

Türme aus Holz für Windkraftanlagen

Timber pylons for wind power plants

Torri in legno per centrali eoliche

Tours en bois pour éoliennes

Gregor Prass
Bauingenieur, Geschäftsführer
TimberTower GmbH
Hannover, Deutschland



Türme aus Holz für Windkraftanlagen

Holz ersetzt Stahl im Maschinenbau am Beispiel der Windkraft

1. Einleitung

Lange Zeit war Holz der vorherrschende Werkstoff beim Bau von Windkraftanlagen. Erst in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde Holz mehr und mehr durch Stahl ersetzt. Heute spielt Holz bei der Produktion von Windkraftanlagen so gut wie keine Rolle mehr. Hauptgrund für diese Entwicklung war der Umstand, dass es sich bei Windkraftanlagen um Maschinen handelt und diese wiederum von Maschinenbauingenieuren entwickelt und gebaut werden. Diese Berufsgruppe besitzt leider keinerlei Kenntnis über Holz, außer das es brennt, fault und Belastungen nicht standhält.

In jüngster Zeit vollzieht sich in der Windkraft eine Trendwende. Dabei gibt es zwei Gründe, weshalb Holz für die Windkraft interessant ist. Auf der einen Seite hat der Stahlpreis immer wieder neue Höchststände erreicht, auf der anderen Seite findet eine Entwicklung hin zu immer größeren und vor allen Dingen höheren Windkraftanlagen statt. Dies führt dazu, dass Anlagen mit Türmen¹ über 100 Meter Gesamtlänge oft nicht mehr wirtschaftlich für den Anlagenbauer sind. So wird zurzeit fieberhaft nach Alternativen zum bekannten Stahlturm gesucht. In der Erprobung sind Betontürme, Gittermasten aus Stahl oder so genannte Hybridtürme (Beton und Stahl in Kombination). Keines dieser Konzepte konnte bisher nachhaltig überzeugen.

Ein Werkstoff wurde bisher übersehen: Holz. Holz bietet viele Vorteile, insbesondere wenn es um dynamische Lasten geht. Weiterhin ist Holz ein kostengünstiges und logistisch einfach zu verwendendes Material, welches fast überall auf der Welt vorzufinden ist. So hat es sich die TimberTower GmbH zum Ziel gesetzt, zu beweisen, dass Holz ein geeigneter Werkstoff ist, um Windkraftanlagen der Multimegawattklasse zu tragen und damit zu zeigen, **dass Holz in der Lage ist, Stahl im Maschinenbau zu ersetzen.**

Der folgende Aufsatz beginnt mit einer kleinen Abhandlung zur Geschichte der Windkraft. Daran schließt sich die Betrachtung des Marktes für Windkraftanlagen an. Nach diesem Einstieg wird die Entstehungsidee der Holztürme geschildert, um im Anschluss die technischen Details des TimberTower zu diskutieren.

Ich wünsche den geneigten Lesern und Leserinnen viel Spaß bei der Lektüre.



Abbildung 1: Der TimberTower in seinem zukünftigen Offshore Einsatz

¹ Masten sind abgespannte Bauwerke und sind nur bei kleinen Anlagen noch üblich. Türme stehen auch ohne Abspannung unterscheiden sich darin von Masten.

2. Die Entwicklung der Windkraft

Lange Zeit wurde Windkraft vor allem für das Pumpen von Wasser oder das Mahlen von Getreide genutzt.

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts begann die Elektrifizierung. Bereits in den 1920er Jahren war ein großer Teil der deutschen Dörfer bereits an das Verbundnetz angeschlossen. Zur Verbesserung der Versorgung wurden Versuche unternommen, vorhandene Windmühlen mit einem Dynamo umzurüsten. Einen ersten Aufwind nahm die Entwicklung der Windkraft durch die Treibstoffverteuerung und -verknappung im Ersten Weltkrieg. In der ganzen Welt entstanden in der Folge viele Versuchs- und Forschungsanlagen. Bedeutende Anlagen gab es ausser in Dänemark und Deutschland insbesondere in der Sowjetunion und den USA.

