, die künftig bis zu 70 Prozent weniger Zement brauchen.“ Das Ergebnis ist der „Umweltbeton Bögl“, dessen CO₂-Bilanz schon jetzt um 50 Prozent besser ist als bei herkömmlichem Beton. „Die ersten Rezepturen des klima-

„Um den Anteil am CO₂ freisetzenden Zement im Beton zu senken, haben wir Stellschrauben angesetzt. Allen voran Rezepturen mit bis zu 70 Prozent weniger Zement.“

Johanna Grad,
Nachhaltigkeitsexpertin, Max Bögl Wind



Foto: Max Bögl Wind AG / Foto Hailer

Nachhaltigkeitsbeauftragte Johanna Grad

freundlicheren Umweltbetons sind zugelassen und im Einsatz“, so Johanna Grad stolz. „Unsere Windtürme sind somit ein Win-Win für die ganze Windkraftbranche: Sie können aus neuesten Anlagengenerationen das Optimum herausholen und sind zugleich klimafreundlicher als konventionelle Turmlösungen.“ ■



Web-Wegweiser:
mbrenewables.com



Foto: P.E. Concepts



Anschweißkonstruktion für Turmeinbauten im Modell von PE Concepts

BETEILIGTE Firmen dieses Specials

ESM	Telefon: 06252/68930
FUCHS EUROPOLES WIND	Telefon: 09181/8960
HYTORC	Telefon: 089/2309990
MAX BÖGL WIND	Telefon: 09181/9090
PE CONCEPTS	Telefon: 0201/839160

wie ein herkömmlicher Stahlturm (siehe Interview unten). Das ist dringend, weil Zementproduktion viel klimawirksames Kohlendioxid (CO₂) verursacht – und Stahllieferanten bereits die CO₂-Emissionen für Stahltürme reduzieren.

Die Betonsockel haben freilich einen weiteren großen Vorteil im Straßentransport: Reine Stahlrohrtürme dürfen auch im untersten Segment auf dem Fundament den Durchmesser von 4 bis maximal 4,5 Meter nicht überschreiten, damit sie beim Transport noch unter Autobahnbrücken passen. Die Drittel-

DRITTELSCHALEN

sind das Standardkonzept für das Zusammensetzen der Ringsegmente für die Fertigbetonteiltürme.

schalen der Turmrings verursachen dieses Problem nicht und benötigen abgesehen von den komplett gelieferten Adapterringen keine Sondertransporte. Und Bau-Unternehmensgruppen wie Max Bögl und Fuchs Eurocoles können den Turmlieferungen ihrer Windsparten voran auch die Fundamente gießen.

Dennoch warnt Holger Lange davor, andere Entwicklungen zu vergessen. Lange ist Geschäftsführer des Ingenieurbüros **PE Concepts**. Es berechnet mit aktuell 30 Mitarbeitenden in seinen Büros in Essen und Bremen meistens kurzfristige Details ▶

ANZEIGE

„Spannende Interaktion zwischen Regler- und Turmentwicklung“

Warum braucht es noch individuelle Berechnungen für Türme in Zeiten standardisierter Baukasten-Designs?

» **Holger Lange:** Nicht alle Projekte lassen sich mit Standards abbilden, und nicht immer ist die Standard-Lösung die wirtschaftlichste. Deshalb müssen unter Umständen auch standardisierte Türme an spezifische Standortbedingungen wie Bodenverhältnisse, Windlasten und logistische Anforderungen angepasst werden. Zudem steigen die Nabenhöhen und Anlagengrößen kontinuierlich.

Auch weiche Turmauslegungen im Resonanzbereich sind möglich – wie sicher lässt sich das berechnen?

» **Holger Lange:** Weiche Türme ermöglichen höhere Nabenhöhen bei reduziertem Materialeinsatz, brauchen aber eine Abstimmung im dynamischen Bereich zwischen Steuerung der Anlage und Eigenfrequenz des Turmes. Spannend daran ist die Interaktion zwischen Regler- und Turmentwicklung.

Welche Innovationen treibt das PEC-Turm-design weiter voran?

» **Holger Lange:** Uns treiben die ständigen neuen Anforderungen an die Turmhöhen und Anlagengrößen



„Auch standardisierte Türme sind an Standortbedingungen anzupassen.“

Holger Lange,
Geschäftsführer, P.E.
Concepts



ßen an. Gerade die Adapterlösungen der Übergänge zwischen dem Stahlrohr und dem Fachwerk-, Betonfertigteil- und Holzturm sind die großen Herausforderungen. Zusätzlich arbeiten wir an ermüdungsoptimierten Anschlusslösungen, die einen Kerbfall über 90 möglich machen.

