

Beschreibung des Bauvorhabens

Auf Wunsch der Firma Marc Power GmbH, später VENCO Power, wurde im Rahmen des Forschungsprojekts „Hochleistungsholztragwerke“ für die Kleinwindenergieanlage Twister-1000-T alternativ zu der üblichen Bauart mit Stahlmast ein Prototyp mit einem Holzprofilmast entwickelt.

Die Anlage mit Vertikalach rotor besitzt eine Gesamthöhe von knapp 9 m und eine Nennleistung von 1 kW. Sie beginnt sich bei einer Windgeschwindigkeit von 1,5 m/s zu drehen, ihr Arbeitsbereich liegt bei Windgeschwindigkeiten zwischen 3,5 m/s und 20 m/s. Darüber hinaus muss sie in der Parkstellung einer Spitzenwindgeschwindigkeit von 50 m/s standhalten.

Statische und dynamische Untersuchungen in der Entwicklungsphase, die darauf basierende Vordimensionierung des Holzastes und seiner Anschlusspunkte sowie die Testmessungen an der fertig gestellten Anlage erfolgten an der Technischen Universität Dresden, Institut für Stahl- und Holzbau, unterstützt durch die beiden Verbundpartner laFB e.V. und HESS Wohnwerk GmbH & Co. KG, jetzt Hess Timber GmbH & Co. KG. Die für die Baugenehmigung erforderlichen statischen Nachweise für die tragende Konstruktion wurden von der KRONE Ingenieurbüro GmbH, jetzt Krone Hamann Reinke Ingenieurbüro GmbH, erarbeitet. Die Fertigung des Holzastes erfolgte durch die Firma Hess Timber GmbH & Co. KG.

Der Prototyp wurde im Jahr 2008 auf einem Windkraftanlagentestfeld in Cuxhaven errichtet und im Jahr 2010 auf Privatgelände nach Wremen versetzt. Ein zweiter Prototyp (mit anderem Fußpunkt, auf den in dieser Dokumentation jedoch nicht näher eingegangen wird) wurde im Jahr 2010 auf einem Privatgelände in Chemnitz errichtet.

Für eine Typenzulassung sind insbesondere die Nachweise zur Betriebsfestigkeit der Anlage zu ergänzen.

Zielsetzung des Bauvorhabens

Zielsetzung des Vorhabens war es, den Stahlmast der Windenergieanlage durch einen Mast aus dem nachwachsenden Rohstoff Holz zu ersetzen, um damit dem Anliegen der nachhaltigen Energieerzeugung vollständiger Rechnung zu tragen.

Daraus ergab sich für den Forschungsverbund die Aufgabe, einen Holzmast zu entwerfen, der zum einen ausreichend tragfähig und für die freie Bewitterung geeignet ist und zum anderen für günstige Schwingungseigenschaften der Windeenergieanlage sorgt. Hierbei sollte insbesondere eine Erhöhung der System-Biegeeigenfrequenz der Anlage sowie eine gegenüber der Stahlvariante erhöhte Dämpfung erzielt

werden, um die Schwingungsamplituden im Resonanzfall zu begrenzen. Darüber hinaus mussten geeignete Verbindungsmittel für den Anschluss des Maschinenteils der Anlage am Mastkopf sowie für die Verankerung des Mastfußes im Fundament entwickelt werden.

Die folgende Abbildung zeigt links die Stahlmastvariante der Anlage und rechts den Prototypen mit Holzmast in Cuxhaven.



Abbildung 1: MARC-Twister-1000-T, links: mit Stahlmast, rechts: Prototyp mit Holzmast

Kontakt	Ansprechpartner	Telefon	E-Mail
Institut für angewandte Forschung im Bauwesen (laFB) e.V., Sophienstr. 33A, D-10178 Berlin	Hr. Hamann; Fr. Untergutsch	++49 (0)30 28 39 28 -0	mail@iafb.de