Als Begründer der modernen Windkraftnutzung gilt Albert Betz (* 1885; † 1968), Physiker und damaliger Leiter der Aerodynamischen Versuchsanstalt Göttingen, der 1920 die wissenschaftlichen Grundlagen² zur Nutzung der Windkraft legte. Die von ihm gefundenen Gesetzmäßigkeiten sind heute die Grundlage der Formgestaltung von Flügeln der Windkraftanlagen.

1941 wurde in den USA eine 1,25 MW-Anlage errichtet, ein Leeläufer³ mit zwei Flügeln.

1951 hat der deutsch-österreichische Windkraft-Pionier Ulrich W. Hütter eine 10-kW-Anlage errichtet. Ca 200 Anlagen wurden insbesondere nach Afrika und Asien exportiert. Diese Anlage wurde mit dem Ziel der Serienfertigung entwickelt.

1975 baute der dänische Zimmermann Riisager eine 22 kW-Anlage, die in Dänemark die Massenproduktion auslöste und Dänemark bis zum Ende des 20. Jahrhunderts zum Weltmarktführer machte.

Die Vielzahl der Rotorenformen und Anordnungen verschwand zu Beginn der 1980er Jahre und es setzte sich aufgrund der großen Nachfrage insbesondere aus den USA das dänische Konzept⁴ bei Windkraftanlagen durch.

1983 bis 1987 stand im Kaiser-Wilhelm-Koog⁵ die Versuchsanlage GROWIAN⁶ (Große Windkraft-Anlage). Lange Zeit war sie die größte Anlage der Welt.

Der 26. April 1986 war der Tag, der die Windkraft bedeutend prägte. Die Katastrophe von Tschernobyl sorgte für ein Umdenken in der Energiepolitik und war so wie ein Katalysator für die Windbranche.

Der 7. Dezember 1990 war der Tag, an dem das deutsche Stromeinspeisungsgesetz in Kraft trat, dem Vorläufer des Erneuerbare-Energien-Gesetz⁷ (EEG 29.03.2000). Mit diesem Gesetz wurden die Rechtsgrundlagen für die Einspeisung gelegt und eine gesetzliche Vergütung. Nun mussten 5,5 ct/kWh vom Energieversorgungsunternehmen (EVU) vergütet werden.

² Diese **Grundlagen** werden nach Betz als das „Betz'sche Gesetz“ bezeichnet. Unter anderem zeigt sich hieraus, dass das physikalische Maximum der Ausnutzung der kinetischen Energie des Windes bei 59,3% liegt.

³ Als **Leeläufer** werden Anlagen bezeichnet, deren Rotor in Windrichtung hinter dem Turm angeordnet ist.

⁴ Unter dem **dänischen Konzept** versteht man einen Asynchronmotor (Kurzschlussläufer) mit fester Drehzahl und drei starren Rotorblättern. Ein Luvläufer. Die Steuerung erfolgt durch Stalleffekt (Strömungsabriss.) Diese Konstruktionsweise ist typisch für alle modernen Anlagen bis zu einer Größe von ca. 800-kW.

⁵ Der **Kaiser-Wilhelm-Koog** liegt im Landkreis Dithmarschen, an der nördlichen Elbmündung. Im KWK befindet sich die Firma WINDTEST Kaiser-Wilhelm-Koog GmbH.

⁶ Die **GROWIAN** hatte einen Zwei-Flügelrotor und war als Leeläufer ausgelegt. Der Rotor hatte einen Durchmesser von 100,4 m. Die Anlage hatte eine Nennleistung von 3 MW.

⁷ Das **EEG** war das erste seiner Art und Vorlage für viele ähnliche Gesetze weltweit. Die Vergütung durch das EEG ist für alle Anlagen gesondert zu ermitteln. Insbesondere ist der technologische Stand der Anlage von Bedeutung, so dass hierfür noch zusätzliche Boni möglich sind. Aktuell sind somit 8,03 ct/kWh für die ersten 20 Jahre für die Anlage möglich.

Am 20. Oktober 2004 wurde die erste 108 Meter hohe E-112-Testanlage mit 4,5 Megawatt Leistung in der Ems in Betrieb genommen. Dies war der Beginn des Zeitalters der Offshore-Windkraft.

