

Forschungszentrum Karlsruhe

Technik und Umwelt

Wissenschaftliche Berichte

FZKA 6666

Ein neues Versagenskriterium
für nicht fäulegeschädigte
solitäre Bäume

C. Mattheck, K. Bethge, I. Tesari, R. Kappel

Institut für Materialforschung
Programm Nachhaltigkeit, Energie- und Umwelttechnik

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe
2001

Impressum der Print-Ausgabe:

**Als Manuskript gedruckt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor**

**Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 3640, 76021 Karlsruhe**

**Mitglied der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft
Deutscher Forschungszentren (HGF)**

ISSN 0947-8620

Ein neues Versagenskriterium für nicht fäulegeschädigte solitäre Bäume

Bäume streben auf ihrer Baumoberfläche eine gleichmäßige Spannungsverteilung an und erhalten diesen Zustand durch adaptives Wachstum. Stehen die Bäume jedoch im dichten Bestand, treiben sie sich phototrop wachsend in die Höhe und das Axiom konstanter Spannung kann energetisch nicht mehr realisiert werden.

Auf der Basis eines Höhen/Durchmesser (H/D)-Verhältnisses wird ein neues Versagenskriterium vorgestellt, welches Bäumen mit einem kleinen H/D-Verhältnis höhere mechanische Sicherheit und bessere biologische Versorgung beibringt.

A new Failure Criterion for non decayed solitary Trees

Trees strive for a homogeneous load distribution on their surface and restore this state by load adaptive growth. If however trees grow up in a dense stand, they compete for light and grow phototropic more into height than in thickness. Thereby the Axiom of uniform stress can no longer be realized for energetic reasons.

On the basis of a Height/Diameter (H/D)-ratio a new failure criterion is presented, that relates a higher mechanical safety and a better biological supply with water and assimilates to trees with a lower H/D-ratio.

Inhalt	Seite
1. Einleitung	1
2. Das Höhe/Durchmesser (H/D)- Verhältnis im Forst	4
3. Das H/D- Verhältnis bei solitären Bäumen	5
4. Zusammenfassung	8
5. Literatur	9
6. Anhang A Einfache Messung der Baumhöhe mit Stock	10
Anhang B Eine einfache Theorie zur Vorhersage des kritischen H/D-Wertes	11

1. Einleitung

Bäume streben auf ihrer Baumoberfläche eine gleichmäßige Spannungsverteilung an, und stellen diese bei deren Störung durch adaptives Wachstum wieder her [1]. Dies setzt voraus, dass der Stamm für diese Selbstreparatur ausreichend Assimilate produzieren kann, was beim vitalen, solitären Baum in der Regel der Fall ist.

Stehen die Bäume jedoch im dichten Bestand, treiben sie sich phototrop wachsend in die Höhe. Die kleine, hoch angesetzte Krone reicht nicht aus, um die unteren Stammbereiche und das Wurzelwerk ausreichend in die Dicke wachsen zu lassen. Das Axiom konstanter Spannung kann energetisch nicht mehr realisiert werden.

Dies führt zu den im Forst gewünschten wenig abholzigen, weil fast zylindrischen Stämmen, die unten weitaus geringere Jahresringbreiten aufweisen als oben (Abb. 1 und 2) [2].

