

...und sie bewegen sich doch!

(Englische Texte und Grafiken von Ken James, Melbourne, einzelne Grafiken aus dem Jahrbuch der Baumpflege 2007, Spatz, Pfisterer, Erkenntnisse von Kohler, Worm, Detter, Rust im Jahrbuch der Baumpflege 2011)

Tree motion

Harmonic motion?

Do trees sway back and forth?

Is there a natural frequency?

What are the dynamic forces on trees?



Machen wir alles falsch ?

Pruning - comment

Fewer Branches, More Wind Load?

It seems counterintuitive that removing branches from a tree would increase its wind load, but time-lapse photography observation of trees in a high wind reveals the answer. A tree is not like a sail, because all the branches in a tree are not being loaded at the same time. If you watch closely, you will see that while some branches are bending with the wind, other branches are actually swaying back into the wind recovering from the previous gust. In effect, the tree is moving in many directions at the same time. This random movement dampens the overall impact of the wind load. Fewer branches mean less random movement.

James Urban 2008 Up by roots.

Machen wir alles falsch ?

Pruning limbs

Ref James Urban 2008 Up by Roots **Figure 2.7.13. Different pruning of silver maples**



a. Tree with lower branches retained rarely loses limbs in high wind.



b. Tree with lower branches pruned away often loses branches in high wind.

Dynamik der Baumkrone

- Wie kann es sein?
- Wir schneiden Äste damit er sicherer wird
- Aber dadurch stören wir das dynamische Schwingungsverhalten der Baumkrone!

- **Eine Baumkrone ist nicht nur eine Segelfläche**

- **Eine Baumkrone ist ein schwingendes System**

statischer Zugversuch

1. Einleitung einer *künstlichen* „Ersatzlast“ und Messung von Neigung und Verformung der Randfasern
2. Extrapolation über Materialkennwerte oder Kippkurve bis zur Versagensgrenze. Ermittlung des **Widerstandsmoments**
3. Abschätzung des *natürlichen* **Biegemomentes** bei Orkan durch Vermessung der Kronensegelfläche.
4. Vergleich für die Sicherheitsaussage: W_{ax} / M_b

statischer Zugversuch

- *Natürliches Biegemoment* bei Orkan:
- Windlastabschätzung:
- cw - Wert: Luftwiderstandswert einer Baumkrone:
(Beispiele für Orkan: Birke 0,12 / Rosskastanie 0,35)

statischer Zugversuch

- Windlastabschätzung:
- c_w - Wert
- Masse der Luft,
- Windgeschwindigkeit im Quadrat,
- Lage und Größe der Teilflächen,
- Höhe der Teilflächen hinsichtlich der Hebellänge und Windgeschwindigkeit

statischer Zugversuch

- Bisheriger Eingang dynamischer Faktoren:
- Nach einer DIN - Norm für Bauwerke
- Dämpfungsdekrement 5 – 15 % der kritischen Dämpfung (Dämpfung bei 1 Amplitude)
- Eigenfrequenz

statischer Zugversuch

Windlastgleichung:

- $M_b = \mathbf{tf} \times \mathbf{Cw} \times \rho/2 \times \Sigma h(Z) \times A (HZ) \times u(Z)_2$

M_b = Biegemoment

tf = Schwingungsfaktor > 1

C_w = Windwiderstandsbeiwert der Krone ρ = Masse der Luft

$h(Z)$ = Höhe der Teilfläche

$A (HZ)$ = Teilfläche

$u(Z)_2$ = Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Höhe, Quadratisch

Dynamik der Baumkrone

Aber: Der Zusammenhang von

Windgeschwindigkeit

und

Biegebelastung

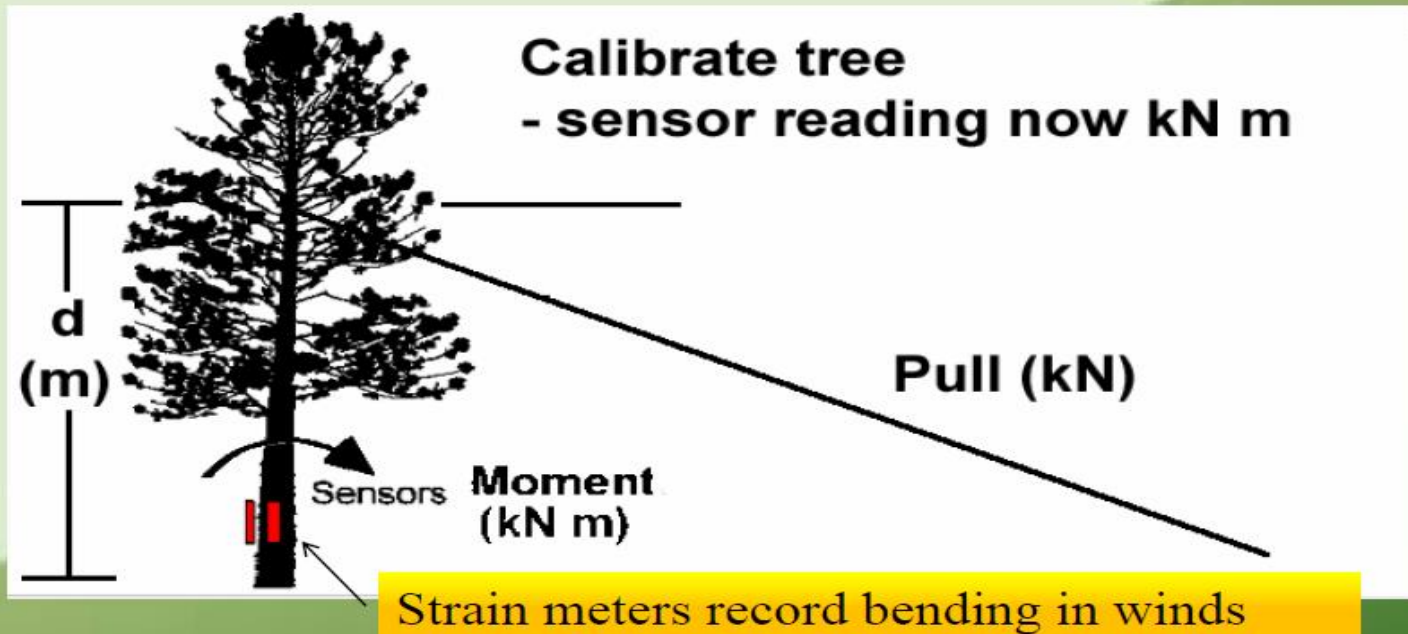
hat viele Lösungen!

