

## Der Baum ein dynamisches „Bauwerk“ der Natur

Es ist nachvollziehbar, wenn jemand von der Größe und Schönheit der Bäume und deren Bedeutung als Lebensraum für andere Spezies fasziniert ist. Dies ist sympathisch, stellt allerdings keine hinreichende Grundlage für die Beurteilung der Stand- und Bruchsicherheit von Bäumen dar. Bei dieser Fragestellung gilt es Bäume als große, zig Tonnen schwere Konstruktionen zu begreifen - lebende, sich stetig verändernde Konstruktionen, die i. d. R. sicher sind, jedoch nicht in jedem Einzelfall.

Was die naturgegebene Konstruktion Baum von einer gebauten wesentlich unterscheidet, sind Aspekte der Dynamik. Gebaute Konstruktionen können sich nicht nachträglich aus sich heraus stabilisieren oder einer Flexibilitätsstrategie folgen. Sie werden nach den geltenden Erkenntnissen der Statik, einschließlich entsprechender Sicherheitszuschläge, geplant und gebaut.

Bäume rein statisch begreifen zu wollen, würde der verantwortungsvollen Aufgabe der Beurteilung von deren Stabilität (Stand- und Bruchsicherheit | Verkehrssicherheit) nicht gerecht.

Ebenso wie Gebäude, sind Bäume ortsfeste Konstruktionen, und doch sind sie in Bewegung und flexibel, also dynamisch. Was ist damit gemeint?



**Abbildung 1 und 2** Bäume passen sich an. So geben sie unter Winddruck nach, sie lassen starke Verformung zu.

Unter Windeinwirkung entlasten sich Bäume durch temporäre, strömungsgünstige Verformung, von Blättern, Zweigen, Ästen, der gesamten Krone, je nach Baumart auch des Stammes und durch dämpfendes Hin- und Herschwingen. Bei ständig vorherrschendem Wind nimmt die Baumkrone eine dauerhaft strömungsgünstige Form an. Im Falle von wetterbedingten, kritischen Auflasten (Schnee oder Eisbehang) verändert sich bei vielen Baumarten die Aststellung, sodass der Behang abrutschen kann, bevor es zum Bruchversagen kommt. Birken sind in der

Lage sich in Gänze zu biegen und nach Verschwinden der Auflast wieder aufzurichten, etwa dem Motto folgend: Extrem nachgeben statt brechen.

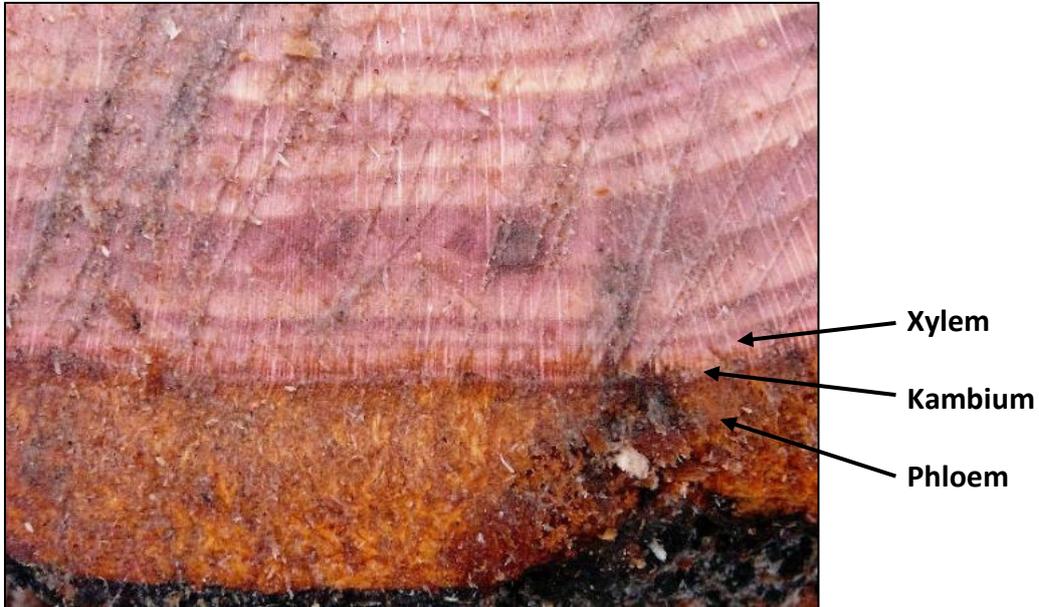


**Abbildung 3** Bei der vorderen Pappel kam es, aufgrund häufig auftretender Starkwinde, zu einer dauerhaften, strömungsgünstigen Verformung (Windschur, Windflüchter). Bei der hinteren Pappel nicht in gleichem Maße, Sturmschäden waren die Folge. Die Bäume stehen in Strandnähe.