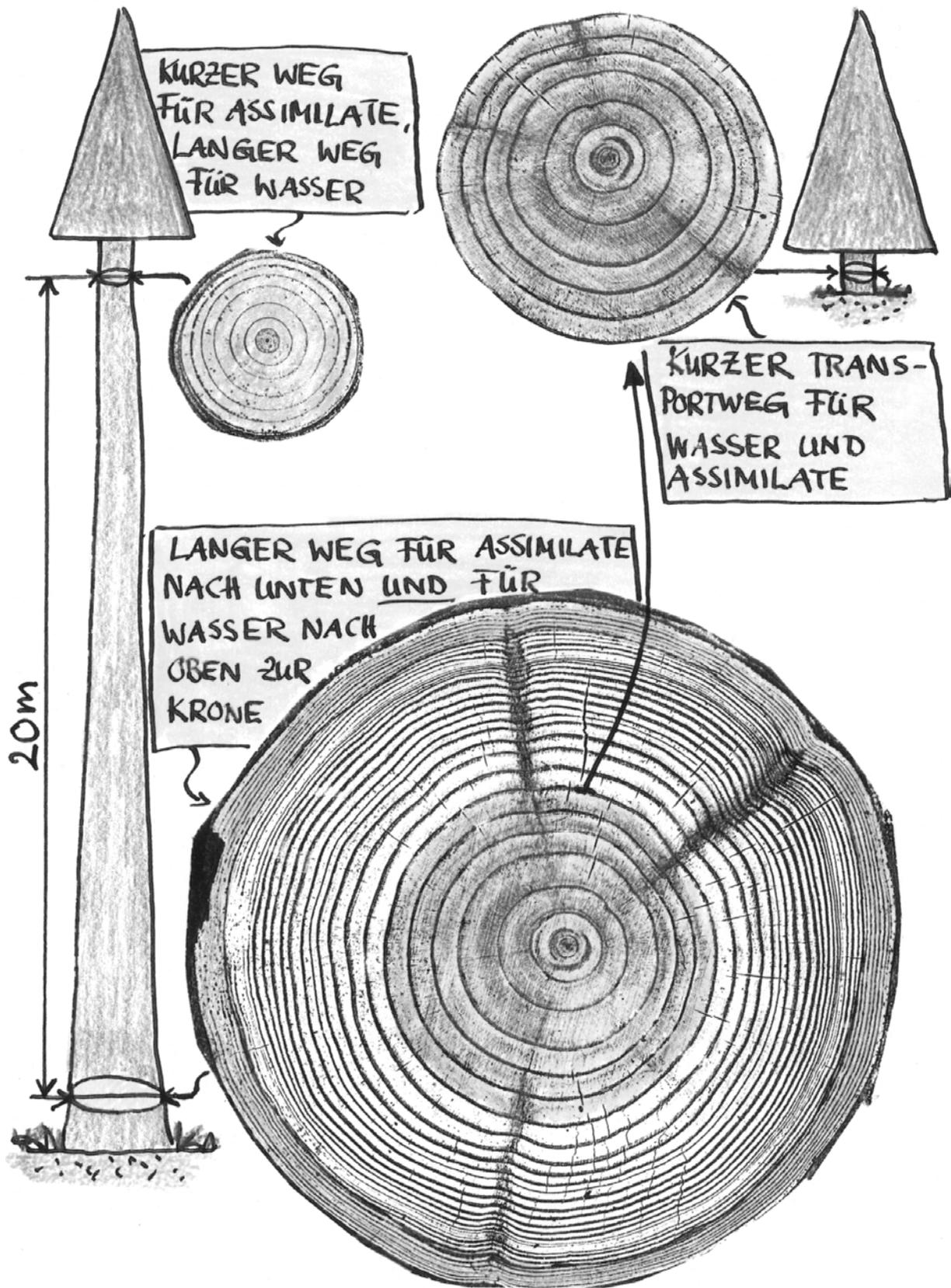


Abb. 1: Lange Transportwege durch phototropes Wachstum führen schließlich zum biologischen Selbstmord der Bäume.

