

Timber Tower – er ist gebaut

Timber Tower – up and running

Timber Tower – elle est dressée

Björn Harms
Bauingenieur
TimberTower GmbH
DE-Hannover



Gregor Prass
Bauingenieur, Geschäftsführer
TimberTower GmbH
DE- Hannover



Carlo Schröder
Maschinenbauingenieur
TimberTower GmbH
DE- Hannover



Timber Tower - er ist gebaut



Abbildung 1 bis 4: links: fertig montierte Anlage; oben und mitte rechts: teilgelifteter Rotor; unten rechts: montierter Rotor vor dem Liften

1. TimberTower Herbst 2012

Der erste TimberTower wurde am 12.10.2012 fertigmontiert und es werden weitere folgen. Schon im nächsten Jahr wird der nächste Prototyp mit einer Höhe von 140m realisiert. Der TimberTower Prototyp in Marienwerder (Hannover) ist mit einer Nabenhöhe von 100 m der erste Turm für eine Windenergieanlage im Multimegawattbereich, bei dem die tragende Struktur aus kreuzweise verleimten Brettlamellen der Festigkeitsklasse C24 besteht. Bei den bisherigen Windenergieanlagen ist der Turm, auf dem die Turbine installiert ist, vorwiegend aus Stahl gefertigt.

Die um ein Vielfaches höhere Dämpfung von Holz im Vergleich zu Stahl macht Holz für den Einsatz als Konstruktionsmaterial für den Turm von Windenergieanlagen attraktiv, da sich durch die höhere Dämpfung von Holz bei Schwingungen geringere Extremlasten im Holzturm ergeben und die Schädigung des Turms in Folge von Belastungen geringer ausfallen. Für Holztürme, die den statischen und dynamischen Belastungen einer Windenergieanlage standhalten können, liegen keine Erkenntnisse oder Erfahrungen aus der Praxis vor. Demzufolge wird bevor die Inbetriebnahme der Anlage stattfinden kann und sie Strom in das örtliche Netz einspeisen wird das eigens entwickelte Monitoringkonzept umgesetzt.

Das Monitoringkonzept ist u.a. Bestandteil einer Zustimmung im Einzelfall, welche für die Verbindung der Holzelemente mittels eingeklebter Lochbleche erteilt wurde. Es gibt mit Hilfe von Messstationen am gesamten Turm (Kräften, Momenten und Schwingungen sowie anderen statischen, dynamischen oder bauphysikalischen Belastungen) Aufschluss über die tatsächlich auftretenden Spannungen, sowie weitere Belastungen. Daraus werden mittels gängiger Methoden (z.B. lineare Schadensakkumulation) die resultierende Ermüdung sowie weitere Schädigungen berechnet. Das aus dem Konzept hervorgegangene Monitoringsystem lässt laufend Aussagen über die Auslastung und den Zustand des TimberTowers zu, der mittels Abruf über ein Web-Interface ständig überwacht werden kann.

Im Wesentlichen sollen aus dem kontinuierlichen Monitoring genaue Aussagen über Eigenschaften wie z.B. Dauerhaftigkeit, Ausführbarkeit und vor allem die Eigenschaften des Materials Holz, wie die Dämpfung, abgeleitet und letztlich eine Aussage über die Eignung des Baustoffes Holz im Bereich Windenergieanlagen getroffen werden. Das Monitoringkonzept soll auch gesicherte Erkenntnisse für die Zukunft des Holzbaus in Bezug auf die verwendete und weitere mögliche Klebeverbindungen liefern. Die kontinuierliche Aufnahme von Betriebsdaten ermöglicht das Gewinnen von Erfahrungen am realen Bauwerk und die langfristige Optimierung der folgenden Generationen von Holzschäften, die unter dynamischen Belastungen stehen.

2. Überlegungen zur Bauphysik

Die DIN 1052 bringt nicht präzise zum Ausdruck, was die Einhaltung der Nutzungsklassen (NKL) und auch die zu erwartende Holzfeuchte betrifft. Die Formulierung der DIN 1052 lautet:

„Nutzungsklasse 1: Sie ist gekennzeichnet durch eine Holzfeuchte, die einer Temperatur von 20°C und einer relativen Luftfeuchte der umgebenden Luft entspricht, die nur für einige Wochen je Jahr einen Wert von 65 % übersteigt, z.B. in allseitig geschlossenen und beheizten Bauwerken“