Dynamik der Baumkrone

- Berechnung eines variablen C_w Wertes
(Versuch 2009, Kohler, Worm, Detter, Rust, Jahrbuch der Baumpflege 2011)
- Kombination eines Zugversuches und einer Windmessung. Der Baum als Messinstrument
- Zusammenhang von Biegemoment und Randfaserverformung wird über Zugversuch für den Baum ermittelt.
- Messung der Windgeschwindigkeit und Windlastermittlung.
- in situ: Messung der Verformung unter realer Windlast

Dynamik der Baumkrone

Measuring wind loads on trees- Strategy
“Make the tree the sensor”



Dynamik der Baumkrone

- **Wenn man dynamische Aspekte mit einbezieht gibt es viele Lösungen!**
- „Der Baum setzt dem Windbiegemoment nicht nur das Widerstandsmoment des Querschnittes entgegen, sondern es wirkt auch die ***kinetische Energie des bewegten Baumes*** gegen das Biegemoment. (...) Ein schwingender Baum kann bei einer bestimmten Windgeschwindigkeit verschiedene Randfaserdehnungen ausweisen.“

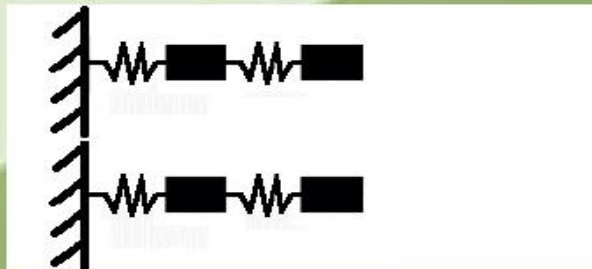
(Kohler, Worm, Detter, Rust im Jahrbuch der Baumpflege 2011, S. 252)

Gute und schlechte Schwingungen

Dynamics – two masses

Two masses

Two solutions

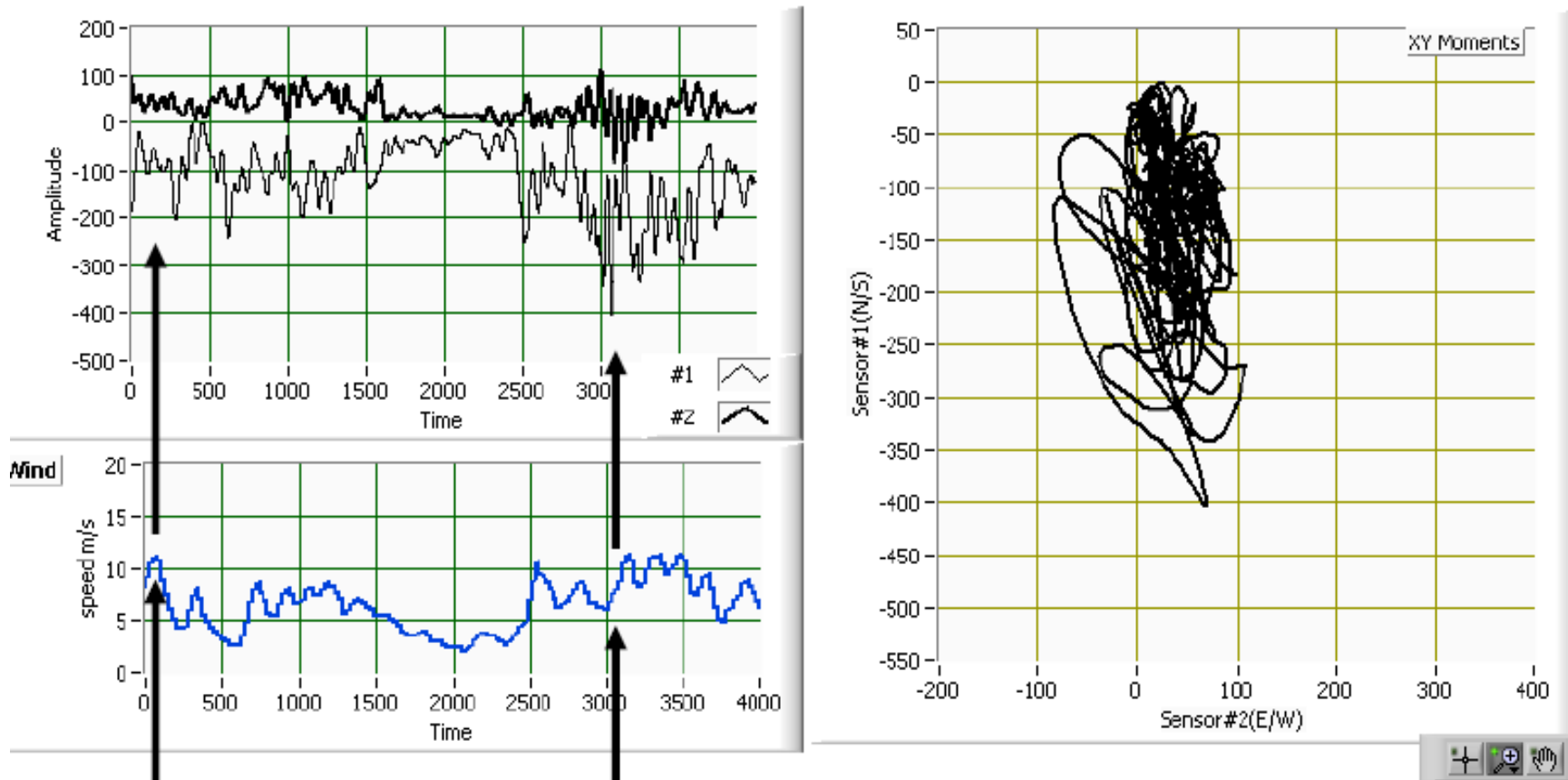


1. Masses move together

2. Masses move apart

Dynamik der Baumkrone

apl:\monash\capruo\m2000\02171173.vcd



Large wind gust but no peak force on tree???