Wenn in der Folge hier von Windkraftanlagen und Windkraftnutzung gesprochen wird, beziehe ich mich auf heutige, moderne Anlagen mit einer Leistung von 1 bis 4 Megawatt und Turmhöhen von 70 bis 160 Metern.

3. Der Markt der Windkraft

3.1. Die Marktentwicklung weltweit

Die globale Windenergie-Industrie steht aufgrund der boomenden Nachfrage vor einer Herausforderung, die viele andere Sektoren als "Luxusproblem" bezeichnen würden. Die globale Windenergie-Branche wuchs in den letzten zehn Jahren mit durchschnittlich 30% p.a. und Experten prognostizieren eine ähnliche Fortsetzung in den nächsten Jahren. Bedingt durch das enorme Wachstum existieren Probleme in der Lieferkette. Es lastet ein beispielloser Druck auf den Herstellern von Komponenten für Windenergieanlagen wie Türme, Rotorblätter, Getriebe, Lager, Generatoren. Momentan sind Lieferzeiten von zwölf Monaten die Regel, wobei erwartet wird, dass diese auf 18 bis 24 Monate steigen werden (GWEC 2007).

Die Windenergie ist derzeit weltweit eine der Branchen mit außerordentlich dynamischem Wachstum. Weltweit betrug der Umsatz in 2007 15,4 Mrd. Euro. Die deutsche Wertschöpfung an allen weltweit produzierten Anlagen und Komponenten betrug 5,6 Mrd. Euro in 2006 gegenüber 4,0 Mrd. Euro in 2005, was einem Wachstum von 40% entspricht. Am weltweiten Gesamtumsatz hatten deutsche Hersteller und Zulieferer 2006 einen Anteil von 37%. Die Exportquote stieg von 71% in 2005 auf 74% in 2006. Zusammen mit Installation, Betrieb und Service erwirtschaftete die Windenergie-Branche 2006 in Deutschland 7,2 Mrd Euro. (DEWI 2007)

Im ersten Halbjahr 2007 wurden in Deutschland 347 Anlagen mit 665 MW Gesamtleistung installiert. Insgesamt waren damit Mitte 2007 19.024 Windenergieanlagen mit einer Gesamtleistung von 21.283 MW installiert. Global ergibt sich daraus der erste Platz mit einem Anteil von 28% an der installierten Windleistung. Nach Deutschland folgen Spanien (16%), die USA (16%), Indien (8,5%), Dänemark (4,25) und China (3,25%).

Nach einer Prognose des DEWI werden bis 2014 weltweit rund 210.000 MW Windleistung installiert sein. Dafür werden Investitionen von ca. 130 bis 200 Mrd. Euro notwendig. Die Deutsche Bank prognostiziert in einer Marktstudie, dass die Windenergie bis 2015 weltweit um etwa ein Fünftel p.a. expandieren wird. Die größten Wachstumsimpulse werden in Ländern außerhalb Europas gesehen. Besonders großes Wachstum wird in China und Indien mit Zuwachsraten um 30% bzw. 23% p.a. erwartet. In den USA wird die Neuausrichtung der Energiepolitik zu steigender Nachfrage führen, weshalb Zuwachsraten von 25% im Jahresdurchschnitt zu erwarten sind. Für Europa werden leicht unterdurchschnittliche Zuwachsraten von etwa 15% p.a. vorhergesagt. Grund dafür sind Sättigungseffekte. Ein europaweit überdurchschnittliches Wachstum wird hingegen in Frankreich und Großbritannien erwartet (Deutsche Bank 2007).

Um das Wachstumstempo zu halten, sind umfangreiche Kapazitätserweiterungen notwendig, die die Anbieter von hochwertigen technischen Ausstattungen zurzeit vollziehen. Dennoch gibt es noch eine Reihe von Engpässen in der Lieferkette (GEWC 2007).