Bäume sind also nicht nur statische Gebilde, sondern auch dynamische. Sie verändern ihre Gestalt unter Windbelastung und über sehr lange Zeit wachsen sie in die Höhe und Breite (Längen- oder Streckungswachstum) und bis zum Tod in die Dicke (Sekundäres Dickenwachstum von Ästen, Stämmen, Stamm und Wurzeln). Der Baum verändert sich Jahr um Jahr und auch innerhalb eines jeweiligen Jahres - einige Monate ist er unbelaubt, einige Monate ist er belaubt – eine gewisse Zeit trägt er Früchte, in der anderen Zeit nicht.

Diese Wandlungen sind mit mechanischen Lastveränderungen gleichzusetzen (beispielsweise Zunahme der Hebelkräfte durch Streckungswachstum), denen der Baum biomechanisch, sich selbst stabilisierend (innere und äußere Gestaltoptimierung) entsprechen muss, andernfalls würde es zu einem Kipp- oder Bruchversagen kommen. Genau dies verwirklichen Bäume, sie optimieren sich im mechanischen Sinne und bleiben dadurch stabil.

Die über das Kambium (millimeterdünne Wachstumszone zwischen Holzkörper (Xylem) und Bast (Phloem)) und Rezeptoren (über die Rezeptoren ist noch sehr wenig bekannt) vom Baum wahrgenommenen, mechanischen Lastveränderungen, werden mittels ausgleichender Holzanlagerung verarbeitet.



**Abbildung 4** Die Aufnahme zeigt einen kleinen Ausschnitt des Querschnitts einer Blutbuche, zur visuellen Verdeutlichung des im vorherigen Absatz Geschriebenen.



**Abbildung 5** Wie dieser Querschnitt eines Mammutbaumes zeigt, ist der jährliche Dickenzuwachs nicht gleichmäßig verteilt. An manchen Stellen ist der Jahrring dünner, an manchen dicker. Wer sich die Entwicklung vom Mark ausgehend ansieht erkennt zudem, dass sich die Richtung der stärksten Zuwächse mehrfach änderte.

Wo ein gestörter Spannungsverlauf vorliegt, wird gezielt Holz angelagert, wo ein gleichmäßiger Spannungsverlauf vorliegt, wird weniger Holz angelagert.

Sofern von ausgleichender Holzanlagerung die Rede ist, stellt sich dem Laien die Frage, was ausgeglichen werden soll und auf welche Weise dies geschieht.

Bei dem hier angesprochenen Ausgleich geht es um das **Streben der Bäume nach gleichmäßigen Spannungsverlauf** entlang ihrer gesamten Oberfläche, also darum, die wirksam werden den mechanischen Belastungen (Kraftflüsse) so zu verteilen, dass nirgendwo eine kritische Belastungssituation (beispielsweise Kerbspannungen oder kritische Schubkräfte) dauerhaft vorherrscht.

Erreichen kann ein Baum dies nur mittels biomechanisch gesteuertem Dickenwachstum, also der spannungsgesteuerten Verteilung des jährlichen Dickenzuwachses<sup>1</sup>.

Dies bedeutet, dass die Menge Holz, die ein Baum in der jeweiligen Vegetationsperiode generieren (produzieren) kann (abhängig vom Kronenvolumen), belastungsgesteuert verteilt wird. Wo kritische Spannungserhöhungen vorliegen, wird repariert. Die Folge dieser Verteilung ist, dass der jeweilige Jahrring weder gleichmäßig geformt noch gleichmäßig dick ist. Wäre er gleichmäßig, gäbe es Bereiche kritisch erhöhter Spannungen oder die Gleichmäßigkeit wäre durch Überdimensionierung herbeigeführt worden, was einer Materialvergeudung gleichkäme, da Bereiche des Jahrrings wesentlich stärker dimensioniert wären, als erforderlich. Genau das machen Bäume nicht. Bäume vergeuden kein Material, sie optimieren sich. Man spricht in diesem Zusammenhang von innerer und äußerer **Gestaltoptimierung**. Wobei die äußere Gestaltoptimierung das sichtbare Ergebnis der inneren Gestaltoptimierung ist.