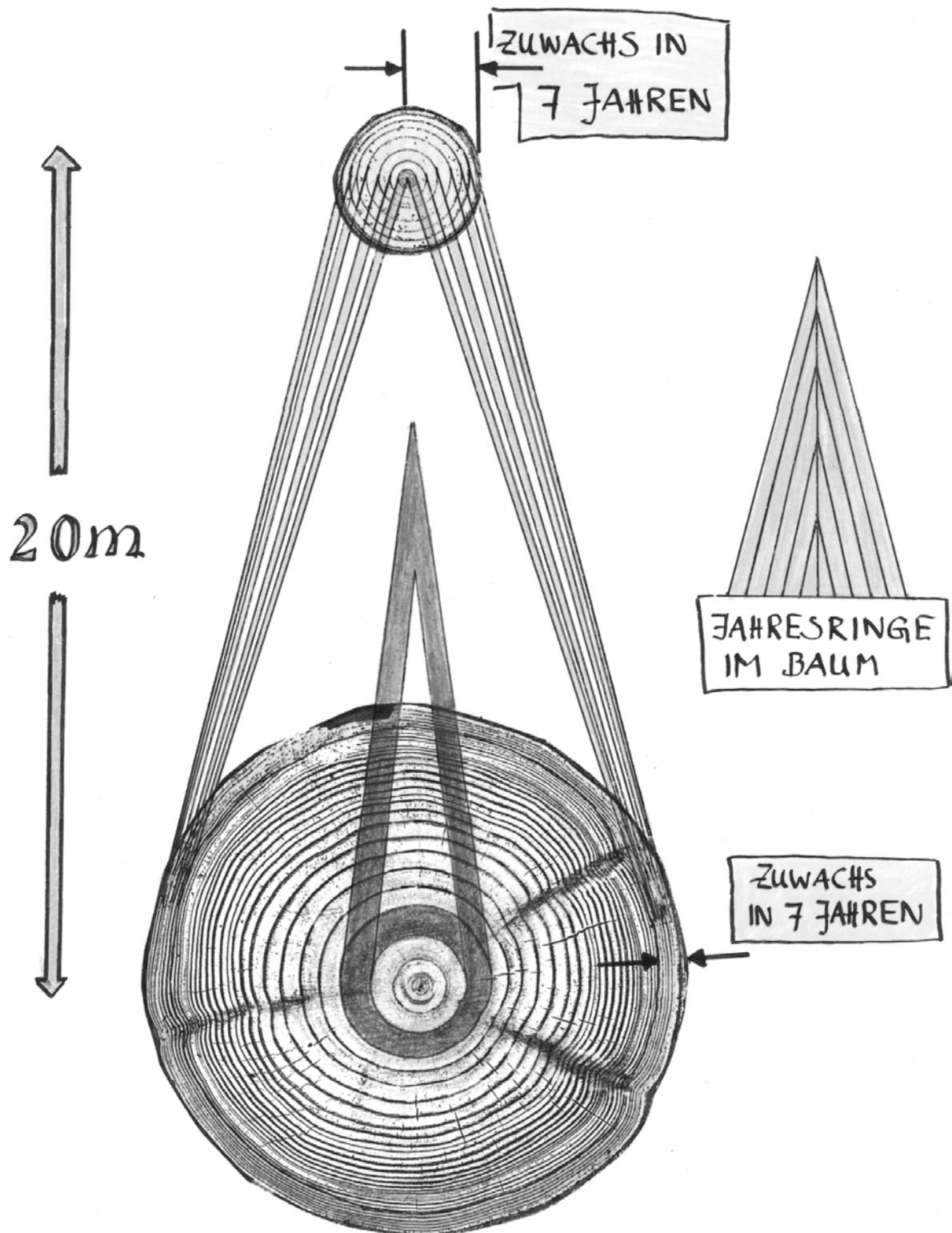


Abb. 2: Der obere Sägeschnitt (s. Abb. 1) zeigt deutlich dickere Jahresringe als der heute von der hoch angesetzten Krone nur schlecht mit Assimilaten versorgte untere Sägeschnitt. Durch phototropen Wettbewerb, mechanische Entlastungen und Aufasten entstehen so unvorteilhaft hohe H/D-Verhältnisse.

2. Das Höhe/Durchmesser (H/D)-Verhältnis im Forst

Der Forst hat schon lange das sogenannte H/D-Verhältnis zur Bewertung der Sicherheit von Waldbeständen herangezogen. Dabei gelten je nach Autor [3, 4] Verhältnisse unterhalb $H/D = 70 - 80$ als sicher. Dies mag – ohne hier geprüft worden zu sein – für geschlossene Waldbestände zutreffen, wo sich die Wurzelplatten durch Formschluss oder gar Verwachsungen gegenseitig stabilisieren und wo sich die Kronenschwingungen durch gegenseitige Reibung und losen Formschluss dämpfen.

Für Solitärbäume, die auf sich alleine gestellt sind, müssen andere Gesetze gelten und freigestellte, also künstlich zum Solitär gemachte Bestandsbäume müssen bruch- und wurfgefährdeter sein als vorher im Schutze ihrer Nachbarn.