„Nutzungsklasse 2: Sie ist gekennzeichnet durch eine Holzfeuchte, die einer Temperatur von 20°C und einer relativen Luftfeuchte der umgebenden Luft entspricht, die nur für einige Wochen je Jahr einen Wert von 80 % übersteigt, z.B. bei überdachten offenen Bauwerken“

Die DIN lässt grundsätzlich kurzfristig höhere relative Luftfeuchtigkeit zu. Der Turm ist auf der Außenseite mit einer wasserdampfdiffusionshemmenden Folie verklebt. Im Anlagenbetrieb wird der Turm aktiv belüftet (von oben nach unten). Während der Standzeiten wird der Turm passiv belüftet. Daher sind Unterschiede der Holzfeuchte nur entlang des Wandquerschnitts und in Abhängigkeit von der Himmelsrichtung zu erwarten.

Die mittlere relative Feuchte im Raum Hannover beträgt 80 %, sodass mit einer Einhaltung mindestens der Nutzungsklasse 2 zu rechnen ist. Die Windenergieanlage wird im

Betrieb, sowohl am Generator als auch am Gleichrichter, Wärme produzieren, welche bei Bedarf für den Turm genutzt werden kann um die Temperatur zu steigern, wodurch die relative Luftfeuchtigkeit gesenkt wird.

Die Holzfeuchte wird mittels Widerstandsmethode bestimmt. Die Genauigkeit dieser Methode ist aus der Literatur bekannt (Du et. al., Holz als Roh- und Werkstoff 49 (1991) Seite 305-311).