Bei der inneren Gestaltoptimierung geht es nicht nur um die beschriebene Mengenverteilung innerhalb des jeweiligen Jahrrings und dessen Formung, sondern auch um die Zusammensetzung des Holzes, je nach Belastungsart und Belastungsstärke.

Für diese zielgerichtete Aufgabenlösung wird das Holz so zusammengesetzt, wie es mechanisch betrachtet an der jeweiligen Stelle optimal ist. Der Leser möge sich das **Holz** wie eine **Materialmischung** vorstellen, dessen Zusammensetzung so erfolgt, wie es die baulichen Anforderungen verlangen.

Die in diesem Zusammenhang entscheidenden Bestandteile der Mischung sind Zellulose, Hemicellulose, Lignin und Pektin.

---

<sup>1</sup> Siehe auch die Veröffentlichung des Autors : *Spannungsgesteuerte Verteilung des Dickenzuwachses bei Bäumen*, AFZ-DerWald 16/2005, Seite 860 - 862

Die **Zellulose** und **Hemizellulose** zeichnen sich besonders durch Zugfestigkeit aus. Die Hemizellulose hat zudem die Funktion des Abstandhalters zwischen den einzelnen Zellulosesträngen und stellt einen Binder dar. So ist es nicht verwunderlich, dass das Holz stark zugbelasteter Baumzonen (der Hauptwindrichtung zugewandte Baumzonen oder die Oberseite schiefstämmige Bäume) einen besonders hohen Anteil an Zellulose und Hemizellulose aufweist.

Das **Lignin** ist der Bestandteil des Holzes, der sehr gute Eigenschaften bei vorherrschender Druckbelastung zeigt. Man kann sagen, dass Lignin eine aussteifende oder stützende Funktion hat. Aus diesem Grunde findet man dort besonders viel Lignin in der Holzzusammensetzung, wo in ausgeprägter Form Druckbelastung vorherrscht. Dies sind insbesondere die, der Hauptwindrichtung abgewandten Baumzonen, die Unterseite von Stämmlingen und Ästen, die Unterseite von schiefen Stämmen und die Wurzelanläufe auf der primär druckbelasteten Stammfußseite.

Dem **Pektin** kommt sozusagen die Aufgabe des Verklebens zu. So erklärt sich, wieso die Holzstrahlen von diesem Stoff umgeben sind. Pektin verklebt die Holzstrahlen mit ihrem Umfeld.

Die **Holzstrahlen**, die den Holzkörper radial durchziehen und Jahr um Jahr verlängert werden, haben eine biomechanisch entscheidende Aufgabe, sie verbolzen die Jahrringe<sup>2</sup> miteinander. Ohne diese Verbolzung würden die Jahrringe bei durch Wind induzierte Biege- und Torsionsbelastungen aufeinander abgleiten, die Konstruktion würde versagen - es gäbe keine Bäume mehr. Darüber hinaus werden mittels der Holzstrahlen Stoffe transportiert.

Die bis hierhin beschriebene, selbststabilisierende, biomechanische Strategie, findet ihre Komplettierung in einer Fähigkeit der Bäume, um die man wissen muss, wenn man sich mit der Beurteilung der Verkehrssicherheit von Bäumen befassen möchte, die Fähigkeit Wachstumsspannungen aufzubauen.

**Wachstumsspannungen** müssen Bäume erzeugen, um sich aufzurichten, phototrop zu wachsen - diese Wachstumsspannungen wirken achsial. Darüber hinaus erzeugen Bäume komprimierende Wachstumsspannungen in Umfangsrichtung (zirkumferentiell). Diese Wachstumsspannungen sorgen dafür, dass stets vorhandene Querzugspannungen nicht zur Ausbildung von Vertikalrissen in Stämmen, Stämmlingen und Ästen führen, die ein Primärversagen darstellen würden.