3. Das H/D-Verhältnis bei solitären Bäumen

Bevor die Autoren eigene Feldstudien anstellten, wurde eine Arbeit von Altmann und Dittmer ausgewertet [5], in der die größten nordamerikanischen Bäume (153 Spezies) erfasst wurden. Abb. 3 zeigt das Ergebnis.

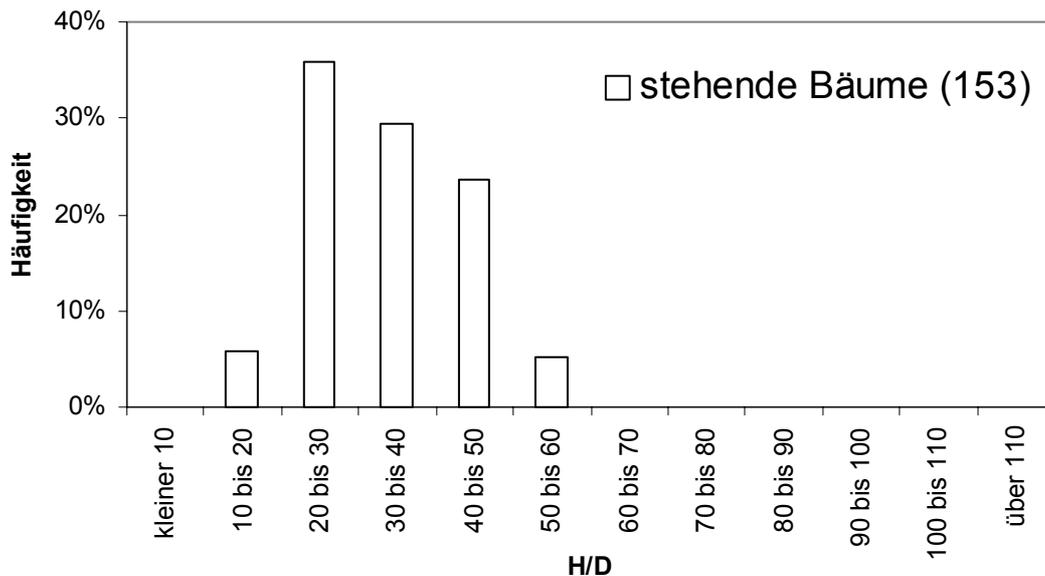


Abb. 3: Häufigkeitsverteilung nicht versagter, also stehender nordamerikanischer Solitäre über dem H/D-Verhältnis, nach Altmann und Dittmer 1962 [5].

Alte Solitäre scheinen ein Verhältnis zwischen $H/D = 20$ bis 30 zu bevorzugen, H/D -Verhältnisse über 60 werden gemieden. Nur wenige Bäume weisen ein H/D -Verhältnis über 50 auf.

Eigene Feldstudien an stehenden und versagten Bäumen haben dies bestätigt. Insbesondere finden sich signifikante Versagensraten (Abb. 4) erst über $H/D = 50$. Wenige Einzelversager unter diesem als kritisch anzusehenden Wert konnten teils durch Stau- nässe, flachgründige Böden oder Orkanwindstärken erklärt werden.