Peak force 400 kN.m, but no significant wind gust

Faktoren der Dynamik

- **Dämpfungsfaktoren:**
- Luftwiderstand (aerodynamische Dämpfung)
Wirbel Turbulenzgeneratoren
- Innere Reibung (viscoelastische Dämpfung,
Materialdämpfung)
- Massendämpfung (bewegte Massen,
Beschleunigungsenergie)

Faktoren der Dynamik

- **Resonanter Energietransfer:**

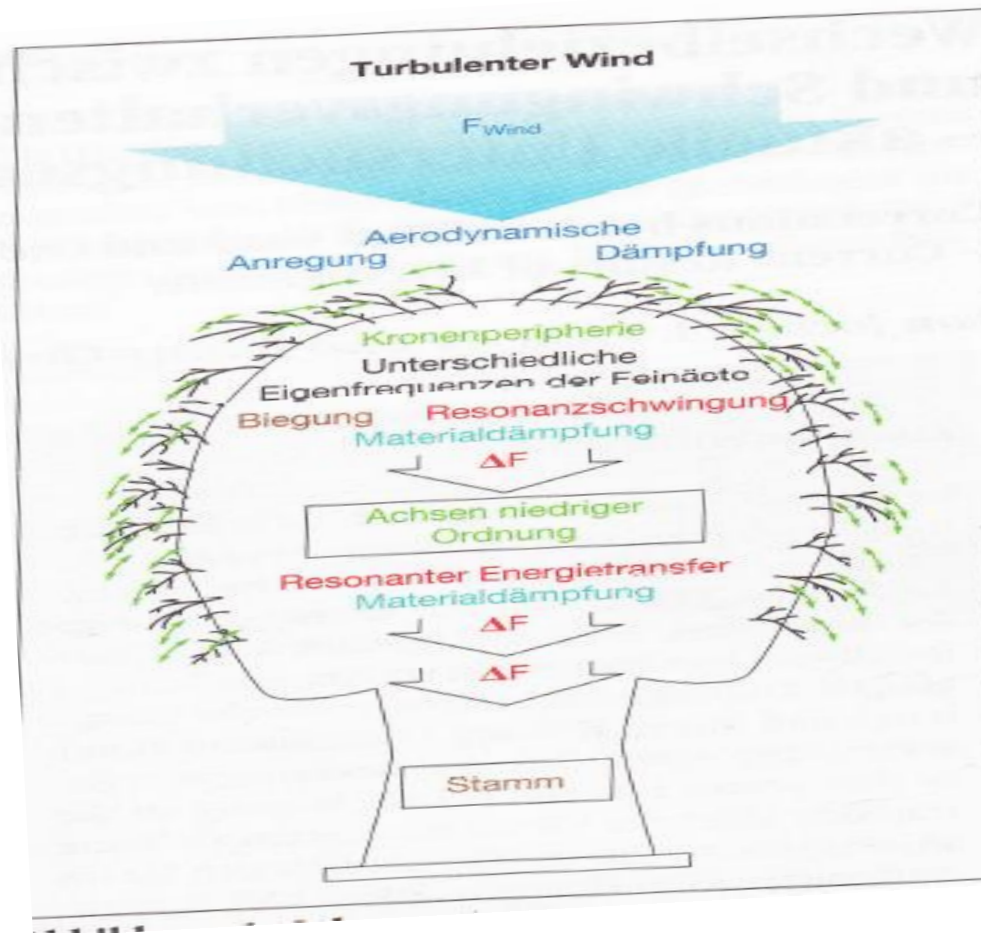
Benachbarte Achsen mit **ähnlichen Frequenzen** übertragen Energie.

von Luv (dem Wind zugeneigt)

nach Lee (dem Wind abgeneigt)

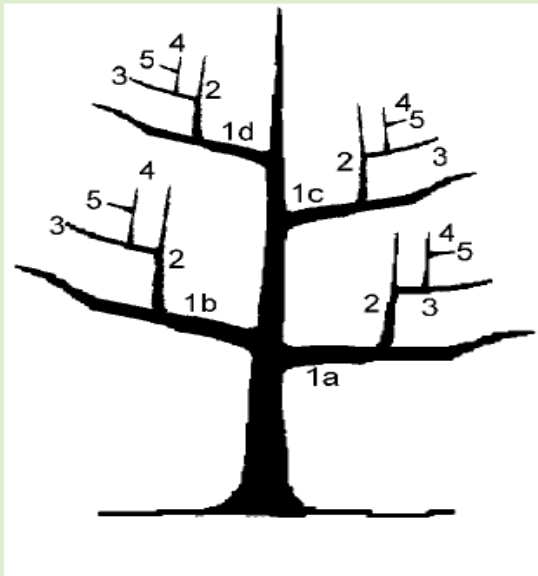
Faktoren der Dynamik

- Dämpfungskaskade von den Feinästen zum Stamm:

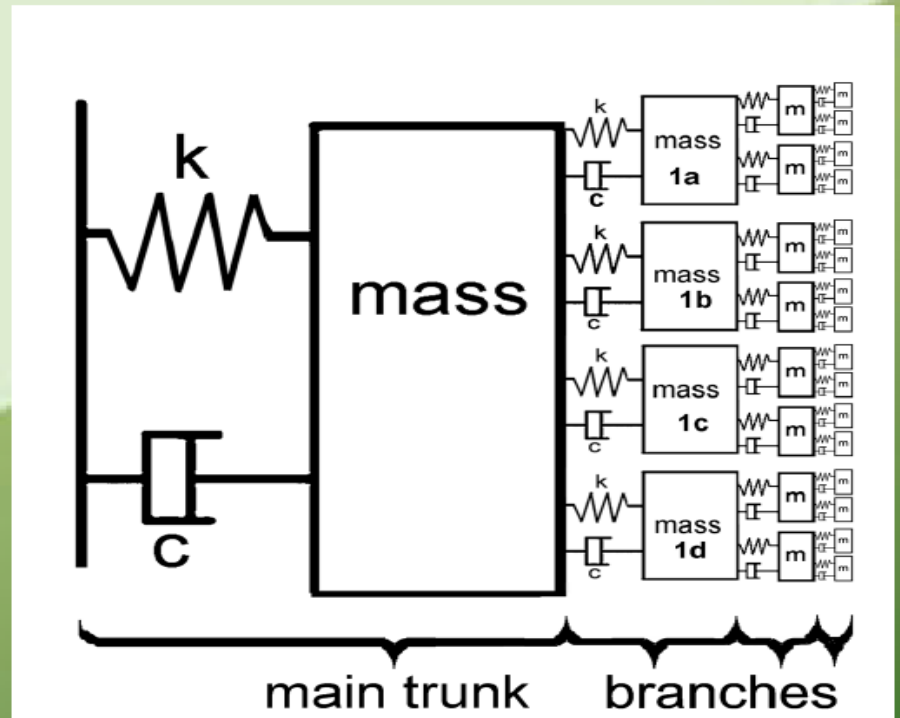


Dynamik der Baumkrone

New Dynamic Tree Model

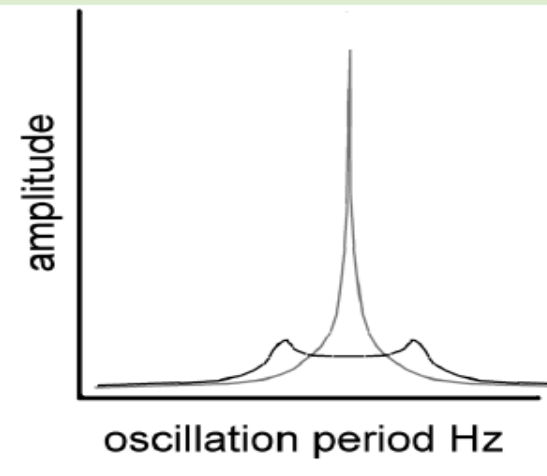
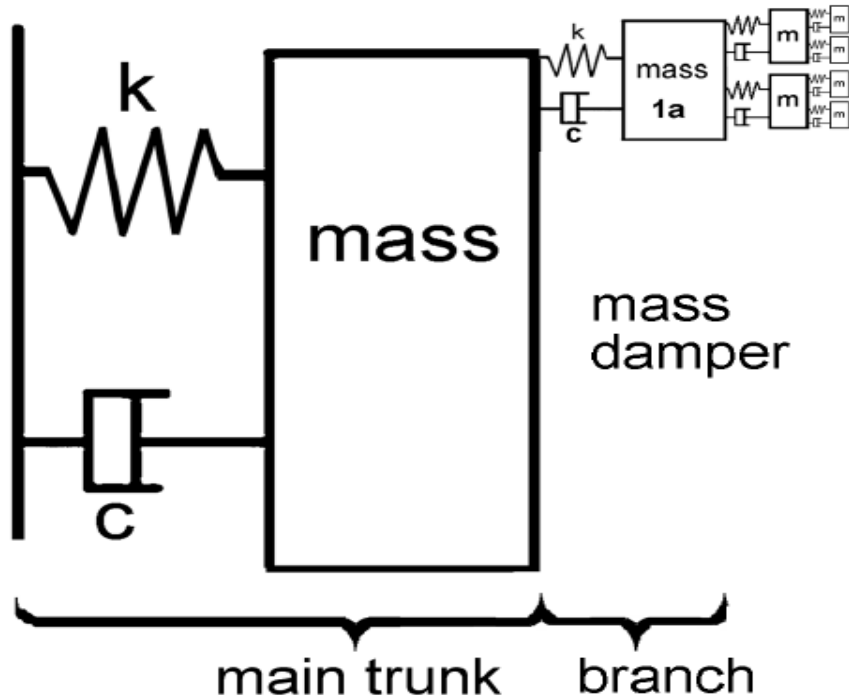