---

<sup>2</sup> Der Autor verwendet den Begriff Jahrringe, weil er weit verbreitet ist. Auf dem Gebiet der Jahrringanalyse (radiale Prüfkörperentnahme bzw. radiale Bohrung) hat der Begriff seine Berechtigung. Bei biomechanischer Betrachtung des stehenden Baumes sollte man allerdings von Jahrröhren sprechen, denn darum handelt es sich. In jedem Jahr wird eine neue Röhre (Röhrensystem) über die des vorangegangenen Jahres gestülpt. Das Bild der Jahrringe ergibt sich erst nach Durchtrennung des Querschnitts, beispielsweise nach Fällung oder bei Durchbohrung und Betrachtung des Prüfkörpers bzw. der Bohrkurve.

Diese selbststabilisierenden Wachstumsabläufe, die sich evolutionär in einer Zeitspanne von über 300 Millionen Jahren entwickelt haben, funktionieren bei fast jedem Baumindividuum in umfassender Weise.



**Abbildung 6 und 7** Stark geneigte und gekrümmte Linde in Buseck – Trohe. Auf der Unterseite des Stammes und Stammfußes, also der primär druckbelasteten Seite, wirken Querzugspannungen (angedeutet mit roten Pfeilen), die im schlimmsten Fall zur Rissbildung führen können. Durch gegensteuernde Holzanlagerung und zirkumferentiell, komprimierend wirkende Wachstumsspannungen bleibt bisher eine Rissbildung aus.

Es gibt keine Regel ohne Ausnahme, und dies trifft auch auf diesen Kontext zu. In Einzelfällen kann es zu naturgegebenen oder anthropogenen Störungen kommen oder anatomische Besonderheiten vorliegen, beispielsweise (potentiell) instabile Zwiesel<sup>3</sup>, die der inneren und äußeren Gestaltoptimierung des Baumes entgegen stehen. Solche Bäume gilt es im Rahmen der Tätigkeit der Baumkontrolle zu erkennen, mit sich anschließender Festlegung von Maßnahmen zur Herstellung der Verkehrssicherheit.

In der Regel bilden Konstruktionen, ob gebaut oder gewachsen, Merkmale aus, die auf ein kommendes, mechanisches Versagen hinweisen. Dem finalen Versagen geht also Ablesbares voraus.

Weist ein Baum ein einzelnes Schadsymptom<sup>4</sup> auf, so ist er in der Regel dennoch stand- und bruchsicher.

Ausnahme: Frische Rissbildung und frische Verlängerung eines bereits vorhandenen Risses sowie ein plötzlich entstandener Schiefstands.

Problematisch wird es, wenn zwei oder mehr Schadsymptome vorliegen, die sich engräumig in ihrer Wirkung überlagern.

<sup>3</sup> Siehe auch die Veröffentlichung des Autors: *Die Beurteilung von Zwieseln*, AFZ-DerWald 8/2007, Seite 406 - 407

<sup>4</sup> Beispiele für relevante Schadsymptome: Riss(e) | Fruchtkörper holzzersetzender Pilze | auffallend starke, lokal begrenzte Dickenzuwächse (panikartige Dickenzuwächse) | sehr starke Stauchungen | Schrägstand | starke Erosion



**Abbildung 8 und 9** Drei Jahre vor dieser Aufnahme wurde dieser alte Silberhorn freigestellt. Nach der Freistellung haben die Belastungen für den Baum so erheblich zugenommen, dass er die erhöhten Spannungen durch gezielte Holzanlagerung möglichst schnell abbauen muss (panikartiges Dickenwachstum). Die Zonen erhöhter Spannungen („Straßen des Kraftflusses“, Prof. Dr. Claus Mattheck, in *Die Körpersprache der Bäume*, 2014, Seite 81) erkennt man an dem jugendlichen Rindenbild. Dieses juvenile Abschlussgewebe unterscheidet sich optisch stark vom alterstypischen Abschlussgewebe des Baumes (mit Rahmen markiert).