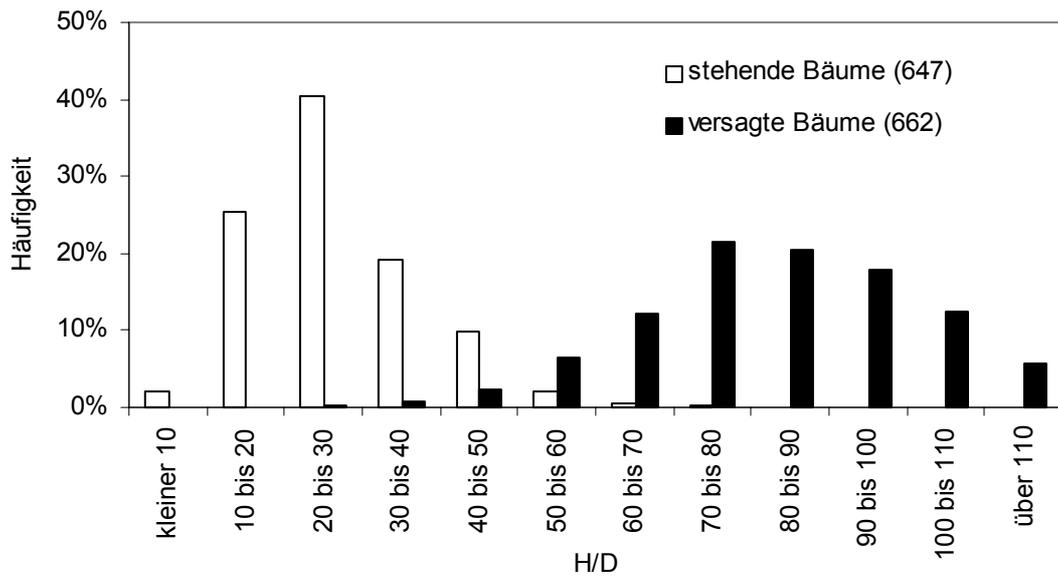


Abb. 4: Feldstudien zeigen $H/D \approx 50$ als Versagenskriterium für solitäre Bäume.

Über $H/D = 80$ nehmen die Versagensraten wieder ab, vermutlich weil die Bäume zu-
meist schon vorher versagen oder geerntet wurden. Man beachte, dass die versagten
Bäume wegen ihres hohen H/D -Verhältnisses „künstliche“ Solitäre sind, also behütet
aufwuchsen und danach ihrer Nachbarn, z.B. durch Bestandslichtungen, beraubt wur-
den. Auch die Aufastung von Straßenbäumen kann die H/D -Verhältnisse unvorteilhaft
erhöhen.

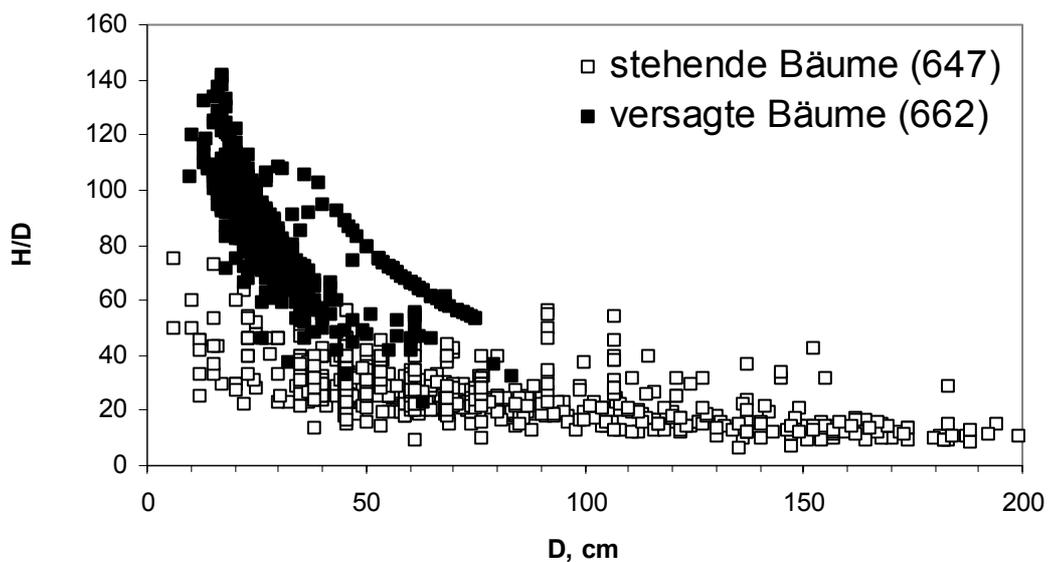


Abb. 5: Dicke, alte Bäume haben kleinere H/D -Verhältnisse.

Abb. 5 deutet darüber hinaus darauf hin, dass die dicksten und somit ältesten Bäume kleinere H/D-Verhältnisse haben. Auch hier ist eine deutliche Trennlinie zwischen stehenden und geworfenen Bäumen erkennbar, die nur durch Versager mit Standortproblemen oder bei Orkan infolge begrenzten Sicherheitsfaktors (höhere Gewalt!) in ihrer Eindeutigkeit etwas aufgeweicht wird.