- with dynamic branches



Dynamik der Baumkrone

Mass Damping minimises sway

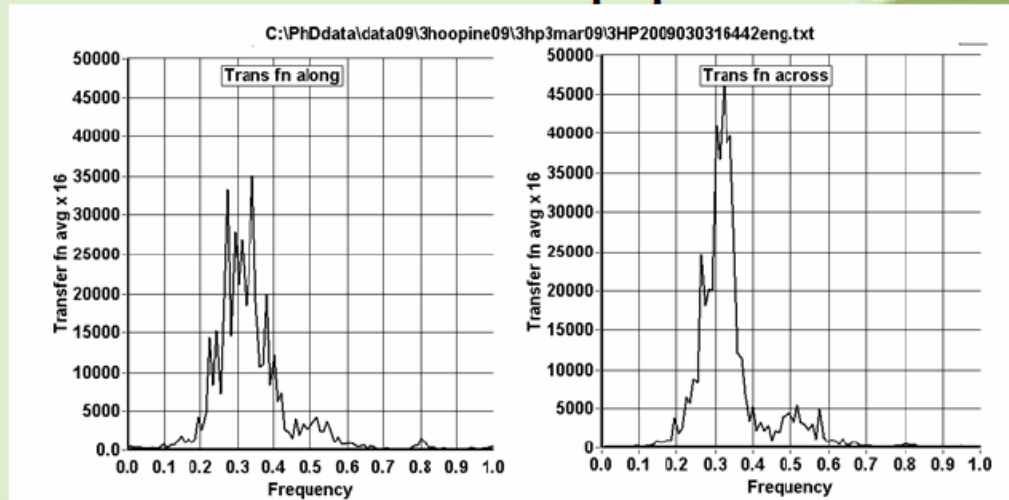


The dynamic interaction of masses (branches) that prevent large oscillations occurring

Eigenfrequenzen



Tree response spectrum Hoop pine



- Provides data on tree dynamics, frequency, drag, damping
- Shows trees do NOT have a harmonic sway
- Spread of tree frequencies shows branch sway prevents harmonic sway
- Branches detune the tree

Eigenfrequenzen

Buche

- Höhe 34m
- Durchmesser:.....67 cm
- Eigenfrequenz:.....0,21 Hz

Feldahorn

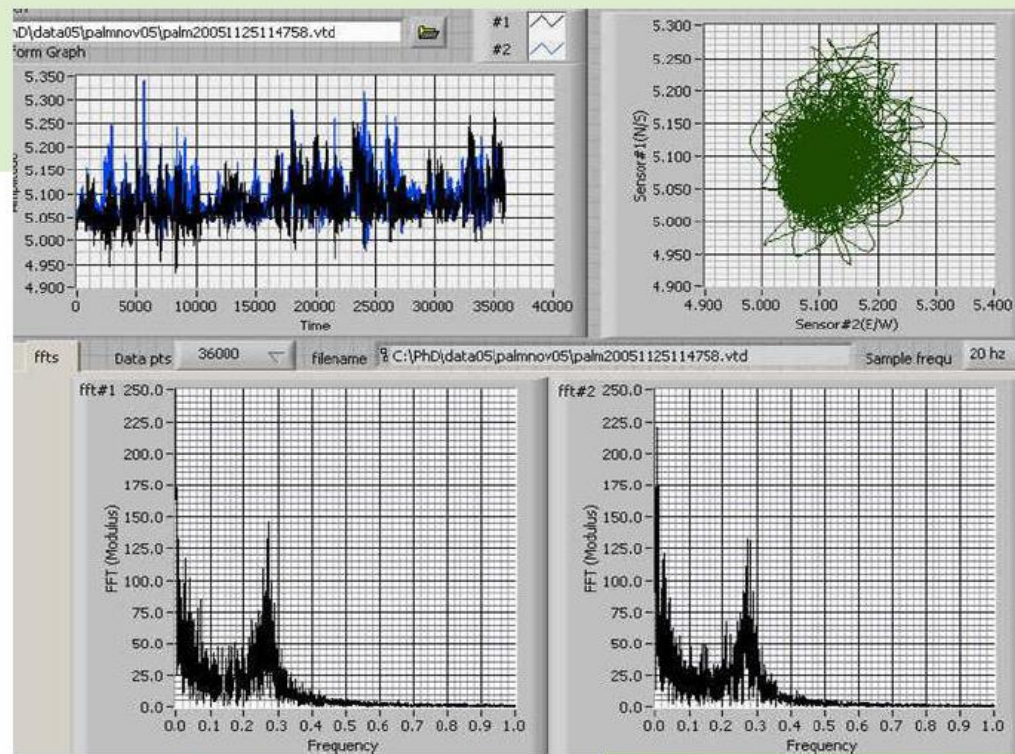
- Höhe 12,3 m
- Durchmesser:.....38,5m
- Eigenfrequenz:.....0,52 Hz

