

Wissenschaftlicher Exkurs

– Zur Hypothese der konstanten Spannung an Bäumen

Das Modell des Ingenieurbaumes und der biologische Baum

1	Einleitung zum o.g. Aufsatz	4.3.3	Die Anpassung der Stammform und -dicke
2	Zum Axiom konstanter Spannung	4.3.4	Materialanpassung
3	Zur natürlichen Auslese beim Waldwachstum	4.3.5	Baumdesign in Abhängigkeit von Umweltbedingungen
4	Zur Phylogenese	5	Zur Reaktionsholzbildung
4.1	Zur Anpassung der Wasserleitungsfunktion	6	Zur Wundholzbildung
4.2	Zur Anpassung der Festigungsfunktion	7	Der Stammumfang - ein Maß für die Windlast?
4.3	Zu den nachweislichen Anpassungen an die	8	Zu Defekt-Symptomen und ihrer Bewertung
4.3.1	Die Windflucht	9	Zusammenfassung
4.3.2	Der vorgesehene Verlust von Baumteilen		Literaturverzeichnis

1. Einleitung

Baumkontrollen werden in erster Linie durchgeführt, um statikrelevante Defekte rechtzeitig zu erkennen und Schäden durch abbrechende Baumteile oder umstürzende Bäume zu vermeiden. Hierzu ist ein besonderes Fachwissen erforderlich, da abgesehen von der genetischen Veranlagung verschiedene Umweltfaktoren jede Baumgestalt individuell prägen und nur wenige Schadbilder zu verallgemeinern sind. Mit einem vereinfachten mechanischen Erklärungsmodell zum Baumwachstum wird seit einiger Zeit versucht, Symptome an Bäumen hinsichtlich ihrer Relevanz für die Verkehrssicherheit zu deuten.

Das mechanische Baummodell „...geht von einem „Ingenieurbaum“ aus: Das ist ein isolierter Baum unter optimalen Umweltbedingungen, der nur einer Belastung, der mechanischen (Windlast), ausgesetzt wird.“ (KULL, 1998).

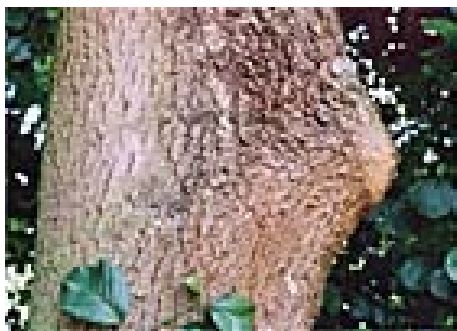


Abb. 1 Gestaltabweichung in Form einer Stammbeule an einer Esche. Die Ursache ist ein überwallter Aststummel. Für die Bruchstabilität ist diese Erscheinung zum Beispiel an wüchsigen Eschen und Rotbuchen ohne Bedeutung, auch wenn sie auf einen Holzabbau im Innern hinweist. Foto: Thomas Sinn

Verschiedene Autoren haben Hypothesen zur mechanischen Steuerung des Baumwachstums aufgestellt: Nach METZGER (1893, zitiert in FOBO, 1986) verursachen windinduzierte Biegespannungen in den Kambiumzellen einen Wachstumsreiz, der dort am größten ist, wo eine Verstärkung des Stammes aus statischen Gründen erforderlich ist. Nach YLINEN (1953, zitiert in FOBO, 1986) nimmt der Stamm von Bäumen eine derartige Gestalt an, daß die Bruchzusammendrückung der äußersten Fasern des Stammes in seiner Längsrichtung konstant ist. Die Steuerung des sekundären Dickenwachstums erfolgt nach MATTHECK (1992) durch das Axiom konstanter Spannung. Dadurch verrate der Baum mechanisch relevante Defekte durch Gestaltabweichungen auf der Oberfläche tragender Baumteile. Bei Baumkontrollen müsse auf eben diese Symptome geachtet werden.