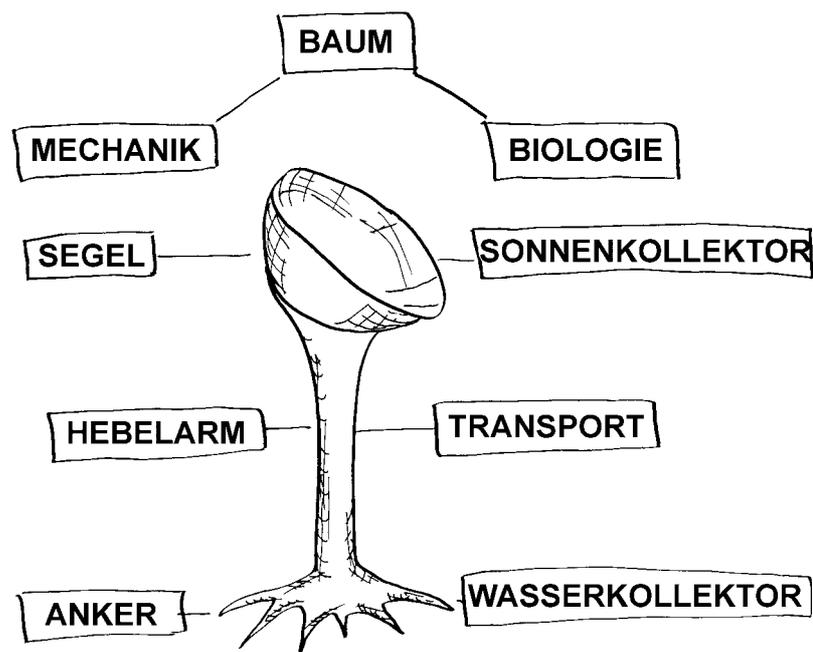


Abb. 6: Der Baum als multifunktionelle biologisch-mechanische Struktur.

Abb. 6 ist geeignet, die Vorteile zu erklären, von denen die ältesten Bäume mit kleinsten H/D-Werten profitieren. Bei festem Stammfußdurchmesser D ist der Hebelarm, an dem die Windlast angreift, bei kleinem H/D-Verhältnis am kleinsten, somit auch das Biegemoment am Stammfuß und somit auch das Versagensrisiko.

Da aber die Länge des Windhebels auch gleichzeitig der Transportweg für Wasser von der Wurzel zur Krone und für Assimilate von der Krone zu Stammfuß und Wurzelplatte ist, bedeutet ein kleines H/D-Verhältnis bei festem Durchmesser auch kurze Transportwege, also gute Versorgung und damit gute Realisierung des Axioms konstanter Spannung auch am Stammfuß sowie materialeitig ausreichend Assimilate für lastgerechte Festigkeitsverteilungen.

4. Zusammenfassung

Kleine H/D-Verhältnisse bedeuten mehr mechanische Sicherheit und bessere biologische Versorgung.