Eigenfrequenzen

Palm



Washingtonia robusta



Nat Freq. = 0.27 hz, Period = $1/0.27 = 3.7$ s

Eigenfrequenzen

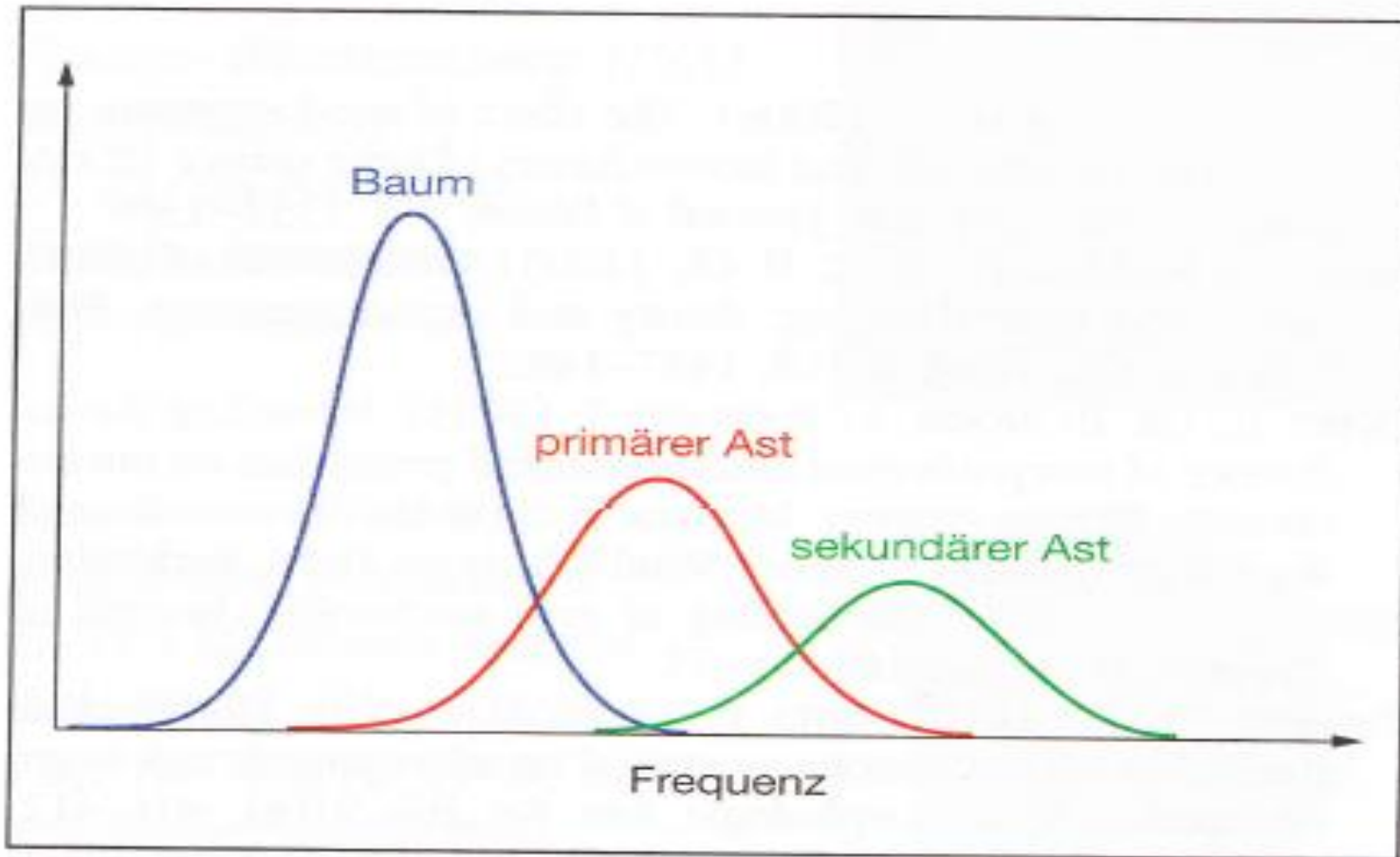


Abbildung 10: Voraussetzung der Energie

Dynamik von verschiedenen Bäumen

Allometry – tree size and shape

BIG TREES are NOT
scaled up versions
of *small trees*

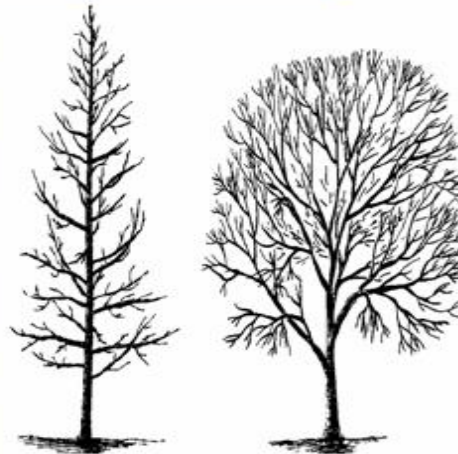
*Effect of BRANCHES is important
in wind (dynamics)*



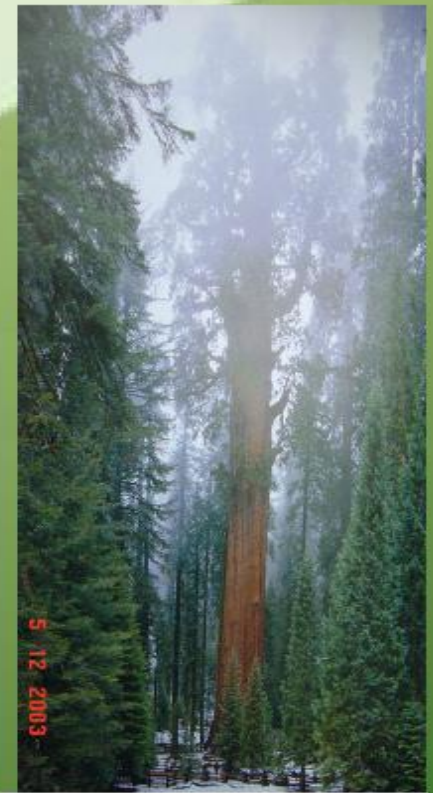
Wind tunnel



Plantation



Urban trees



Forest giants

Dynamik von verschiedenen Bäumen

- **Allometrie:** (von griechisch allos „anders“; metrie „messen“)
- **Übertragung der dynamischen Eigenschaften von Bäumen im Wind auf verschiedene Maßstabskategorien sind nicht möglich!**
- **junge Bäume** haben viele Blätter, hier wirkt der Luftwiderstand
- **ältere große Bäume** haben viel träge Masse, hier wirkt das Trägheitsgesetz
- **schlanke Waldbäume** haben kaum untere Seitenäste
- **Stadtbäume mit offenen Kronen** können als Ansammlung von schwingenden Ästen betrachtet werden. Hier wirken die disharmonischen Resonanzen.