Wann sind Stahl-, wann Hybrid-, wann Fachwerkürme die bessere Wahl?

» **Holger Lange:** Stahltürme sind bis 120 Meter wirtschaftlich. Künftig wird der Stahlrohrturm bis zum Blattspitzendurchgang wegen des geringen Durchmessers ohne Alternative sein. Der untere Teil wird nur so realisierbar: Betonfertigteile lassen große Steifigkeiten zu und werden direkt vor Ort zusammengesetzt. Stahlfachwerkürme bieten eine modulare Konstruktion mit einfachem Transport. Holzkonstruktionen sind eine nachhaltige Alternative. Längsverschraubte Stahlrohre erlauben größere Durchmesser durch segmentierte Montage vor Ort. Welche Lösung die beste ist, hängt an unzähligen Randbedingungen wie Umstände vor Ort, Materialpreise, Optik, Logistik, CO₂-Preise und mehr. (TW) ■

Foto: P.E. Concepts

» **Web-Wegweiser:**
p-e-c.com

Impulsdämpfer: Schutz vor wirbelerregten Querschwingungen

Wachsende Nabenhöhen beantworten Turmbauer mit Beton-Stahl-Hybridkonzepten – oder Turbinenbauer wie Projektierer gleichen verbleibende Instabilitäten reiner Stahltürme mit Schwingungstilgern aus. Sie empfehlen jetzt Impulsdämpfer. Warum?

» **Lukas Schneider:** Schwingungstilger und Impulsdämpfer werden hauptsächlich für reine Stahltürme verwendet, da diese kleine Strukturdämpfungen aufweisen und daher anfällig für wirbelerregte Querschwingungen sind. Dieses Strömungsphänomen ist von Schornsteinen bekannt, wird bei Windrädern aber erst in jüngster Zeit relevant. Es tritt zwar nur selten auf, kann aber zu extremen Turmschwingungen führen. Impulsdämpfer sind per se besser für extreme Schwingungen geeignet, da Anschläge Teil des Konzepts sind und die Masse nur kurze Wege zurücklegt. So können Impulsdämpfer das Windrad vor wirbelerregten Querschwingungen effektiv schützen, ohne sich selbst zu beschädigen.

Warum treten diese wirbelerregten Querschwingungen gerade in dieser technologischen Entwicklungsphase so vermehrt auf?

» **Lukas Schneider:** Die wirbelerregten Querschwingungen führen zu sinusförmigen Kräften auf den Windradturm. Die Frequenz dieser Kräfte wird durch die Windgeschwindigkeit und das Turmdesign, das heißt den Verlauf des Turmdurchmessers und der Biegeeigenfrequenzen bestimmt. Mit höheren und weichen Türmen sinken die Biegeeigenfrequenzen des Turms, wodurch wirbelerregte Querschwingungen häufiger und länger auftreten können. Impulsdämpfer stören und dämpfen dieses Schwingverhalten und verhindern somit eine unerwünschte zusätzliche Schädigung des Turms durch extreme Schwingungen.

Die Impulsdämpfer sind wesentlich kostengünstiger, so werben Sie. Warum?

» **Lukas Schneider:** Impulsdämpfer bauen konzeptbedingt wesentlich kompakter. Im Gegensatz dazu benötigen Schwingungstilger auch Pendelstangen, Lager, Dämpfereinheiten und Federn, die besonders bei großen Zyklenzahlen gut ausgelegt werden müssen. Wegen der großen Turmampplituden bei wirbelerregten Querschwingungen sind Endanschläge erforderlich. Der Impulsdämpfer von ESM besteht lediglich aus einer Masse, die auf Reibfüßen gleitet und die nach einem kurzen Weg in Endanschläge einfedert und gebremst wird. Zusätzlich kann der Impulsdämpfer so ausgeführt



„Bei großen Turmbewegungen kann der Impulsdämpfer seine Vorteile ausspielen.“

Lukas Schneider,
Abteilungsleiter
Schwingungstilger,
ESM Energie- und
Schwingungstechnik
Mitsch GmbH



Foto: ESM

werden, dass er lediglich bei extremen Schwingungen arbeitet und somit wenig Zyklen erfährt. Diese Vorteile ermöglichen ein kostengünstiges System.

Inwiefern können die Dämpfer die Tilger ersetzen und wann sollten Dämpfer die Tilger lieber ergänzen?