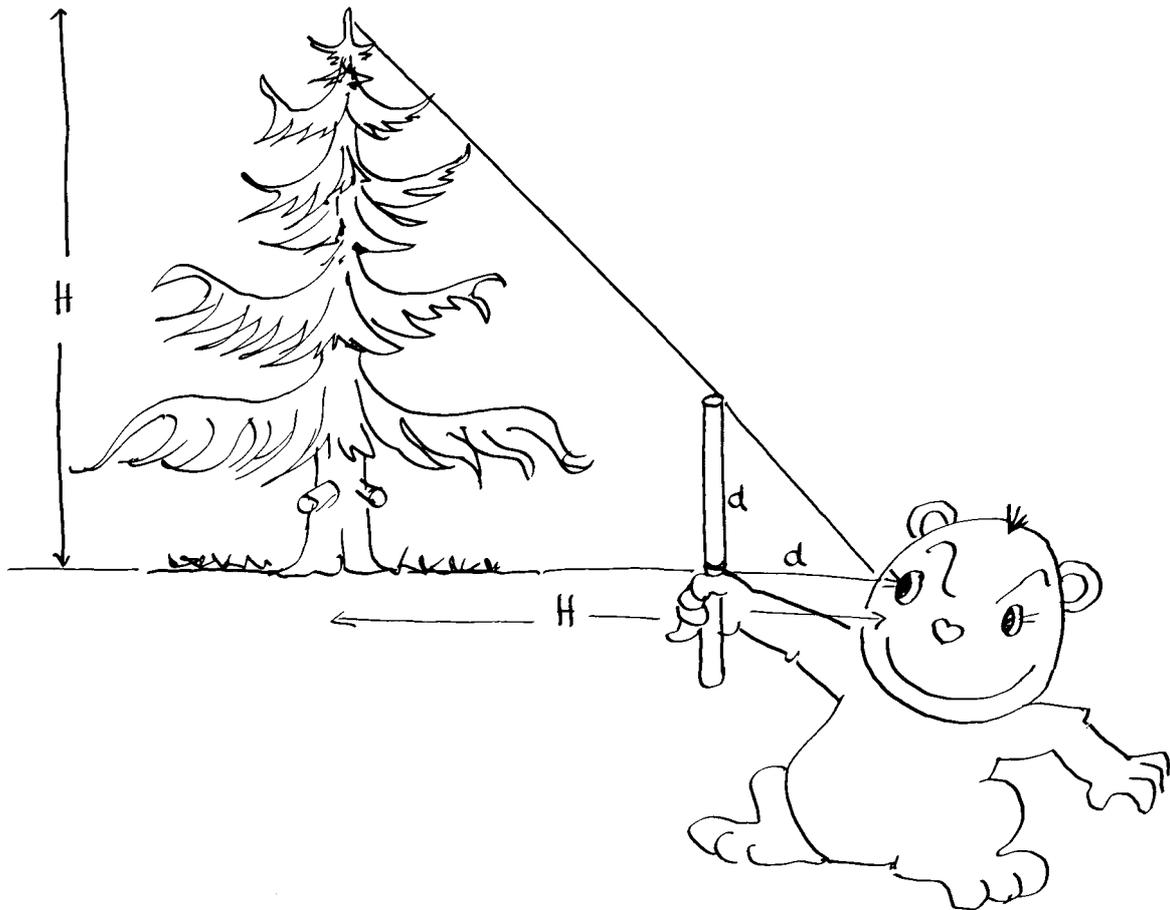
Der kritische H/D-Wert, von dem an die Versagenswahrscheinlichkeit rapide zunimmt, liegt bei $H/D \approx 50$. Urbane Bäume sollten durch Einkürzung bzw. präventiv durch Vermeidung phototropen Wachstums mit ausreichendem Sicherheitsabstand unter $H/D = 50$ gehalten werden.

5. Literatur:

- [1] C. Mattheck, Design in der Natur, Rombach Verlag, 3. Auflage, 1997
- [2] C. Mattheck, K. Bethge, Wenn Äste und Baumkronen zu „Parasiten“ an Stamm und Wurzeln werden, Tagungsband 7. VTA- Spezialseminar „Messen und Beurteilen am Baum“, Karlsruhe, 27.- 28. März 2001
- [3] G. Mitscherlich, Wald, Wachstum und Umwelt, 2. Band, Sauerländers Verlag, Frankfurt, 2. Auflage 1981
- [4] M. Rottmann, Wind- und Sturmschäden im Wald, Sauerländers Verlag, Frankfurt, 1986
- [5] P.L. Altman und D.S. Dittmer, Growth, including reproduction and morphological development, Federation of American Societies for Experimental Biology, Washington D.C., 1962