Tatsächlich muß ein Baum jedoch auf viele Umwelteinflüsse gleichzeitig reagieren. Den größten Einfluß auf die zumeist auch gestaltprägende Reaktion hat der Faktor, der am weitesten vom Optimum entfernt ist. „Ein biologischer Baum unterliegt hauptsächlich folgenden Einflüssen: ·

- Photosyntheseleistung,
- Wasserversorgung,
- Ionenversorgung und
- mechanische Belastung.

Diese Faktoren sind nicht unabhängig voneinander, sondern bilden ein Netzwerk und sind rückgekoppelt: ...“ (KULL, 1998). Der biologische Baum, mit dem es der Baumkontrolleur zu tun hat, zeigt auf der Baumoberfläche sowohl Symptome, die rein biologisch bedingt sind, als auch durch mechanische Wirkung entstanden sein können.



Abb. 2 Übermäßige Materialanlagerung an einer Linde in Form von Stammbeulen. Die Ursache ist eine Knospensucht verbunden mit Verletzungen und wiederholter Wundgewebebildung nach Rückschnitten von Wasserreisern und kleinen Stifstäben. Für die Bruchsicherheit ist diese Erscheinung zum Beispiel bei Linde, Platane und Bergahorn ohne Bedeutung. Foto: Thomas Sinn

Da es DAS eindeutige Defektsymptom nur selten gibt, im Gegenteil, sich zumeist die verschiedenen Ursachen für Gestaltausprägungen an Bäumen überschneiden und sich Symptome mit unterschiedlichen Ursachen trotzdem gleichen können, muß eine qualifizierte Baumkontrolle die Kenntnisse vom biologischen Baum zugrundelegen. Dies ermöglicht -entsprechendes Fachwissen vorausgesetzt- eine wesentlich höhere Trefferquote im Erkennen statikrelevanter Schäden. Die überwiegende Zahl der Bäume kann allein durch die Sichtkontrolle sicher beurteilt werden. In diesem Aufsatz sollen das Modell des Ingenieurbaumes hinterfragt und Hinweise für qualifizierte Baumkontrollen gegeben werden.

2. Zum Axiom konstanter Spannung

Alle Theorien zum Ingenieurbaum (oder mechanischen Baummodell) beruhen auf mechanisch gesteuertem sekundären Dickenwachstum, zuletzt formuliert als Axiom konstanter Spannung. Ein Axiom ist ein grundlegender Lehrsatz, der ohne Beweis einleuchtet. Das Axiom konstanter Spannung beruht auf folgenden Überlegungen und Annahmen (sinngemäß):

Bäume sind als große, an einen Standort fixierte Lebewesen hohen äußeren Belastungen ausgesetzt.

Infolge dessen haben sie sich im Laufe der Evolution hinsichtlich ihrer Bruchsicherheit optimiert (= langfristig wirksame Anpassung). Sie sind je nach ihrem Standort unterschiedlichen und im Laufe ihres Lebens wechselnden Einflüssen ausgesetzt. Deshalb muß es einen zu Lebzeiten wirksamen Anpassungsmechanismus geben, der ihr (bruch)sicheres Wachstum durch Korrekturen der Baumgestalt bei minimalem Materialaufwand ermöglicht. Diese Voraussetzung wird erfüllt, wenn bei einer gegebenen "Betriebsbelastung" (= Wind) die Spannungen an allen lastabtragenden Teilen im Baum gleich sind. Dann gibt es weder Sollbruchstellen noch unterbelastete Bereiche, der Baum wird zu einer "Kette gleich fester Glieder".

Da das Maximum windinduzierter Biegespannungen an der Baumoberfläche wirkt, wird angenommen, daß das Kambium, das während der Vegetationsperiode laufend Holz- und Bastzellen produziert, sowohl Mess- als auch Reaktionsorgan sei. Es könne im Bedarfsfall adaptives Wachstum veranlassen und ermögliche die lebenslange Gestaltanpassung von Bäumen an immer neue Belastungssituationen (= kurzfristig wirksame Anpassung).

Daher sei zum Beispiel der "Stammumfang ein Maß für die Windlast".