» **Lukas Schneider:** Bei kleinen Bewegungen des Turms, bei denen der Impulsdämpfer noch nicht gleitet, erzielt der Schwingungstilger bessere Ergebnisse. Diese kleinen Bewegungen sind aber meist durch höherfrequente Bewegung aus der Anlagendynamik dominiert, wodurch auch von einem Schwingungstilger keine große Wirkung zu erwarten ist. Schwingungstilger wie auch Impulsdämpfer sind für sinusförmige Schwingungen in dem Frequenzbereich geeignet, für den sie ausgelegt sind. Bei großen Turmbewegung kann der Impulsdämpfer seine Vorteile ausspielen, ohne Schaden zu nehmen.

Also, im Zweifelsfall ergänzen sich beide. Wann ist der richtige Zeitpunkt, sie einzusetzen? Lassen sie sich auch später im Windpark bei unerwartetem Auftreten solch heikler Schwingungen nachrüsten?

» **Lukas Schneider:** Impulsdämpfer werden üblicherweise während der Errichtung installiert, können aber mit größerem Aufwand auch nachgerüstet werden. Die Notwendigkeit eines Impulsdämpfers wird im Idealfall während des Turmdesigns bei der Berechnung der wirbelerregten Querschwingungen gemäß Eurocode EN-1991-1-4 ermittelt.

Genügt es die Dämpfer in einer Minderheit strategisch ausgewählter Türme in einem Windpark einzusetzen, um ein Hochschwingen der Türme zu verhindern?

» **Lukas Schneider:** Es gibt Untersuchungen zu eng stehenden Offshore-Türmen in Häfen, die zeigen, dass sich wirbelerregte Querschwingungen sogar verstärken können. In Onshore-Windparks stehen die Türme weit auseinander und die einzelnen Wirbel hinter den Türmen können nicht mit anderen Türmen interagieren. Es lässt sich jedoch nicht ausschließen, dass zum Beispiel durch Wirbelschleppen hinter den Blättern die Umströmung der folgenden Türme beeinflusst wird. Dennoch muss konservativ davon ausgegangen werden, dass jeder Turm eines Projekts einen Impulsdämpfer benötigt. (TW) ■



Web-Wegweiser:
esm-gmbh.de

auch für die Hybridturmerrichtungen wie Bodenverhältnisse, Windlasten und logistische Anforderung, um „unter Umständen auch standardisierte Türme an Standortbedingungen“ anzupassen, wie Lange sagt (siehe Interview vorige Seite). Zudem bietet es technische Beratung für Turminnovationen an. „Spannend“ findet Lange den Einsatz sogenannter weicher Stahlrohrtürme, denen bei schmalen Fußdurchmesser und ohne besonders verdickte Stahlwände ohne Innovationen beim Anfahren des Rotors stabilitätsgefährdende Schwingungen drohen würden. Dank neuer Steuerungseinstellungen lassen diese Turbinen den gefährlichen Schwingungsbereich beim Anfahren aber sofort hinter sich.

Zwar sieht Lange die Hybridarchitektur ab mehr als 120 Meter Nabenhöhe als „ohne Alternative“ an. Doch kann er sich auch Fachwerktürme unterhalb des Blattspitzendurchgangs vom Rotor vorstellen, Holzturmssockel oder längsverschraubte Stahlrohtürme (international üblich: MST). Solche MST bestehen aus gewölbten beziehungsweise mehrfach geknickten Stahlplatten, die Montageteams auf der Baustelle an den Platten-Längsseiten zu hohen Turmsectionen verschrauben. Bislang setzt Anlagenbauer Enercon auf sie, insbesondere bei Turmhöhen bis knapp unter 140 Meter, allerdings wie an einem Standort in Südkorea 2024 auch für sehr leistungsstarke Großanlagen wie E-160. Der Trend werde sich nach Materialpreisen, Optik, Logistik und CO₂-Preisen im als Klimaschutz betriebenen Emissionsrecht-handel richten, sagt Lange.