Ausführung des Holzastes und seiner Verbindungen

Die Masthöhe beträgt 7,7 m, der Außendurchmesser des Rohrs am Fuß 690 mm, an der Spitze 230 mm. Damit ergibt sich für das konisch zulaufende Rohr ein Neigungswinkel der Wandung von 1,7° gegenüber der Stabachse. Eine Ausführung des Mastes als Formholzprofilrohr (siehe auch HHT-Praxisempfehlung „Formholzrohre“) war aus fertigungstechnischen Gründen noch nicht möglich. Stattdessen wurde ein aus Segmenten zusammengeklebtes Holzprofilrohr mit annähernd rundem Querschnitt gefertigt. Hierfür wurden 12 trapezförmige Segmente aus 80 mm dickem Brettschichtholz GL32h geschnitten, ausgerichtet, mit Nut-Feder-Verbindungen lagegesichert und mit Resorcinharz zu einem zwölfkantigen Hohlprofil verleimt.

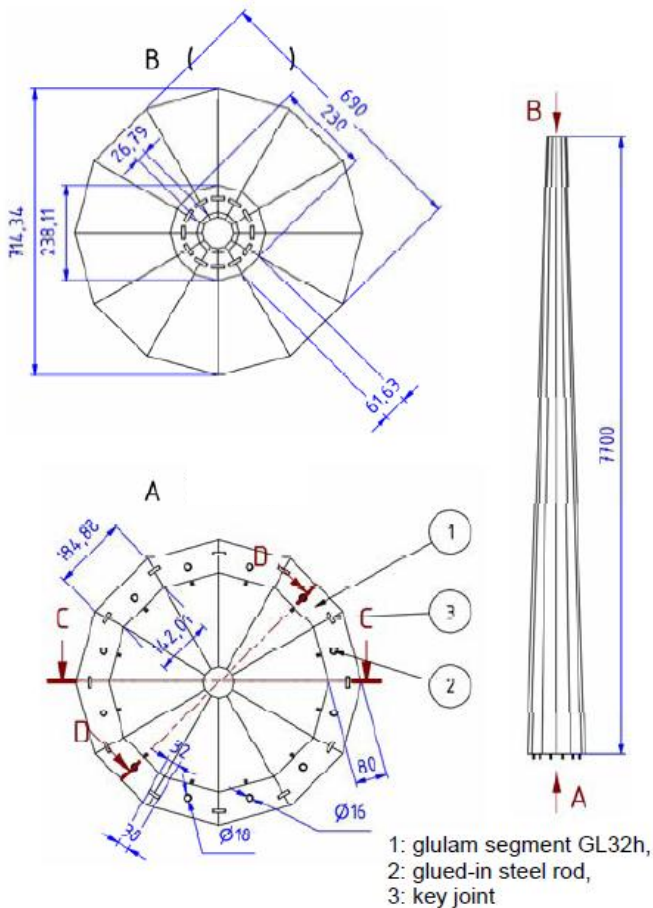


Abbildung 2: Aufsichten Holzprofilrohrfuß (A) und -kopf (B), Ansicht Mast

Um den Mast zu verstärken und eine ausreichende Dauerhaftigkeit des Holzes bei freier Bewitterung bei Wahrung der Holzzeitigkeit sicherzustellen, wurde eine 1,9 mm dicke transparente Glasfaserarmierung aufgebracht und mit einem UV-beständigen Schutzlack versehen.

Aufgrund der geringen Schub- und Torsionsfestigkeit des Holzes wurde die Glasfaserarmierung (zwei bidirektionale Vliese von jeweils 610 g/m² zzgl. einer Matte von 225 g/m²) mit einer Faserorientierung von ±45° (bezogen auf die Mastachse) appliziert.

Für Kopf- und Fußpunkt des Mastes wurde eine dichte Ausführung geplant, um Wasser vom Mastinneren fern zu halten.

Zur Befestigung des Maschinenteils der Anlage wurde über den Mastkopf ein Stahlrohrprofil mit aufgeschweißter Kopfplatte geschoben und mit diesem verschraubt.



Abbildung 3: Verbindung des Mastes mit dem Maschinenteil

Der Mastfuß wurde mittels eingeklebter Gewindestangen mit einer im Stahlbetonfundament verankerten Fußplatte aus Stahl verschraubt.