Tabelle 1: Prognose Leistung, WEA Stückzahlen, Umsatz 2007 - 2012

	Einheit	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Gesamtleistung (weltweit)	MW	89.068	106.881	128.257	153.908	184.690	221.628
Neu installierte Leistung p. a.	MW	14.845	17.8136	21.376	25.651	30.782	36.938
Stückzahl Neuanlagen inkl. Turm p. a. (durchschnittlich 2,5 MW pro Anlage)	Anzahl	5.938	7.125	8.550	10.660	12.313	14.775
Umsatz weltweit (Neuanlagengeschäft)	Mrd. €	19	22,8	27,36	32,83	39,40	47,28
Davon Deutschland (35 % Marktanteil)	Mrd. €	6,3	7,98	9,58	11,49	13,79	16,58
Umsatz Türme*	Mrd. €	1,9	2,28	2,74	3,28	3,94	4,73

Für die Berechnung des Marktvolumens wird die heutige Marktentwicklung mit einer durchschnittlichen Wachstumsrate von 20% bis in das Jahr 2012 extrapoliert

3.2. Der Markt der Anlagenhersteller und Turmlieferanten

Der Markt für Windkraftanlagen teilt sich auf in zehn Hersteller, die 95% des Marktes bedienen. Diese Hersteller verfolgen verschiedene Geschäftsmodelle in Bezug auf ihre Fertigungstiefe. So haben einige Hersteller eine eigene Turmfertigung, andere arbeiten eng mit Turmherstellern zusammen. Da sich nur eine komplette Anlage zertifizieren lässt, in welcher der Turm fester Bestandteil ist, werden die Türme von den Anlagenherstellern entwickelt. Somit existiert kein eigenständiger Turmmarkt.

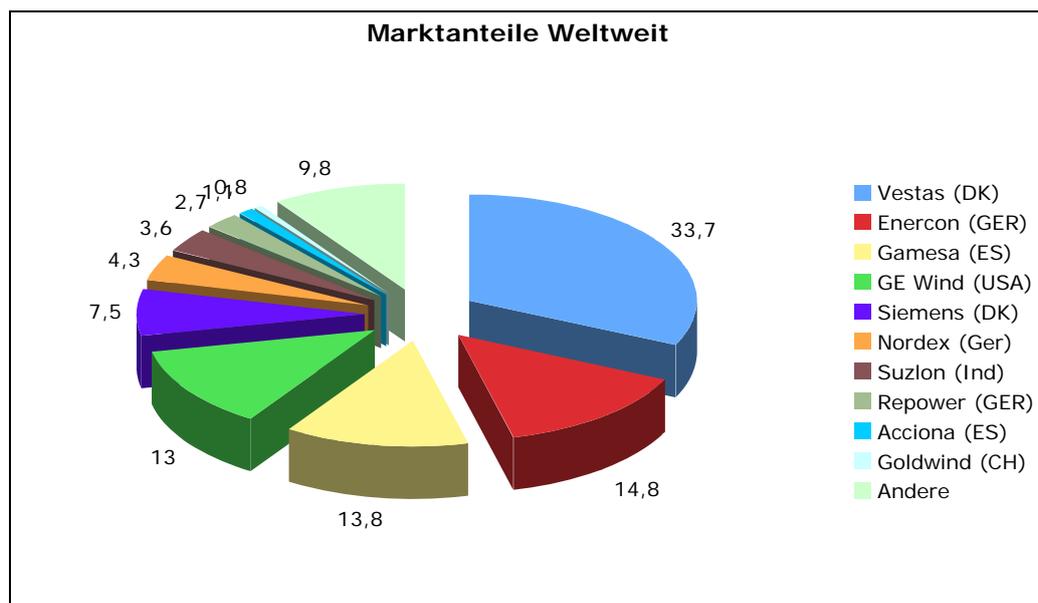


Abbildung 2: Marktanteile Anlagenhersteller: Weltweit

Unternehmen, die Türme zukaufen, lassen in hochspezialisierten mittelständischen Stahlbauunternehmen fertigen, die in der Regel überwiegend im Turmbau tätig sind. Große Turmhersteller sind Welcon, Siag, Ambau und KGW. Die Kosten für die Türme setzen sich aus den technischen Vorgaben der Anlagenhersteller und dem Preis für Stahl auf dem Weltmarkt zusammen. Andere Kosten fließen nur marginal in die Kostenkalkulation der Türme mit ein, so dass alle Türme zu ähnlichen Kosten produziert werden. Somit bleibt den Turmproduzenten wenig Spielraum für die Preisgestaltung.