Schwingungen dürften freilich mit keinem Turmkonzept gänzlich aus den Großbauwerken zu verbannen sein. Die Heppenheimer **Energie- und**



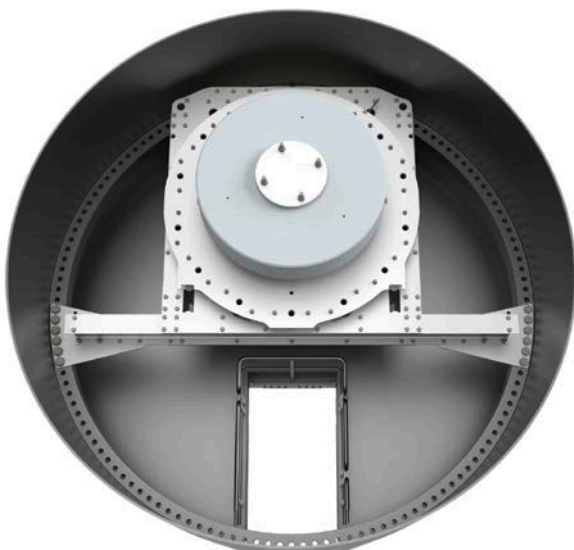
Fuchs-Europoles-Turmsegment beim Aufbau

Foto: FUCHS Europoles Wind

130

METER Nabenhöhe und noch etwas mehr sind ein Maß, bei dem Turbinenbauer die Windenergieanlagen auch auf modularen längsverschraubten reinen Stahlsegment-Türmen aufstellen können.

Foto: ESM



Impulsdämpfer von ESM im Turm – hier im Querschnitt

Schwingungstechnik Mitsch (ESM) entwickelt und produziert in Deutschland und China mit 130 Mitarbeitenden Schwingungstilger und Impulsdämpfer. Sie setzt die bereits etablierte und bewährte Technologie in Maschinenhäuser oder Türme von Windenergieanlagen, um Schwingungen durch gegenläufig bewegte Schwungmassen zu stören oder zu bremsen. Wo es die Türme betrifft, geschieht dies fast nur in den stärker schwingenden reinen Stahlzylindertürmen. ESM liefert weltweit aus, noch habe der deutsche Markt „nur geringeren Einfluss“ aufs Gesamtgeschäft, teilen die Südhessen mit.

Ob der hohe Hybridturm-Anteil am deutschen Markt die Bestellungen hierzulande grundsätzlich dämpft, bleibt abzuwarten. Jetzt aber meldet sich ESM mit einer Empfehlung zum Einsatz gerade der Impulsdämpfer in größeren und weichen Stahlrohtürmen (siehe Interview vorige Seite). Bei solchen helfen die Dämpfer gegen wirbelerregte Querschwingungen. Sie treten auf, wenn sich in extremen Windsituationen an zwei Seiten des Turms „gegenphasig“ Wirbel lösen, wie der Verlauf der auf der einen und dann der anderen Seite passierenden Strömungsstörung physikalisch zu beschreiben ist. Diese ziehen das Bauwerk abwechselnd zur einen und zur anderen Seite. Die Impulsdämpfer für Türme lassen sich so einstellen, dass sie anders als die Tilger für hochfrequente Schwingungen aus dem Maschinenhaus erst bei starken Auslenkungen arbeiten.

Doch auch Art und Weise von Turminnenausbauten entscheiden über Stabilität und Wirt- ➤

Turmverschraubungen von Windenergieanlagen: Kostensparnis durch optimal ausgelastete Schraubverbindungen

Die Anforderungen an Schraubverbindungen in Windenergieanlagen steigen – und mit ihnen der Bedarf an neuen Lösungen. Ein innovatives Turmflanschkonzept bietet eine wirtschaftliche, sichere und langlebige Alternative zu herkömmlichen Verschraubungstechniken. Dank optimierter Konstruktion, höherer und gleichmäßiger Vorspannkraft sowie reduziertem Wartungsaufwand entsteht eine nachhaltige und kosteneffiziente Lösung für die Windindustrie.

Herausforderungen bei der Verschraubung von Windtürmen

Schraubverbindungen an On- und Offshore-Windtürmen werden größer – und schwerer. Größen wie M56, M64 und M72 sind Standard. Der herkömmliche Ringflansch bleibt dabei die bevorzugte Lösung. Herausforderungen wie körperlich belastende Tätigkeiten, Setzverluste, ungleichmäßige Vorspannkraft und hoher Wartungsaufwand erfordern neue Lösungen zur Verbesserung von Sicherheit, Effizienz und Kostenkontrolle.