**Abbildung 10** Dieser „eifelturmartige“, mächtige Kirschbaum zeigt zwei sehr deutliche Merkmale, die sich eng-räumig überlagern, die zusammengedacht werden müssen. Es sind der hohle Stammfuß (Der weiße Pfeil markiert die Öffnung) und die panikartigen Dickenzuwächse. Stünde der Baum nicht im Wald, müsste über eine moderate Kroneneinkürzung nachgedacht werden. Übrigens: Der hohle, offene Stammfuß ist aus Sicht des Artenschutzes als bedeutsame Höhle anzusehen.



**Abbildung 11 und 12** Trotz des Schrägstands war diese Rotbuche über Jahrzehnte eine stabile Naturkonstruktion - nun nicht mehr. Vier Problematiken überlagern sich: 1. Der Baum wurde kürzlich freigestellt. 2. Nun ist der Schrägstand kritisch zu sehen. 3. Befall mit Brandkrustenpilz. 4. Befallen ist die Haupt-Haltewurzel



**Abbildung 13** Die Birke im Vordergrund fällt sofort wegen des gekrümmten Stammes auf. Für sich alleine genommen stellt dies kein biomechanisch kritisches Problem dar. Kommt etwas hinzu, kann dies anders sein.



**Abbildung 14** Nach sorgfältiger Inaugenscheinnahme zeigte sich jedoch, dass es sich bei dieser Birke um ein gefährliches, natürliches Bauwerk handelte. Es wurde ein Riss festgestellt, der sich vom Stammfuß/Wurzelanlauf bis in den Stamm zog. Am Wurzelanlauf wurden zudem panikartige Dickenzuwächse festgestellt.



**Abbildung 15 und 16** Außerdem war die Separierung (mechanische Loslösung vom Gesamtgefüge) der eingefaulten Haupt-Haltewurzel festzustellen, wie auf Abbildung 15 zu sehen ist. Die Oberseite dieses Wurzelanlaufs (Abbildung 16) zeigte das Phänomen der panikartigen Dickenzuwächse, wodurch eine umfangliche Holzersetzung belegt war. Ergebnis der Gesamtbetrachtung: Gefahr im Verzug!



**Abbildung 17** Die erforderliche Fällung der Birke erfolgte zwei Tage später. Der Sägeschnitt zeigte, wie instabil diese lebende Konstruktion war. Die Haupt-Haltewurzel war fast vollständig separiert. Außerdem war der Stammfuß quer zum Verlauf der Separierungslinie komplett durchgerissen.



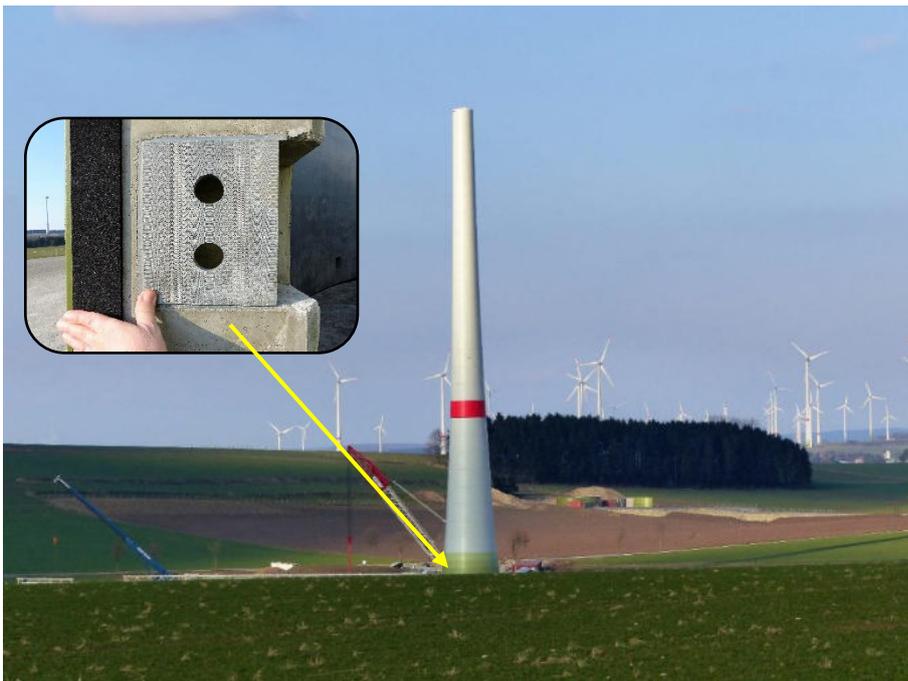
**Abbildung 18** Da Bäume lebende Konstruktionen sind, reagieren sie auf Beschädigungen und Statikprobleme. Nimmt die Versagensgefahr zu, verstärkt sich die Deutlichkeit der Reaktionen. Bei der abgebildeten Eiche liegt eine umfassende Ausfaltung des rechten Stämmlings vor. Mit zunehmendem Holzabbau wurde die Unterseite des Stämmlings immer stärker belastet. In der Folge kam es zu stetig stärker werdenden Stauchungen des Materials. Zusätzlich bildete sich das Phänomen der panikartigen Dickenwüchse aus (Pfeile), sodass dringender Handlungsbedarf gegeben war. Maßnahmen: Kronenteileinkürzung um 2,5 m und Einbau einer Trag-/Haltesicherung.