Dieser enge Spielraum ist jedoch kein Nachteil, da der Turmmarkt durch eine extrem starke Nachfrage seitens der Anlagenhersteller gekennzeichnet ist, so dass momentan Lieferzeiten von 18 bis 24 Monaten mit steigender Tendenz zu kalkulieren sind. Automation und Serienfertigung sind die Antwort auf diese Situation. In der gesamten Branche werden Kapazitätserweiterungen vorgenommen. So werden im Ausland vermehrt Stahlbauunternehmen zugekauft, während im Inland die Produktionen leicht erweitert werden.

3.3. Marktpotential für Holztürme

Bei einer angenommenen Wachstumsrate von 20% p.a. und einer durchschnittlichen Leistung von 2,5 MW pro Anlage werden weltweit in den kommenden fünf Jahren ca. 45.000 Anlagen inklusive Turm aufgestellt.

Das Potential für Holztürme wird auf einen Marktanteil von fünf Prozent bei den On- und Offshore-Türmen in den nächsten fünf Jahren geschätzt. Dies entspricht ca. 2.250 Türmen mit einer durchschnittlichen Höhe von 90 Metern. Bei ca. 600 m³ Brettsperholz pro Turm ergibt sich eine Menge von 1.350.000 m³ Brettsperholz für die Produktion der Türme.

4. Holztürme für Windkraftanlagen

4.1. Technischer Hintergrund

Eine Windkraftanlage stellt ein technisches System dar, welches aus Fundament und Turm besteht, auf dem eine Gondel angeordnet ist. Am Turmkopf ist die Gondel mit einem Rotor in waagerechter Drehachse versehen, die mit einem Generator gekoppelt ist. Diese Windkraftanlagen sind im Hinblick auf den Wirkungsgrad, mit dem die Leistung des Windes nutzbar ist, weit entwickelt.

Der Turm ist der größte und schwerste Teil einer Windkraftanlage. Die Turmhöhe beträgt bei modernen Anlagen ca. das 0,75- bis 1,8-fache des Rotordurchmessers und kann mehrere 100 Tonnen schwer sein. Der Turm hat daher eine besondere wirtschaftliche Bedeutung. Er macht 30 bis 40% des Preises der gesamten Windkraftanlage aus und ist für einen großen Teil der Transport- und Montagekosten verantwortlich.

Ziel ist es, durch die Wahl der Turmhöhe einen maximalen Energiegewinn und eine gleichmäßige Belastung des Rotors zu erzielen. Um die geeignete Turmhöhe zu bestimmen, müssen mehrere Aspekte berücksichtigt werden. Turbulenzen nehmen mit der Höhe ab und die Windgeschwindigkeit zu. Deswegen werden an schlechten Standorten mit hohen Turbulenzen bevorzugt hohe Türme gebaut, da somit der Ertrag hoch und die Belastungen niedrig sind.

An der Küste (oder auch Offshore) ist die Bodenrauigkeit niedriger und die Windgeschwindigkeit höher als im Binnenland, was niedrige Turmhöhen zur Folge hat. Ein höherer Turm hat den Vorteil eines besseren Energieertrags, ist aber auch viel schwerer und teuer. Die Turmmasse eines typischen Stahlrohrturms steigt ungefähr mit dem Quadrat der Höhe: Ein 100 Meter hoher Turm wiegt beispielsweise im Schnitt 1,3 bis 2,6 t pro Meter, während ein 75-Meter-Turm „nur“ 0,6 bis 1,3 t pro Meter wiegt.

Die Energieausbeute korreliert mit der Höhe des Turmes einer Windkraftanlage. Es besteht ein wirtschaftlicher Zusammenhang aus anfallenden Baukosten und dem Ertrag aus Energiegewinnung, wobei aus Erfahrung die anfallenden Baukosten mit der Bauhöhe der Windkraftanlage überproportional steigen.

Wie eingangs geschildert, gibt es derzeit vier verschiedene Turmkonzepte. Dabei handelt es sich um Stahltürme, Gittertürme, Betontürme und Hybridtürme.

Die häufigste gewählte Bauform für Türme von Windkraftanlagen ist die Konstruktion aus einem Stahlrohr. Der Transport der Turmsegmente von sehr großen Windkraftanlagen kann bei Stahlrohrtürmen problematisch sein, da Straßenbrücken⁸ den Durchmesser der Turmsegmente begrenzen.