Abb. 3 Ein Warnsignal in der „Rindensprache“ des Ingenieurbaumes: Unterseitig ausbrechende Rinde als angeblichen Hinweis auf eine mögliche Astabsenkung, hier bei einer Platane. Bei einem biologischen Baum werden die unteren Bereiche eines Astes mit zunehmendem Alter in den Stamm "eingeschmolzen", das Phloem nach außen verlagert und in der Achsel gefaltet. In der Folge kann ein Astkragen entstehen. Auf eine Bruchgefahr deutet dieser Vorgang nicht hin. Foto: Thomas Sinn



Abb. 4 Übermäßige Materialanlagerung in Form von Beulen und lokaler Stammverdickung an einer Linde. Hinsichtlich der Bruchsicherheit sind diese Gestaltabweichungen in diesem Fall ohne Bedeutung, denn es handelt sich lediglich um lokal gehäufte ältere Astabschnitte auf allen Stammseiten, die inzwischen überwältigt sind. Das "Schad-"bild ist durch die lokal gehäufte Wundholzbildung bedingt. Foto: Thomas Sinn

Bei lokalen Störungen des Spannungsgleichgewichtes, zum Beispiel bei Verletzungen oder innerer Fäulnis, würde der Baum mit lokalem adaptivem Wachstum reagieren. Der mechanische Defekt sei dann durch vermehrte Materialanlagerung auf der Baumoberfläche erkennbar.

Auf der Grundlage dieses Gedankenmodells wurde ein Symptomkatalog aufgestellt, der diese an der Baumoberfläche erkennbaren Defekt-Symptome beschreibt. Viele der beschriebenen Symptome wurden vor allem auf theoretischer Grundlage den aus der Bruchmechanik isotroper Bauteile bekannten Versagensarten zugeordnet. Mit Hilfe von Computersimulationen (unter Einsatz von FEM, SKO, CAO) wurde versucht, die Theorie anhand von Gestaltausbildungen an Bäumen zu verdeutlichen. Eine Beweisführung war allerdings so nicht möglich (vergl. SINN, 1992 b). "So plausibel alles klingen mag - eine allgemeine Beweisführung für das Axiom konstanter Spannung (constant stress axiom) wird wohl kaum möglich sein, eingedenk des Artenreichtums der Natur." (MATTHECK, 1992).

Dehnungsmessungen an Bäumen deuten eher auf eine ungleiche Spannungsverteilung an der Baumoberfläche hin. Zum Beispiel ergaben Dehnungsmessungen des Verfassers an einer gesunden etwa 80-jährigen Rotbuche -bezogen auf die gleiche Zuglast- in einer Stammhöhe zwischen 0,29 m und 2,69 m einen unteren Spannungswert von rd. 0,89 kN/cm² und einen oberen von rd. 1,49 kN/cm². Auch wenn es sich nur um tendenzielle Ergebnisse handelt, da zur Spannungsberechnung nach dem Hook'schen Gesetz (Spannung = Dehnung * E-Modul) ein gemittelter E-Modul zugrundegelegt wurde, so ist aufgrund dieser Ergebnisse, auch unter Berücksichtigung der natürlichen Streuung des E-Moduls, eine Spannungs Konstanz zumindest fraglich.

Ungleiche Spannungsverteilung bedeutet nichts anderes als unterschiedliche Bruchsicherheit der einzelnen Baumteile. Wissenschaftliche Untersuchungen zur Bruchsicherheit von Baumästen weisen diese Spannungsdivergenz nach. Hierzu wurden an Ästen beziehungsweise Stämmlingen von mehr als 30 m hohen, freistehenden *Populus x canadensis* neben Untersuchungen zu Materialeigenschaften und Verteilung der Radien entlang der Astverläufe definierte Abbruchversuche durchgeführt: "... die Äste sind an den Bruchstellen überproportional dünn (Abb. 2). Dies ist insofern bemerkenswert, da der Baum den Radius durch sekundäres Dickenwachstum am besten aktiv beeinflussen kann. ... Die unteren Äste brechen am Astansatz, die Äste der Baumspitze brechen knapp hinter dem Ansatzpunkt des Zugseiles. ... Äste im unteren Bereich brechen nicht nur als Ganzes, sondern auch bei einer geringeren Belastung." (BECKER, BRÜCHERT, GENENZ und SPECK 1997).