**Abbildung 19** Wie die gebaute Konstruktion, so benötigt auch die gewachsene Konstruktion Baum ein funktionierendes Fundament, einen statisch hinreichend funktionierenden Wurzel-Untergrund-Verbund. Durch Boden-erosion kann der Wurzel-Untergrund-Verbund beeinträchtigt oder zerstört werden. Dieser Prozess vollzieht sich in der Regel über viele Jahre, man kann also gut damit umgehen. Bei der abgebildeten, uralten Hainbuche führte die Erosion zum „Abrutschen“ des Baumes und der Ausbildung einer mächtigen, stützenden „Säule“ (Pfeil).



**Abbildung 20** Die naturgegebene, langlebige und selbst unter extremer Belastung stabile *Konstruktion Baum*:  
 1. Krone | 2. Stamm, dessen Durchmesser nach unten stetig zunimmt (Abholzigkeit) | 3. Wurzel-Untergrund-  
 Verbund, das Fundament des Baumes.



**Abbildung 21** Von der Natur gelernt: Windkraftanlagen als Nachbildung des Prinzips Baum: 1. „Krone“ | 2.  
 „abholziger Stamm“ | 3. Fundament. Der „Stamm“ ist hohl, die Wandung erstaunlich dünn.



**Abbildung 22 und 23** Wie beispielsweise Windkraftanlagen belegen, stellt das Rohr eine sehr stabile Konstruktion dar. Dies trifft auf hohle Bäume gleichermaßen zu, wobei der Querschnitt des hohlen Baumes zunimmt, die Grundsicherheit größer wird. Die abgebildete Eiche ist stand- und bruchsicher.



**Abbildung 24 und 25** Der Stamm dieser sehr alten Eiche stellte über viele Jahre ein stabiles Rohr dar. Dies hat sich nun verändert. An einer Stelle (siehe roter Rahmen) erfolgte kein ausreichender Dickenzuwachs mehr und es kam, ausgelöst durch eine kritische, windinduzierte Torsionsbelastung, zu einer Risserweiterung. Der Baum zeigt uns über seine Körpersprache an, dass nun dringender Handlungsbedarf besteht.



**Abbildung 26**

Nadelbäume stabilisieren sich primär durch die Anlagerung von Druckholz, manchmal auch Rotholz genannt. Nadelbäume reagieren also auf mechanische Reize primär auf der druckbelasteten Seite von Stamm, Stämmeling und Ast. Zugholz, wie bei Laubbäumen, gibt es bei Nadelbäumen nicht.

Druckholz gibt es bei Laubbäumen nicht. Dort nennen wir das Holz auf der druckbelasteten Seite Stützholz.



**Abbildung 27** Dem finalen Versagen eines Baumes gehen Prozesse voraus, die mit dafür typischen Merkmalen (Vorstufen) verbunden sind, ablesbaren Merkmalen. So verhält es sich auch bei dieser Fichte mit Schrägstand. Das finale Versagen kündigt sich durch den Stamm-Längsriss und den starken Harzfluss an. Bei dieser Baumart ist eine Selbstreparatur eines solchen Schadens nicht möglich. Beim Klopfen mit dem Schonhammer – Hohlklang. Es wird zum Bruch kommen. Risse sind ein sehr ernst zu nehmendes Schadmerkmal!

Mai 2020

**Autor:**

Marko Wäldchen