Gittertürme⁹ waren oft bei Windkraftanlagen der ersten Generation zu finden. Sie benötigten weniger Material (etwa die Hälfte des Materials für Stahlrohrtürme) und waren folglich leichter und einfacher zu fertigen. Sie haben jedoch das Problem, dass zum einen die Lasten an ihnen vergleichsweise hoch sind und zum anderen sich die Verbindungselemente aufgrund der Eigenfrequenz der Windkraftanlage lösen. Hierdurch entstehen bei Gittertürmen aufgrund der Vielzahl der Verbindungsmittel gegenüber allen anderen Türmen wesentlich höhere Kosten bei Kontrolle und Support.

Betontürme werden aus vorgespannten Stahlbeton gebaut. Sie sind viel dicker und schwerer als Stahltürme. Betontürme werden entweder am Standort selbst gebaut (Ortbeton) oder aus vorgefertigten Segmenten zusammengesetzt. Letztere sind bei Großserien günstig, aber bei Kleinserien deutlich teurer als Ortbetontürme. Bei Ortbetontürmen entfällt der Transport von großen Teilen. Die Qualität ist jedoch schwer zu kontrollieren. Vereinzelt findet man auch so genannte Hybridtürme, d.h. Kombinationen aus den o.g. Turmvarianten Gittertürme, Beton und Stahlrohr. Sie lösen meist nur das oben beschriebene Problem des Transports der großen Unterteile von Stahlrohrtürmen. Weitere Probleme werde in Kauf genommen.

4.2. Warum ein Holzturm?

Mit wenigen Ausnahmen werden heute die Türme für Windkraftanlagen als Stahlrohrkonstruktion ausgeführt. Der Anteil am Markt ist für Konstruktionen wie Gittertürme, Betontürme oder Hybridtürme gering. Holz ist als Material heute nicht mehr gebräuchlich. Durch die Entwicklungshistorie der modernen Windkraft ist es möglich, drei Gruppen von Türmen zu bezeichnen, die sich durch die dimensionierende Größe unterscheiden. Bei Türmen von bis zu 40 m ist i.a. die Extremlast die dimensionierende Größe. Bei Türmen bis ca. 80 m wirkt die Materialermüdung in der Regel dimensionierend. Bei noch höheren Türmen ist die Eigenfrequenz die begrenzende Größe. Diesen unterschiedlichen Einflüssen wird durch jeweils unterschiedliche geometrische Größen Rechnung getragen. In der Regel sind die Zusammenhänge weder linear noch einseitig. Beispielsweise verändert die zunehmende Blechdicke des Turmes das Flächenträgheitsmoment, wodurch ein Turm steifer wird und die Eigenfrequenz sich hierdurch erhöht. Die Zunahme der Masse durch Vergrößerung der Blechdicke wirkt dem jedoch entgegen. Das dynamische Verhalten der Anlage in Gänze ist verändert, was wieder einen Einfluss auf Lasten und Schnittgrößen hat.

Die Türme und Fundamente sind von ihrer Anforderung eher mit einem Maschinenbauteil zu vergleichen als mit einem Bauwerk aus dem Hochbau. Turm und Fundament beeinflussen die Dynamik und somit die Lasten. Die Lastermittlung und Schnittgrößenbestimmung bei Windkraftanlagen erfolgt somit nicht statisch, sondern in einer Simulation der gesamten Betriebszeit. Unter der Annahme einer äusseren Windeinwirkung von 20 Jahren werden alle Betriebs- und Störfälle simuliert. Dabei werden auch Einzelereignisse wie die 50-Jahresböe angenommen. Die programmierte Steuerung verursacht ein Verhalten der Anlage. An der untersuchten Anlage kann so eine Untersuchung der Schnittgrößen erfolgen. Nebenbei werden auch die Lastwechsel gezählt, die dann Grundlage einer Schädigungsanalyse sind. Es ergibt sich daraus, dass auch Optimierungen der Bodeneinspannung enormen Nutzen bei der Turmauslegung haben.

Auch wenn die statischen Lasten heute nicht dimensionierend sind für Türme, so sind diese meist dem Bauingenieur anschaulicher als die Eigenfrequenz von Bauwerken.