Dynamik von verschiedenen Bäumen

Trees in this study Different branching forms



(a)



(b)



(c)



(d)

Palm

Italian cypress

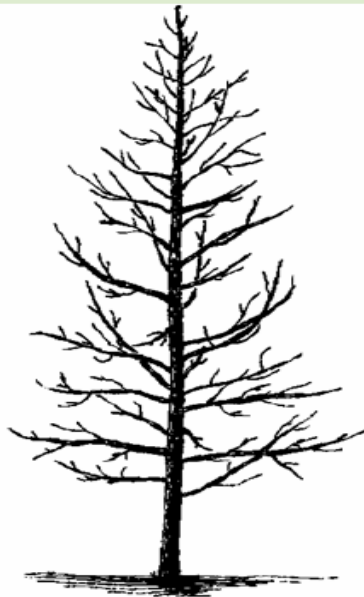
Araucaria (Hoop pine)

Eucalyptus teretecornus

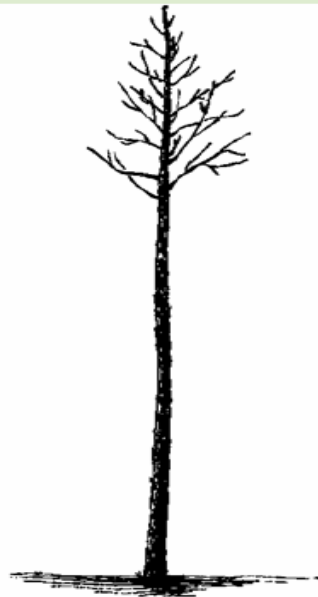
Dynamik von verschiedenen Bäumen



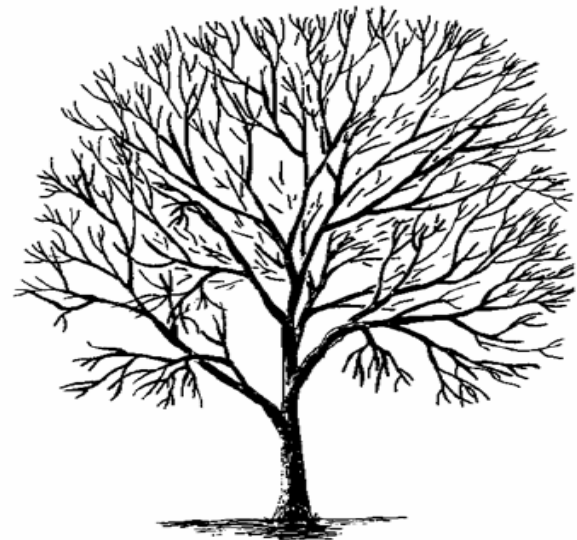
Tree shapes – branch are important



(a) excurrent tree



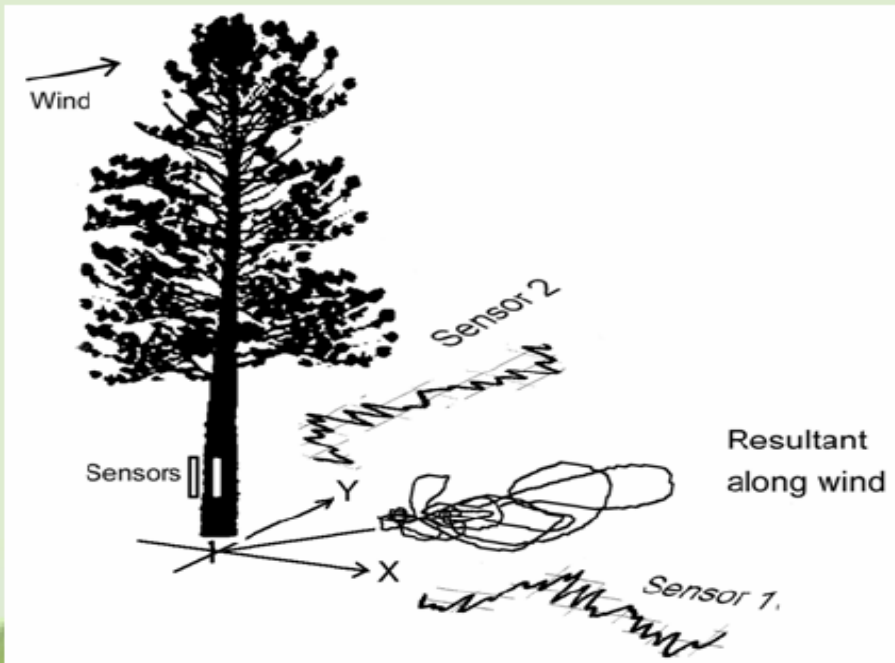
(b) plantation tree



(c) decurrent tree