Das innovative Turmflanschkonzept: Mehr Sicherheit, weniger Wartung

Das HYTORC-Turmflanschkonzept nutzt die von APQP4-Wind empfohlene Industrial Standard Roundnut (ISR-Standard-Bundmutter, Abbildung 1), die von verschiedenen Herstellern angeboten wird. Sie erfüllen die Anforderungen an Klasse-2-Muttern und können als voll tragfähig eingestuft werden. Ihre spezielle Geometrie ermöglicht das prozesssichere Verschrauben in den überelastischen Bereich; das sorgt für dauerhaft stabile Vorspannkraft und wartungsarme Verbindungen. Dabei kommen die seit Jahrzehnten in der Windkraft bekannten hydraulischen Standard-Drehmomentschrauber zum Einsatz.

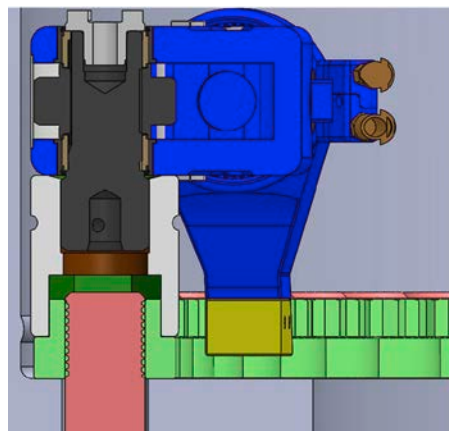


Abbildung 3: Verdichtete Verschraubung mit weniger Abstand zur Turmwand mit verbesserter Kraftableitung

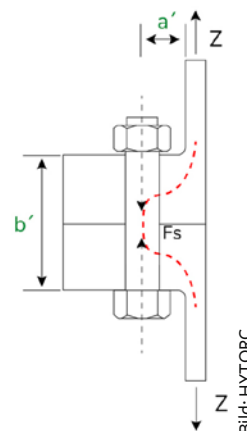


Bild: HYTORC

Abbildung 1: links die ISR-Standard-Bundmutter, rechts die Doppelsechskantmutter



Foto: HYTORC

Unabhängige Versuche zeigen: Allein durch die Verwendung von ISR-Standard-Bundmutter in Kombination mit prozesssicheren überelastischen Anzugsverfahren kann die Vorspannkraft um bis zu 20 Prozent gesteigert werden (Abbildung 2).

Die kompakte Geometrie der ISR reduziert die Schlüsselweiten um bis zu 20 Millimeter (bis zu vier Schlüsselweiten) und minimiert den Platzbedarf. Hierbei wird die ISR-Standard-Bundmutter auf Doppelsechskant geändert. Dadurch wird der Bunddurchmesser zum einzigen relevanten Platzfaktor, was eine engere Positionierung zur Turmwand ermöglicht (Abbildung 3). Auf dem vergrößerten Teilkreis können mehr Schrauben untergebracht werden – ohne zusätzlichen Bauraum für Stecknüsse. Dies erlaubt den Einsatz kleinerer, leichter Drehmomentschrauber. Doppelsechskantmutter ermöglichen eine prozesssichere Montage im überelastischen Bereich.

Messbare Vorteile des HYTORC-Turmflanschkonzept

- 10 Prozent geringerer Schraubenabstand zur Turmwand
- 10 Prozent mehr Schrauben auf dem vergrößerten Teilkreis
- Mindestens 90 Prozent „Rp_{0,2nom}“ Vorspannkraft für mehr Stabilität
- 5 Prozent weniger Setzverluste und gleichmäßigere Vorspannkraft
- Materialeinsparung am Turmflansch ohne Stabilitätsverlust
- Weniger Wartung durch langlebige Verbindungen
- Schnellere Montagezeiten für geringere Baukosten
- Halbautomatische HYTORC-Trolley-Montagen reduzieren die körperliche Belastung