⁸ Meist ist die **Durchfahrthöhe** auf vier Meter bzw. 4,20 m für Langsamfahrten begrenzt.

⁹ Der Gitterturme ist wird heute als Fachwerkturm bezeichnet.

Die Turmkopflasten für moderne 2,5 MW-Anlagen liegen in der Größenordnung von $M_{xy} = 10.000 \text{ kNm}$ als Kippmoment,
 $M_T = 1500 \text{ kNm}$ für das Torsionsmoment,
 $F_z = 1500 \text{ kN}$ fürs Eigengewicht aus Rotor und Anlage
 $F_{xy} = 300 \text{ kN}$ aus dem Schub.
 Das Einspannmoment des Turmes am Fundament kann auch über 100 MNm liegen.

4.3. Der TimberTower

Um den Preis einer Windkraftanlage zu senken und gleichzeitig die Logistik zu vereinfachen, hat die TimberTower GmbH einen Holzturm für Windkraftanlagen entwickelt.

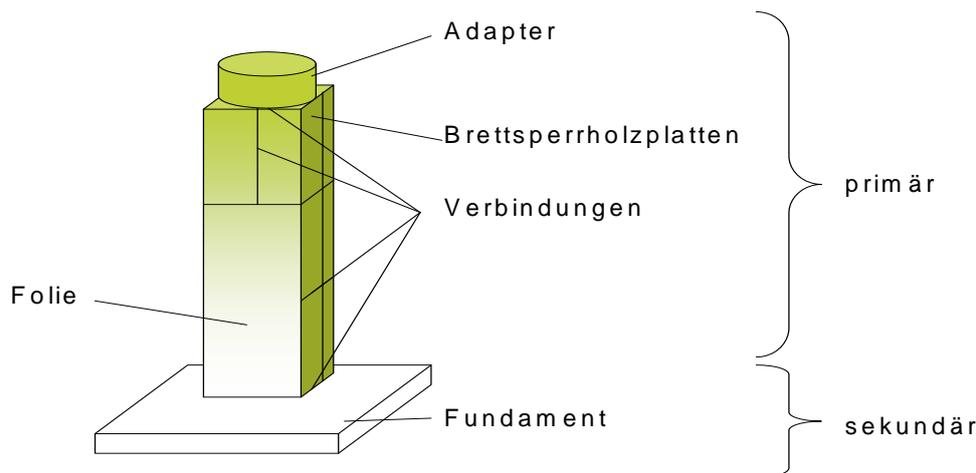


Abbildung 3: Konstruktion Holzturm

Der TimberTower besteht aus Brettsperrholzplatten, die auf der Baustelle zusammengesetzt werden. Um die Aufnahme der Windkraftanlage zu gewährleisten (Runde Aufnahme), erhält der Turm einen Stahladapter (2-12 Meter), der auf das obere Turmsegment aufgesetzt wird. Die Holzoberfläche wird mittels einer Bautextilie geschützt, welche auf die Außenfläche des aufgestellten Turms aufgeklebt wird.



Abbildung 4: Rotormontage

Ein Vorteil gegenüber herkömmlichen Turmkonzepten besteht darin, dass die Herstellungskosten bei Windkraftanlagen sinken. Zielmarke dabei ist eine Kostenreduzierung von 20-30%. Noch bedeutender ist allerdings, dass der Bau und das Aufstellen des Turms sowie seine Transportierbarkeit stark vereinfacht werden.

Aus Holzplatten zusammengesetzte Teilstücke werden in unmittelbarer Umgebung des Standortes der Windkraftanlage hergestellt.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil der Konstruktion liegt in der Unabhängigkeit von logistischen Restriktionen. Wie eingangs geschildert, sind für Türme von WEA verschiedene Nachweise erforderlich. Die statischen Nachweise wie auch die Ermüdungsnachweise lassen sich durch Spannungsgrößen erfassen. Für den Turm ist hier das Widerstandsmoment entscheidend. Die Eigenfrequenz wird durch das Flächenträgheitsmoment zweiten Grades bestimmt. Beide Größen sind vom Radius des Stahlrohrturmes bzw. von der Grundrisskantenlänge des Holzturmes abhängig. Die Abhängigkeit ist in der dritten bzw. vierten Potenz. Somit sind auch kleinere Änderungen des Radius sehr bedeutend für das Eigenfrequenzverhalten. Eine Vergrößerung des Radius bei Stahlrohrtürmen scheidet wegen der Brückendurchfahrt aus. Der TimberTower kann jedoch leicht eine vergrößerte Aufstandesfläche wählen ohne logistische Grenzen zu erreichen. Untersuchungen haben gezeigt, dass für Anlagen mit Nabenhöhen von 80 bis 160 m, Aufstandesflächen von 5 – 7,5 m günstig sind.

