

Orientierende Versuche zur dynamischen Belastung von Bäumen im Wind

Zusammenfassung

Die Schwingungen von Bäumen im Wind und nach künstlicher Anregung wurden gemessen. Aus Zugversuchen an den gleichen Bäumen wurde auf Windlasten geschlossen, mithilfe von Windmessungen wurden Näherungswerte für c_w -Werte abgeleitet.



Abb. 1: Versuchsbaum und Windmessaufbau aus Süd-West.

Einleitung

Die Windlast, die auf den Baum wirkt, hängt von mehreren Parametern ab, die meist mit großen Unsicherheiten behaftet sind. Zum einen von den vorherrschenden Windgeschwindigkeiten und der Luftdichte, zum anderen der Form und Beschaffenheit der Krone und den Strömungs- und Dämpfungseigenschaften des Baumes.

Material und Methoden

Ziel der Untersuchung war es, die Last, die im Sturm auf den Baum wirkt, zu messen. Dazu wurden jeweils zwei Versuche durchgeführt. Bei Windereignissen wurden die Windgeschwindigkeit vor dem Baum und der Luftdruck gemessen. Gleichzeitig wurde mit Dehnungsmessgeräten die Verformung am Stamm erfasst. Bei relativ ruhigen Windverhältnissen wurde dann ein Seil in der Krone verankert und mit einem Greifzug daran gezogen. Dabei wurden die Verformung der äußeren Holzfasern am Stamm, die eingeleitete Kraft, der Winkel des Zugseils und die Höhe des Seilankers im Baum über dem Messgerät gemessen.

Material und Messaufbau

Für die Durchführung der Versuche wurden Messgeräte und Software von argus electronic verwendet. Um die Biegung des Stammes zu messen wurden zwei Dehnungsmessgeräte axial um 90° versetzt in einer Höhe von etwa einem Meter am Stamm befestigt. Die Dilatometer wurden bei der Windmessung und beim Zugversuch jeweils an der gleichen Position befestigt. Bei der Windmessung wurde ein Schalenkreuzanemometer mit Richtungsmesser verwendet. Das Anemometer wurde an einer Teleskopstange im Windvorfeld des Baumes auf ca. $2/3$ der Baumhöhe angebracht. Bei den Zugversuchen wird ein Dynamometer zwischen das Stahlseil des Greifzugs und das in der Krone verankertem Dyneemaseil gehängt.

Windlastanalyse

Wir nutzten die Arbostat-Software, die zur Auswertung von Zugversuchen entwickelt wurde. Dabei wird mit Hilfe eines Kronenfotos unter Annahme eines logarithmischen Windprofils und eines baumartspezifischen c_w -Wertes die Last, die aufgrund eines mittleren Winddrucks auf den Baum wirkt, berechnet. Geländerauhigkeitsfaktor und Windzonen werden berücksichtigt. Die Windlastanalyse orientiert sich an den Berechnungsansätzen der DIN 1055 Teil 4 für schwingungswillige Bauwerke. Es folgte die Berechnung eines c_w -Wertes über die ermittelte Windlast und die Projektionsfläche des untersuchten Baumes.

Ausschwingversuche und Frequenzanalyse

Desweiteren wurden Ausschwingversuche an den Versuchsbaumen durchgeführt, um das Schwingungsverhalten abzubilden und die gedämpfte Eigenfrequenz des Stammes zu berechnen. Dazu wurde mit einem in der Krone verankertem Seil der Baum gezogen und dann mithilfe eines Löshakens das gespannte Seil plötzlich entlastet. Die Schwingungen werden über die Randfaserdehnung aufgezeichnet. Die Längenänderungen, über die Zeit aufgetragen, zeigen die abklingende Schwingung des Stammes. Mithilfe einer Fast Fourier Transformation (FFT) wird eine Eigenfrequenz berechnet, die durch das Dämpfungsverhalten der Krone stark beeinflusst wird.

Ergebnisse

Nachfolgend werden Ergebnisse der Messungen an einer 12,3 m hohen Eiche nahe Mistelgau dargestellt. Bei den anderen Bäumen waren nur deutlich geringere Windgeschwindigkeiten aufgetreten.

Messungen im Wind

Die Werte der beiden Dilatometer, gegeneinander in einem Koordinatensystem aufgetragen, zeigen zweidimensional das Schwingungsmuster des Stammes im Wind (Abb. 2).