Abbildung 4: Fuß des armierten Holzastes mit 12 herausstehenden Gewindestangen vor der Verankerung im Fundament

Ein auf die Fußplatte geschweißter Stahlring bietet die Möglichkeit des Anschlusses mittels Schrauben, welche jedoch nur beim 2. Prototyp genutzt wurde. Beim hier gezeigten 1. Prototyp blieben die Löcher frei. Die Zugkräfte werden über die Gewindestangen übertragen, die Druckkräfte über Flächenpressung. Der Stahlflansch dient in diesem Fall lediglich der Schubkraftübertragung.



Abbildung 5: Fußpunkt der Windkraftanlage

Dynamisches Verhalten

Wie Schwingungsuntersuchungen in der Entwicklungsphase und Messungen am errichteten Prototyp zeigten, konnte mit dem gewählten Holzprofilmast ein günstiges Schwingungsverhalten erreicht werden. Das gegenüber dem Stahlmast reduzierte Eigengewicht und der sich zum Mastkopf verjüngende Holzprofilquerschnitt führten zu der gewünschten Erhöhung der Biegeeigenfrequenz des Mastes. Beim Durchlaufen dieser Frequenz werden die auftretenden resonanzbedingten Amplituden des Mastes aufgrund der hohen Materialdämpfung des Holzes stark reduziert (vgl. [1] und [2]). Ein wesentlicher Vorteil des Baustoffs Holz war zudem die einfache Herstellbarkeit des konischen Profils ohne zusätzliche Verbindungen.

Kosten des Holzastes

Die Fertigungskosten des Holzastes im Segmentverfahren einschließlich der Anschlüsse lagen etwa im Bereich der Kosten der entsprechenden Stahlkonstruktion. Hier besteht daher noch Optimierungspotential. Bei der Ausführung des Mastes als Formholzprofilrohr ist mit einer Kostenreduktion zu rechnen.

Dauerhaftigkeitsaspekte

Die außen aufgebrachte Armierung dient nicht nur der Tragfähigkeitssteigerung sondern bietet in Kombination mit der Matrix, einem Epoxidharz, und dem aufgebrachten Schutzlack auch Schutz vor freier Bewitterung. Nach etwa einem Jahr Standzeit in Cuxhaven wurden vom ISH Probebohrungen am Mast vorgenommen, die zeigten, dass im Inneren der Röhre keinerlei farbliche Veränderungen am Holz aufgetreten sind, welche auf einen möglichen Pilzbefall oder Fäule hindeuten könnten. Auch wurden keine optischen Delaminierungserscheinungen am transparenten GFK-Holz-Verbund beobachtet.

Im August 2010 begutachtete das laFB die inzwischen versetzte Windkraftanlage erneut. Im Gegensatz zum Jahr 2009 waren nun Delaminierungserscheinungen erkennbar. Zwar hat sich an keiner Stelle die textile Verstärkung von der Holzoberfläche gelöst, die Epoxidharzmatrix wurde jedoch abgebaut, so dass einerseits die Struktur der Glasfasermatten in Erscheinung tritt und die Holzstruktur verdeckt, andererseits auch die Überlappung der Fasermatten sichtbar sind (vgl. Abbildung 6). Dies ist zumindest ein optischer Mangel. Die Bewitterungs- bzw. UV-Beständigkeit des verwendeten Faser-Kunststoffverbundes ist nach der Sichtprüfung kritisch zu bewerten und sollte in zukünftigen Projekten näher untersucht werden.



Abbildung 6: Windkraftanlage im August 2010

Literatur

- [1] Heiduschke, P. Kubowitz. M. Hamann, R. Thompson, P. Haller: Tubular timber poles for small wind turbines. Beitrag zur 11th WCTE (World Conference on Timber Engineering). Italien, Trentino, Juni 2010 (Poster Session 22.06.2010; ID 72)
- [2] Abschlussbericht zum BMBF-Vorhaben „Hochleistungsholztragwerke – HHT – Entwicklung von hochbelastbaren Verbundbauweisen im Holzbau mit faserverstärkten Kunststoffen, technischen Textilien und Formpressholz“, Februar 2011

Kontakt	Ansprechpartner	Telefon	E-Mail
Institut für angewandte Forschung im Bauwesen (laFB) e.V., Sophienstr. 33A, D-10178 Berlin	Hr. Hamann; Fr. Untergutsch	++49 (0)30 28 39 28 -0	mail@iafb.de