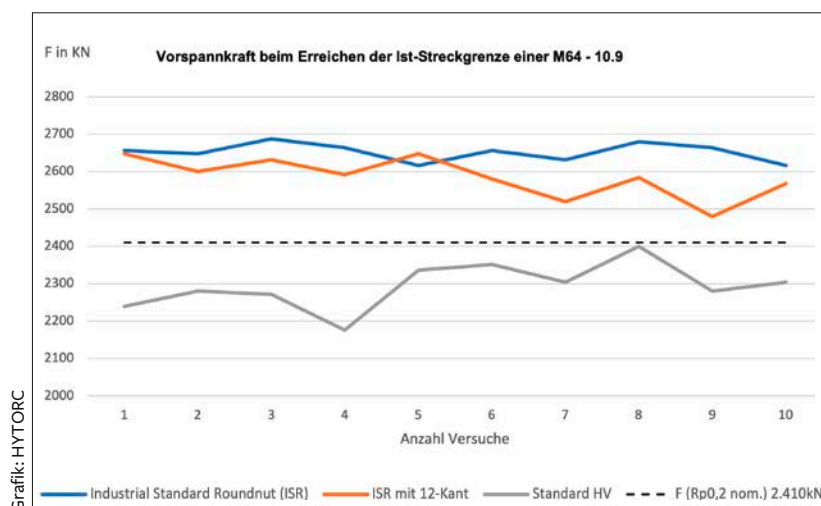


Abbildung 2: Versuche zeigen eine wiederholgenaue, gleichmäßige Vorspannkraft

» Web-Wegweiser:
hytorc.de/turmverschraubung



Foto: graupause | Filmkreation

Turmbau bei Max Bögl

schaftlichkeit von Türmen. Angesichts unzähliger Schrauben ist die Sicherheit der Gewindekonstruktionen gegen Rissbildungen ebenso ein nicht zu vernachlässigender Kostenfaktor wie die Handhabbarkeit des Verschraubens bei Montage und Wartung. So hält etwa PE Concepts ein Patent auf angeschweißte Innengewinde mit einer speziellen inneren Ausformung, die eine Fehlleitung der Spannungen im Turm ans Gewinde vermeiden.

Flansche zum Aufmontieren von Stahlturmsegmenten mit bis zu 100 und mehr Schrauben sind entsprechend ein Ort, um offenbar viel Wirtschaftlichkeitspotenzial bergen zu können. Der deutsche Vertriebspartner des US-amerikani-

300

METER Nabenhöhe erlaubt das Gittermastturmkonzept von Gicon auf der Gemarkung der brandenburgischen Gemeinde Schipkau inmitten mehrerer Teile eines Windkraft-Solar-Parks.

schen Verschraubungstechnikers **Hytorc** hat dies mit neuem Flanschdesign und mobilen Drehmomentschraubvorrichtungen in Angriff genommen. So gelang es dem bei München gelegenen Unternehmen, die Schrauben näher an die Turmwand zu rücken, um die Kraftübertragung zu verbessern. Auch dank Muttern, die eine kleinere Schlüsselweite erfordern, rückten die Schrauben um zehn Prozent nach außen, brauchen schmalere Flansche und sparen Stahl. So lassen sich zehn Prozent mehr kleinere und leichtere Schrauben einsetzen und die Krafteinleitung aus Lasten im Turm auf mehr Schrauben verteilen (siehe vorige Seite). Mit zudem einem „streckgrenzgesteuerten Anzugsverfahren“ lassen sich die Schrauben prozesssicher hydraulisch in den überelastischen Bereich anziehen. Das erlaubt höhere und gleichmäßigere verteilte Vorspannkraft von Schraube zu Schraube und macht Schraubverbindungen wohl wartungsärmer.

Ein spezieller halbautomatischer Montagewagen erübrigt zudem die Praxis, Schrauben zuerst für das Feinjustieren beim Aufsetzen der oberen Turmsegmente von unten einzusetzen, sie dann herauszunehmen und neu von oben einzusetzen, um sie von dort verschrauben zu können. Der Montagewagen erlaubt das Direktverschrauben von unten mit mobilen hydraulischen Drehmomentschraubern. So dauert eine Segmentmontage mit zwei Montagewagen nur etwa eine Stunde. Das Montagepersonal ist körperlich entlastet. Die Produktion erfolgt in den USA und in Deutschland – Lieferungen sollen je nach Produkt oder Dienstleistung der 50 Mitarbeitenden binnen einer bis vier Wochen erfolgen. ■



Foto: graupause | Filmkreation

Prüfender Blick eines Mitarbeiters bei Max Bögl.



Jetzt zugreifen! EXPERTENWISSEN AUS 1. HAND

z. B. das umfassende
ONLINE-ARCHIV

Als Premium-Abonnent haben
Sie Zugriff auf alle Beträge der
letzten Jahre.

Exklusiv für unsere PREMIUM-Abonnenten.
Fachübergreifende Angebote aus den Bereichen
Haus-, Gebäude- und Fassadentechnik.

- Print
- E-Paper
- Online-Archiv
- Fokus Themensammlungen
- vergünstigte Webinare

**DIE PREMIUM-
MITGLIEDSCHAFT**

Jetzt anmelden!

Profitieren Sie vom Know-how unserer Redaktionen.
Mehr erfahren unter:
www.erneuerbareenergien.de/premium



Ihr Experte in der Gebäude- und
Fassadentechnikbranche

Gentner 