Die mit der hier beschriebenen Methode erstellten c_w -Werte wurden gegen die Windgeschwindigkeit aufgetragen (Abb. 3). Die Obergrenze der c_w -Werte wird durch eine asymptotische Quantilregression verdeutlicht.

Ausschwingversuch bei Windstille

Über eine Fast Fourier Transformation (FFT) wurde für die in Abb. 4 dargestellte Ausschwingphase eine Frequenzanalyse durchgeführt. Die Abfragefrequenz der Messgeräte betrug bei diesem Versuch 11 Hz. Im Unterschied zur Windmessung war die Eiche zum Zeitpunkt der Ausschwingversuche unbelaubt. Die FFT ergab eine Schwingungsfrequenz des Stammes von 0,63 Hz (=1,6 s Periodendauer).

Diskussion

Die berechneten c_w -Werte entsprechen nicht der allgemeinen Definition, da die Dämpfung des Baumes integriert ist. Da es sich bei Wind um dynamische Belastungen handelt, schwingt der Baum im Wind. Die Last die auf den Baum einwirkt, verursacht Biegemomente im Stamm. Schwingt der Baum, setzt er dem momentanen Windbiegemoment nicht nur das normale Widerstandsmoment des Querschnitts entgegen, sondern es wirkt auch kinetische Energie des bewegten Baumes gegen das Biegemoment.

Daher kann ein schwingender Stamm bei einer bestimmten Windgeschwindigkeit verschiedene Randfaserdehnungen aufweisen. Es ist grundsätzlich möglich, Dehnungswerte in Biegemomente zu übersetzen und die momentane Belastung des Stammes zu bestimmen, aber nicht, von Biegemomenten im Stamm auf die momentane Windeinwirkung rückzuschließen, da es sich bei einem Baum um eine schwingungswillige Struktur handelt. Beim statischen Zugversuch dagegen verhalten sich Dehnung und Biegemoment proportional.

Um die Dehnungswerte auszufiltern, die sich nahe der neutralen Stammposition befinden und die dementsprechend nicht die Windlast ausdrücken, wurde nur das vierte Quartil weiter verwertet. Die so geschätzten c_w -Werte zeigt die Abb. 3 in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit.

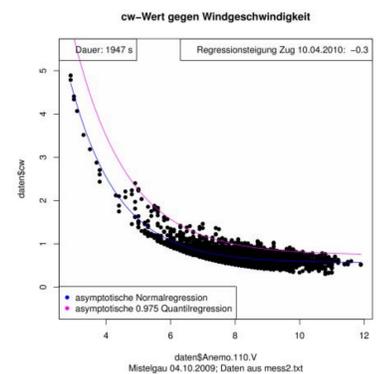


Abb. 3: c_w -Werte gegen Windgeschwindigkeit aufgetragen; 04.10.2009, Messintervall ca. 30 Minuten.

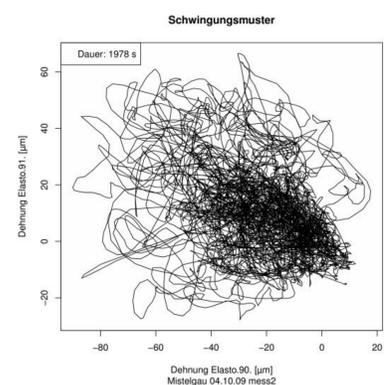


Abb. 2: Schwingungsmuster; 04.10.2009 Messintervall etwa 30 Minuten.

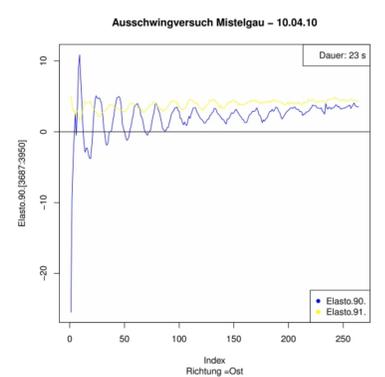


Abb. 4: Ausschwingphase Pluck Test; Die x-Achse zeigt die Nummer der Abfragewerte. Die y-Achse zeigt die Dehnung in Mikrometern. Der blaue Elastometer befindet sich in Ost-Richtung, der gelbe in Südrichtung. Die Eiche wurde in Richtung Osten gezogen.