Daraus folgt, daß Bäume keine konstante Spannung an ihrer Oberfläche aufweisen und keine "Kette gleichfester Glieder" sind.

3. Zur natürlichen Auslese beim Waldwachstum

Das mechanische Modell des Ingenieurbaumes folgt einem Leichtbau- und Stabilitätsprinzip (keine Materialverschwendung, aktiv wirksame Stabilisierungsfaktoren: Konstante Spannung, adaptives Wachstum, Sicherheitsfaktor etwa 4,5). Am Beispiel der natürlichen Auslese beim Waldwachstum läßt sich aber feststellen, daß sich nur die leistungsfähigsten, am schnellsten wachsenden Bäume behaupten können und nicht die Bäume, die sowohl einer Leichtbau- als auch Stabilitätsstrategie folgen. Wenn es so ist, wie soll sich dann aber ein Meß- und Kontrollmechanismus, der über die Einhaltung einer etwa 4,5-fachen Sicherheit an allen tragenden Baumteilen wacht, als überlebenswichtiges Auswahlkriterium herausgebildet haben? Anhand des Waldwachstums kann beobachtet werden, welche Wuchseigenschaften selektionsentscheidend sind.

Als der wichtigste, das Baumwachstum dominierende Faktor gilt der Wettbewerb um Sonnenlicht (und Nährstoffe, Wasser). Natürlicherweise bilden Bäume Wälder. In diesen müssen sie durch schnelles Wachstum vermeiden, von Mitbewerbern unterdrückt zu werden. In Naturverjüngungen kommen Pflanzenzahlen zwischen 100 000 und 1 Million Bäumen pro Hektar vor (MITSCHERLICH 1978). Nach MAYER (1984) sind es zwischen 4-7 Millionen Keimlinge pro Hektar.



Abb. 5 Kein eindeutiges Defektsymptom: Rindenrisse. Diese können auf einen bedeutsamen Schaden (angeborener Stamm/Ast) hinweisen. Die Risse an einer Rotblühenden Roßkastanie auf der Abbildung 5 sind durch das Dilatationswachstum der Rinde bedingt und für die Bruchsicherheit ohne Bedeutung. Foto: Thomas Sinn

Aufgrund unterschiedlicher Erbveranlagung und vorhandener kleinräumiger Standortunterschiede findet schon in den ersten Jahren eine Gliederung der Population in rascher und langsamer wüchsige Bäume statt. Daher wachsen einige Bäume voraus, die große Masse wächst mit mittlerer Intensität und einige bleiben zurück. Mit Erreichen der endgültigen Bestandeshöhe geraten die Zurückbleibenden in immer schlechtere Wuchsbedingungen, da ihnen die schneller wachsenden zunehmend das Licht für die Assimilation fortnehmen und zugleich im Wurzelraum dominieren.

Diese Art des Konkurrenzwachstums wird durch die Fähigkeit zur Ausbildung von besonders effektiven Lichtkronenteilen bei ausreichendem Lichtgenuß forciert. "Jeder Dezimeter Kronenvorsprung bedeutet erheblich mehr Energiezufuhr und damit größeren Stoffzuwachs." (MAYER 1984).

Im Altbestand stehen dominante, herrschende Bäume, dünnere, zwischenständige sowie gegebenenfalls unterständige Bäume, die das Kronendach nicht mehr erreicht haben. Zuletzt haben lediglich höchstens 100 bis 400 Bäume überlebt (MITSCHERLICH 1978). Nach einer persönlichen Mitteilung von KULL (1998) gehen die meisten Jungpflanzen in den ersten Jahren zugrunde und nur wenige erreichen ein Alter von 10 Jahren.

Mit der Bildung von Wäldern ging die Tendenz hin zu schnellem, dafür mit höherem Risiko behaftetem Wachstum und nicht zu stabilitätsorientiertem, sicherem Wachstum (artabhängig

unterschiedlich). Die besten Bedingungen für eine große Stoffproduktion und hohe Wachstumsgeschwindigkeit bieten reichlich Licht und eine ausreichende Wasser- und Nährstoffzufuhr. Erwartungsgemäß fand im Laufe der stammesgeschichtlichen Entwicklung (Phylogenese) neben vielen anderen Anpassungen in erster Linie eine Optimierung des Hydrosystems der Bäume statt.