Neben den oben gezeigten Vorteilen der Konstruktion gibt es noch einige weitere, die bisher nur qualitativ abschätzbar sind. Wir gehen davon aus, dass das Dämpfungsverhalten von Konstruktion und Material sich sehr günstig auswirken wird. Dies hat eine positive Wirkung auf die Schallemission. Zum anderen erwarten wir eine positive Auswirkung auf die Schnittgrößen. Die dazu notwendigen Untersuchungen werden universitär von unabhängigen Instituten begleitet. Veröffentlichungen zu den Ergebnissen werden für 2009 erwartet.



Abbildung 5: Der TimberTower

5. Fazit

Bei der Überlegung, ob und wie Holz seine angemessene Rolle im Maschinenbau finden kann, ist die Frage nach den Aufgaben, die Materialien übernehmen sollen, entscheidend. Bei maschinenbaulichen Lösungen entsteht der Eindruck, dass die Kenntnis von Eigenschaften verschiedener Materialien sich insbesondere auf Metalle, am Rande auf Kunststoffe und Keramiken, beziehen.

Holz bietet bekanntermaßen eine Vielzahl von Eigenschaften, die grundsätzlich anders sind als die von Metallen. Der fehlende Einsatz durch die Konstrukteure kann somit nur in der Unkenntnis der Eigenschaften liegen. Aktuell werden die positiven ökologischen Eigenschaften des Holzes hervorgehoben. Dies wird dem Holz nicht gerecht. Die energetische Amortisationszeit einer modernen Windkraftanlage mit einem Stahlturm liegt bei 2 bis 5 Monaten. Durch den Einsatz von Holz kann diese sicherlich verkürzt werden, bedeutend ist dies nicht.

Auch eine auf rein wirtschaftliche Aspekte fokussierte Diskussion führt zu keiner tragfähigen Entscheidung für oder gegen die Verwendung von Holz im Maschinenbau. Der TimberTower hat seine Chance bekommen, weil die Summe der Materialeigenschaften anderen Materialien – dem Stahl - überlegen ist. Eine Vielzahl von Bauteilen im Maschinenbau ist durch die Ermüdung dimensioniert, eine Größe, bei der Holz wesentlich bessere Eigenschaften hat als Stahl. Die dämpfende Eigenschaft von Holz, die bessere Beständigkeit gegen salzhaltige Atmosphären, die schlechte elektrische Leitfähigkeit. Dies alles sind vom Ansatz andere Eigenschaften und somit Alleinstellungsmerkmale. Von daher bin ich der Überzeugung, dass Holz ein geeigneter Werkstoff ist, um Stahl im Maschinenbau an vielen Stellen zu ersetzen. Um dies nachhaltig zu belegen, wird der TimberTower seinen Beitrag leisten.

6. Literatur

- [1] Auer Josef: Deutsche Bank Research, Marktstudie Windenergie - Deutschland Weltweit führend, Frankfurt Oktober 2007.
- [2] BMU: Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung, Berlin 2007.
- [3] Bundesverband Windenergie: Die Windindustrie in Deutschland - Daten, Potenziale, Unternehmen, Osnabrück 2007.
- [4] Deutsches Windenergieinstitut: Ermittlung der deutschen Wertschöpfung im Weltweiten Windenergiemarkt, Wilhelmshaven 2007.
- [5] Global Wind Energy Council: Global Wind Energy Outlook 2006 Report, Brüssel 2006.
- [6] Global Wind Energy Council: Global Wind 2006 Report, Brüssel 2007.
- [7] KPMG: Marktstudie Offshore-Windparks in Europa, Hamburg 2007.