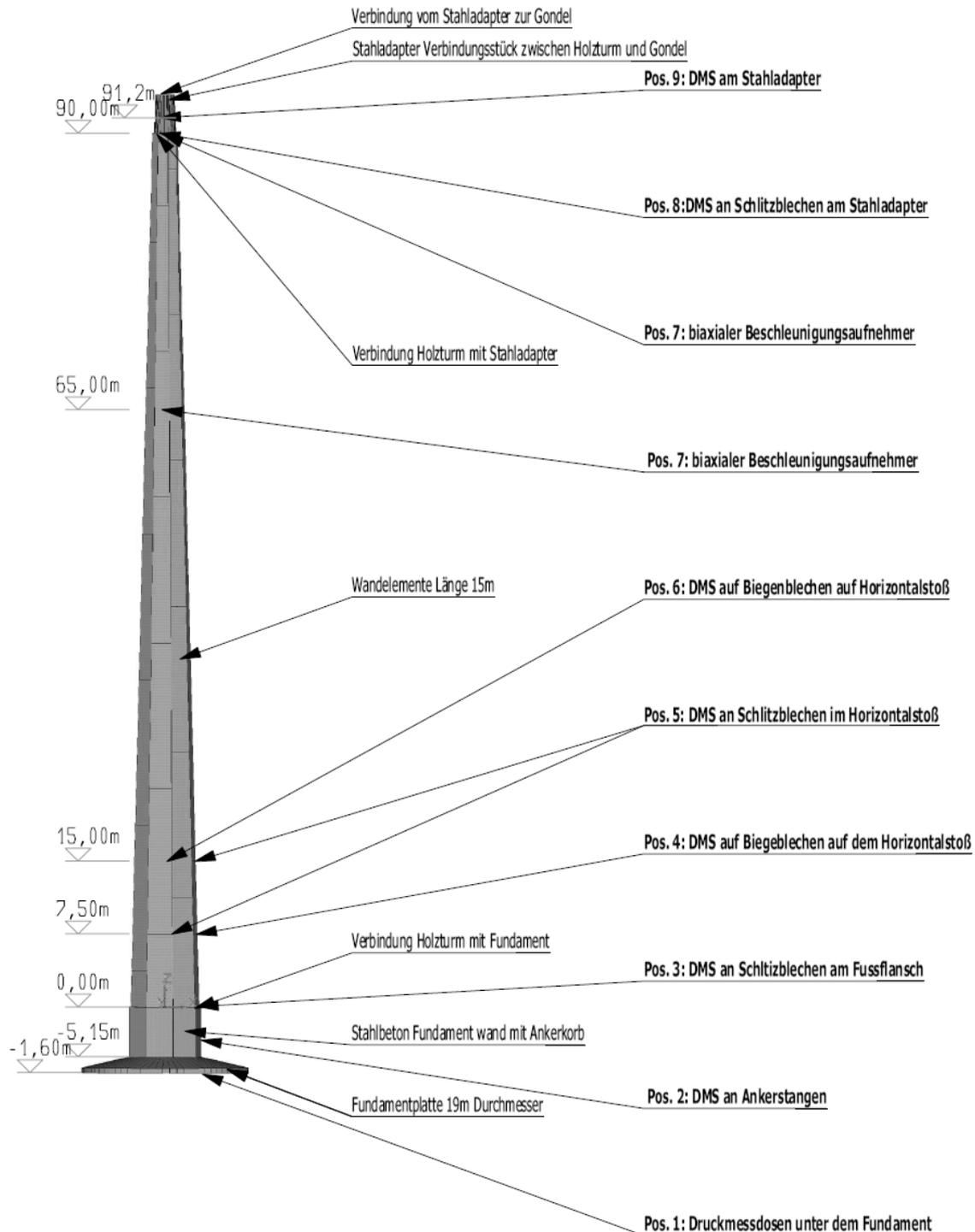


Abbildung 5: Darstellung eines Teiles der im TimberTower verbauten Messtechnik

3. Umsetzung der Bauphysikalischen Messung

Im Holzturm wird an mehreren Positionen die Holzfeuchte bestimmt. Mit den ausgewählten Messmitteln ist eine Erfassung der Holzfeuchte im Bereich von 8 bis 20 % möglich. Die Holzfeuchtemessung wird jeweils in alle vier Himmelsrichtungen, am Turm Kopf, der Turmmitte und am Turm fuß in drei Messtiefen, also insgesamt 36 Messstellen durchgeführt. Ebenfalls wird raum-nah die Temperatur mit einer Genauigkeit von mindestens $\pm 2^\circ\text{C}$ an insgesamt 24 Messstellen ermittelt. Zu diesen Messungen werden zusätzlich noch je 2 Feuchtemessungen in jedem Wandelement angebracht, also noch 108 weitere Feuchtemessungen. Mit diesem sehr feinem Raster an Messungen, welche die bauphysikalischen Eigenschaften der Konstruktion mehr als ausreichend erfassen können, wird unter anderem darauf geschlossen, wie sich der Feuchtegehalt des Holzes auf den Lastabtrag verhält. Es wird auch deutlich, wie groß das Eigengewicht in Bezug auf die Feuchte ist und welche Auswirkungen auf die auftretenden Lasten resultieren können.

4. Umsetzung der statischen Messung

Für die Erfassung der mechanischen Größen im Holzturm ist das Schwingungsverhalten des Turms von großer Bedeutung. Die Dämpfung von Holz (DIN 4178 und EC), die bei der Typenprüfung zugrunde gelegt wird, ist um den Faktor 10 größer als die eines Stahlturms. Aufgrund dieser Eigenschaft schwingt der Holzturm vorwiegend in der ersten Eigenform – im Gegensatz zum Stahlurm. Beim Holzturm kann deswegen anhand der Schwingungen an unterschiedlichen Orten das auftretende Moment bestimmt werden, welches proportional zum von der Turmspitze ausgehend größer werdenden Hebelarm steigt. Da die Schnittkräfte am Turmfuß am größten sind, ist es sinnvoll, diese aus den Dehnungen der Ankerbolzen zu bestimmen. Hierfür wurden vor dem Gießen des Fundaments an mehreren Ankerbolzen Messmittel appliziert.

Die maximale Länge der einzelnen Wandelemente beträgt 15 m. Die Wandelemente werden mit normalen Sattelzügen transportiert. Eine Herstellung der Wandelemente über die gesamte Turmhöhe ist aus produktionstechnischen und logistischen Gründen nicht möglich. Die geschlitzten Wandelemente werden mit eingeklebten Lochblechen verbunden, welche auch als Schubverbinder in den Holz-Beton-Verbund Decken bekannt sind. Diese Verbindung ist effizienter herzustellen, als die Keilzinkenverbindung, da die Bleche mit Hilfe eines Lasers gefertigt werden.

Die Lochbleche wurden ebenfalls mit Dehnung messenden Messmitteln appliziert, durch deren unterschiedliche Anordnung sämtliche auftretenden Schnittkräfte berechnet werden können. Um die Ermüdungsrechnung, wie gefordert kontinuierlich durchzuführen, muss eine ständige Messung im gesamten Turm erfolgen. Aufgrund der Lebensdauer der Messmittel wurden alternativ zur Messung auf den eingeklebten Lochblechen eine weitere Messung über den Horizontalstoß mit Hilfe von vorgebogenen Blechen entwickelt, auf die ebenfalls die gleichen Messmittel appliziert wurden. Das bedeutet, es werden die gleichen Schnittkräfte, wie bei der Messung auf den Lochblechen, ermittelt. Die Anordnung der zusätzlichen Messstellen ist aus untenstehender Abbildung ersichtlich.