4. Zur Phylogenese

Auch die stammesgeschichtliche Entwicklung von Baumstämmen gibt keinen Anhalt dafür, dass im Laufe der Evolution eine Optimierung der Stabilität durch konstante Spannung, adaptives Wachstum und hohe Sicherheitsabstände erfolgte.

"Die Evolution bedeutet kein Fortschreiten in Richtung zu optimaleren Formen und Arten, da jede Form und jede Art für sich optimal bezüglich ihrer Funktion ist. Eine evolutionäre Veränderung kommt dadurch zustande, daß veränderte Anforderungen an die Funktion der biologischen Objekte oder an deren Teile gestellt wird." (REINER, in BLETZINGER und KIMMICH 1985).

Die stammesgeschichtliche Entwicklung von Pflanzen und Tieren wird in Abhängigkeit der sich ändernden Umweltbedingungen von zwei Erscheinungen begleitet:

1. Fortschreiten zu einer Struktur-Differenzierung, die von einer funktionellen Arbeitsteilung begleitet ist und
2. Anpassung der Strukturen und Funktionen an oftmals allerdings nicht klar erkennbare Umweltfaktoren.

Die Vorläufer der heutigen Nadelbäume (Gymnospermen) traten vor etwa 270-300 Millionen Jahren auf, die ersten Laubbäume (Angiospermen) vor etwa 100 Millionen Jahren. Die ersten Koniferen waren bereits nach Bauprinzipien gestaltet, die denen heutiger Nadelbäume sehr ähneln. Mit den stammesgeschichtlich jüngeren Laubbäumen findet sich generell eine fortgeschrittene Anpassung der inneren Strukturen an ihre wesentlichen Aufgaben, insbesondere der Wasser- und Nährstoffleitung sowie unter Umständen der Speicherung. Am Beispiel des inneren Aufbaues des Stammes von heute in Mitteleuropa vorkommenden Bäumen wird der holzanatomische Änderungsprozeß hinsichtlich der Wasserleitungs- und Festigungsfunktionen stark vereinfacht verdeutlicht. Die Einteilung in hydrophysiologische Funktionstypen erfolgt nach BRAUN (1980).

Als kurzfristig wirksame, im morphologischen Bereich sichtbare Reaktionsmechanismen des Holzgewebes von Bäumen, können die Reaktions-, Wund- und Wulstholzbildung angesehen werden.

4.1 Zur Anpassung der Wasserleitungsfunktion

Typ 1 - Tracheiden-Stufe

Bei den Nadelbäumen erfüllen axial ausgerichtete Längstracheiden kombiniert die Funktionen des Langstreckentransportes des Wassers und der Festigung des Holzkörpers.

Dieses recht einfache Konstruktionsprinzip hat sich unter bestimmten Bedingungen bis heute bewährt. Es weist jedoch einen Schwachpunkt auf: Die Fähigkeit zur Wassernachlieferung in die Krone ist mit einer Höchstgeschwindigkeit der Wasserleitung zwischen etwa 1,2 bis 1,4 m in der Stunde relativ gering (BRAUN 1980). Dadurch ergibt sich eine Begrenzung in der maximal möglichen Transpirationsrate (die Transpiration ist der Motor des Wassertransportes, von dem unter anderem die Stoffumsätze und die Wachstumsgeschwindigkeit abhängen).

Außerdem kann nicht schnell genug auf tageszeitlich bedingte große Temperaturunterschiede reagiert werden. Deshalb sind Nadelbäume heute natürlicherweise auf bestimmte Klimazonen beschränkt.