Messungen

Sample graph of tree motion in wind from one sensor



Sensor 1 - linear

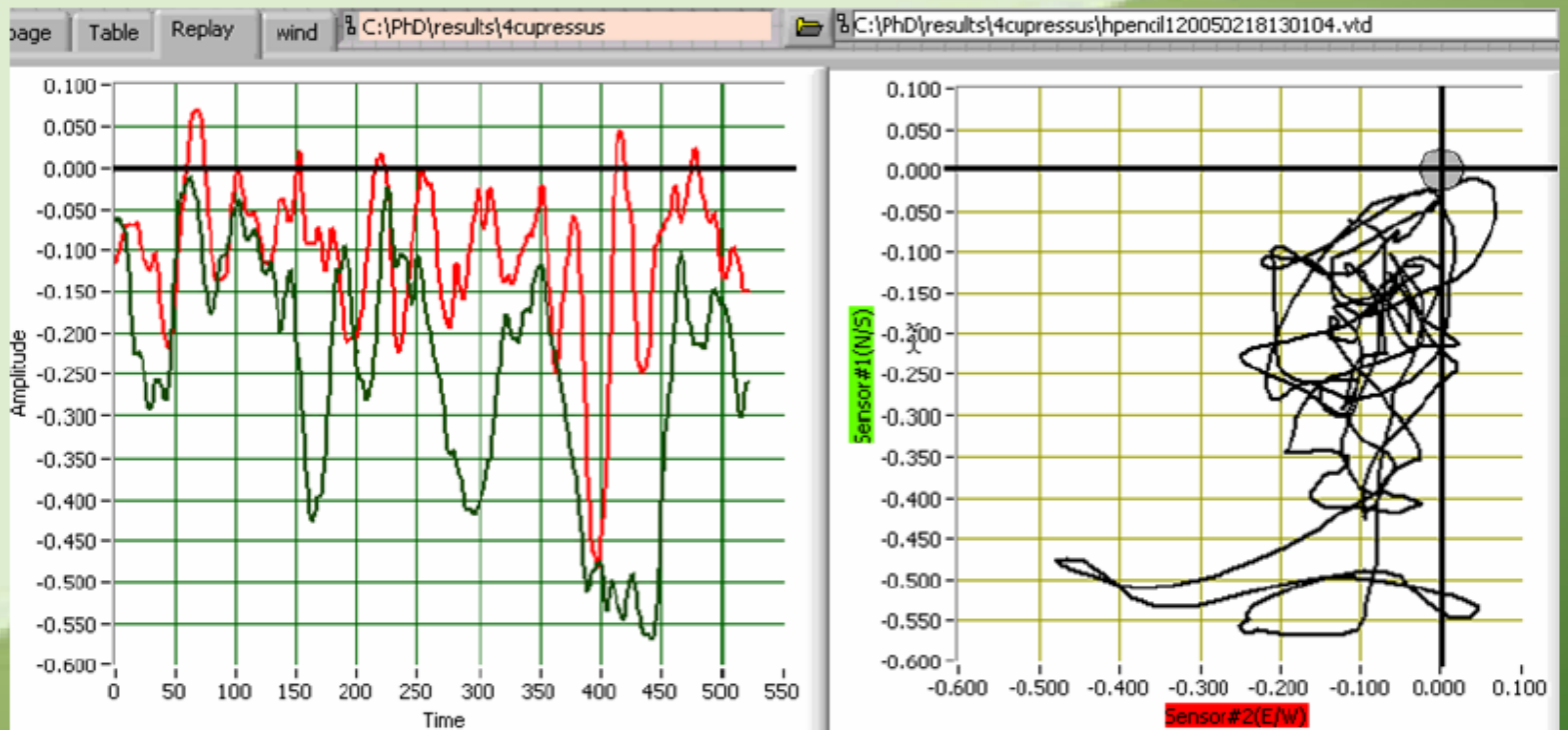
Sensor 2 – linear (at right angles)

Resultant XY graph

Gives motion for wind from any angle

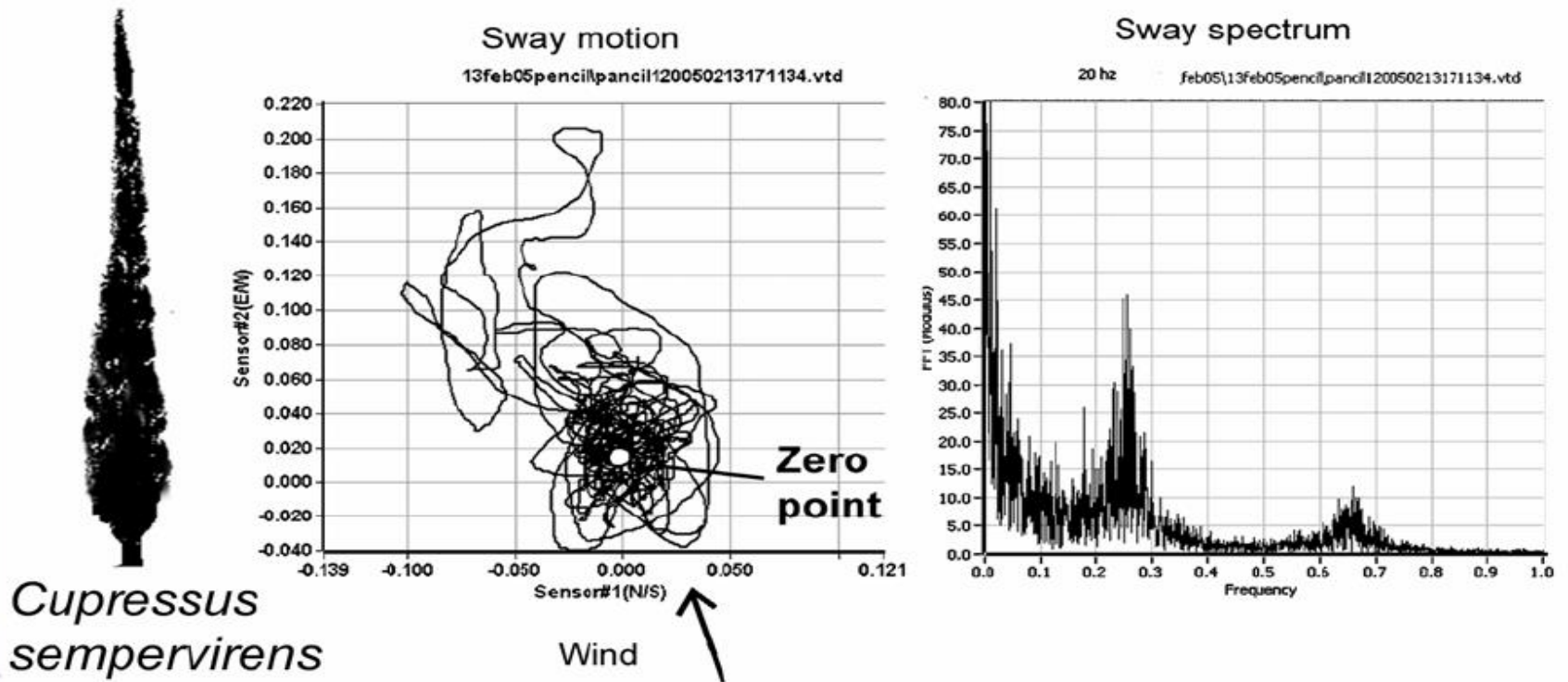
Messungen

Cypress - gust



Messungen

Cypress – dynamic motion



Ende – Anfang der Bewegung

Tree motion

Harmonic motion?

Do trees sway back and forth?

Is there a natural frequency?

What are the dynamic forces on trees?