6. Anhang:

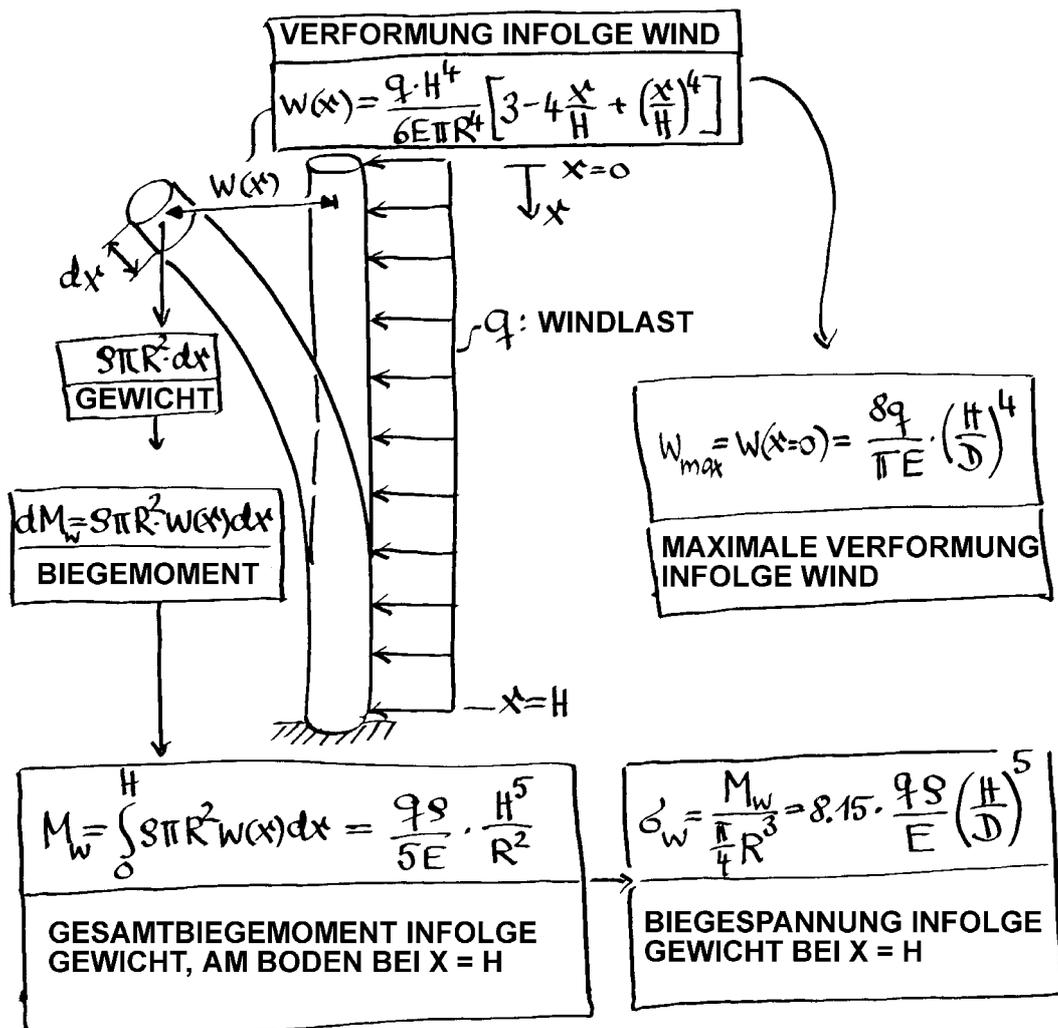
A. Einfache Messung der Baumhöhe mit Stock



B. Eine einfache Theorie zur theoretischen Vorhersage des kritischen H/D- Wertes

Ein zylindrischer vertikaler Stab, der unten eingespannt ist, werde durch Winddruck (Streckenlast q) quer belastet. Es entsteht eine elastische Biegelinie $w(x)$, die bei Wirkung der Gravitation gewichtsbedingte Biegespannungen am Stammfuß σ_w bewirkt.

Die Kurve der auf den Winddruck q normierten Biegespannung $\sigma_w/q \sim (H/D)^5$ hat für übliche Holzdichten und Steifigkeiten einen rapiden Anstieg bei $H/D \approx 50$, was das Versagen charakterisiert.



$$\frac{\sigma_w}{q} = 8.15 \cdot \frac{g}{E} \left(\frac{H}{D}\right)^5$$

BEISPIEL:

$$g = \frac{7000 \text{ N}}{\text{m}^3} = 7 \cdot 10^{-6} \frac{\text{N}}{\text{mm}^3} \quad \text{SPEZIFISCHE WICHTE VON HOLZ}$$

$$E = 7 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{ELASTIZITÄTSMODUL IN FASERRICHTUNG}$$

$$\frac{\sigma_w}{q} = \frac{8.15 \cdot 10^{-9}}{\text{mm}} \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^5$$