Die Eigenfrequenz des Turms wird anhand von Beschleunigungssensoren gemessen, mit deren Hilfe zusätzlich die tatsächliche Dämpfung des Holzes bestimmt werden kann.

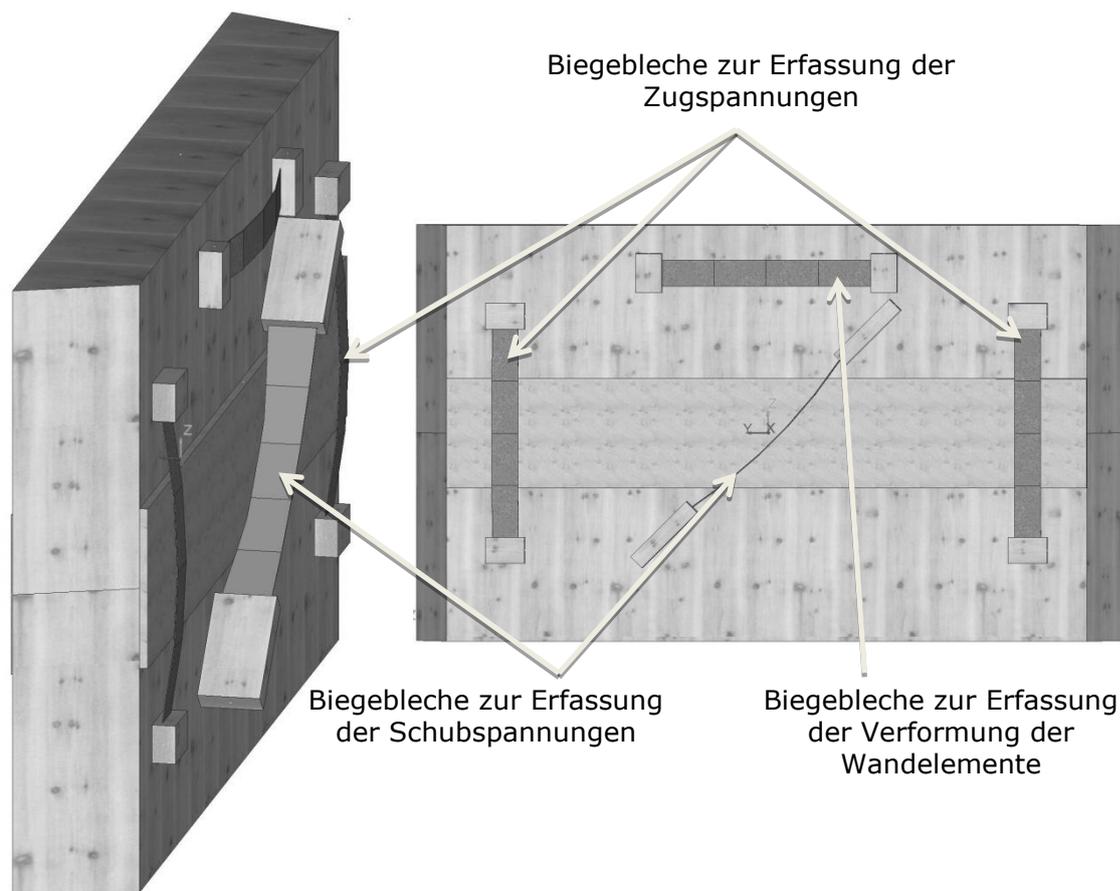


Abbildung 6: Konstruktion der entwickelten Messtechnik zur Überprüfung der Zugspannung im Horizontalstoß

5. Zusammenfassung

Das gesamte Monitoringsystem, wie hier kurz beschrieben, ist in der Lage, sämtliche Zustände des TimberTowers zu erfassen. Anhand des Systems können nicht nur wichtige Daten aus den Betriebszuständen des Turms ermittelt werden. Vielmehr sind genauere Erkenntnisse über die tatsächlichen Eigenschaften des verwendeten Holzes zu erwarten. Aufgrund des im Gegensatz zu anderen Sparten möglicherweise unwirtschaftlichen Sicherheitskonzeptes des Holzbaus, ist die Berechnung solcher hochbelasteten Bauwerke stark überdimensioniert. Aus diesem Grund wird es in Zukunft sinnvoll sein, für gewisse Bereiche des modernen Holzbaus andere Sicherheiten zur Bemessung zu nutzen, die mittels der zu gewinnenden Erfahrungswerte begründet werden können.