Wir unterscheiden auf der nördlichen Erdhalbkugel von Nord nach Süd eine kalte, eine gemäßigte, eine winterfeuchte und sommertrockene (mediterrane) Klimazone sowie die Klimagürtel der Subtropen und Tropen. In den verschiedenen Klimazonen ist in direkter Abhängigkeit von den Umweltfaktoren die Größenordnung der Transpiration verschieden. Sie nimmt generell von Nord nach Süd zu. Unterschiedliche Transpirationsbedingungen verursachen unterschiedliche Höchstgeschwindigkeiten des Transpirationsstromes. Die unterschiedlichen Anforderungen an das Hydrosystem führten zu unterschiedlichen Anpassungen.

Die genannten Klimazonen waren zu Beginn der Laubbaumzeit vor etwa 100 Millionen Jahren noch nicht vorhanden (auch wenn schon eine Klimadifferenzierung bestand). Das Klima änderte sich allmählich, es entwickelten sich nach und nach die verschiedenen Klima- und Vegetationszonen. Die in dieser Zeit aufkommenden Laubbäume paßten sich in der Gestaltung ihres Hydrosystems den sich allmählich entstehenden Klimazonen an. Es werden verschiedene fortgeschrittene Entwicklungsstufen im Aufbau des Laubbaumholzes unterschieden.

Typ 2 - Tracheiden-Gefäß-Stufe

Beispiel: *Fagus sylvatica*.

In das Grundgewebe von Längstracheiden mit nur noch untergeordneter Bedeutung für den Wassertransport sind röhrenförmige, mikropore Gefäße oder Tracheen eingebettet, die nur der Wasserleitung dienen.

Die Durchmesser der Gefäßzellen sind größer als die der Tracheiden, die Zellwände nur relativ schwach ausgebildet und die oberen und unteren Zellwände sind ganz oder weitgehend aufgelöst. Übereinanderliegende Zellen bilden daher ein durchgehendes Röhrensystem, in dem das Wasser frei von Hindernissen fließen kann.

Typ 3 - Eingeschränkte Tracheiden-Gefäß-Stufe

Beispiel: *Rhamnus cathartica*.

Die weitergehende Spezialisierung ist durch die Ausbildung von Festigungszellen, der Holz- oder Libriformfasern, charakterisiert. Deren Zellwände werden noch dicker als bei den Tracheiden ausgebildet und sie sind noch stärker verholzt. Nur noch etwa die Hälfte des Holzkörpers wird aus Tracheiden gebildet, in die -wie bei der Buche- ausschließlich wasserleitende, mikropore Gefäße eingebettet sind.

Das Hydrosystem ist bei dieser Entwicklungsstufe nur noch auf etwa die Hälfte des Querschnittes beschränkt.

Typ 4 - Gefäß-Stufe

Beispiel: *Acer pseudoplatanus*.

Die Festigung erfolgt nur noch durch tote, mit Luft gefüllte Libriformfasern. Die Wasserleitung übernehmen durchgängige, die Jahringgrenzen überbrückende Gefäßnetze. Tracheiden sind nicht mehr ausgebildet. Da das Hydrosystem nun in einer mit Luft gefüllten Holzmasse liegt, sind zum Schutz vor Luftembolien bei *Acer* paratracheale Scheiden aus lebenden Holzzellen ausgebildet. Die Höchstgeschwindigkeit der Wasserleitung kann bei *Acer* zwischen 4 bis 6 m in der Stunde betragen (BRAUN 1980).

Die Ringporigkeit ist zum Beispiel bei den Laubbäumen im Mittelmeergebiet weit verbreitet. Sie stellt eine weitere Anpassung an gestiegene Ansprüche an die Wassernachlieferung dar.

Im Mittelmeerklima benötigen die Bäume in der kurzen Frühjahrszeit, in der die günstigsten Wachstumsbedingungen herrschen, schnell viel Wasser. Im Frühholz wird daher ein überwiegend makropores Gefäßnetz ausgebildet, mit Gefäßdurchmessern bis zu einem halben Millimeter. Im Spätholz werden nur noch mikropore Gefäße ausgebildet, die für den Wassertransport zur Trockenzeit vollkommen ausreichen. Zum Schutz vor Luftembolien ist zum Beispiel bei *Fraxinus* ein paratracheales Kontaktparenchym um die Gefäße ausgebildet. Der Wassertransport beschränkt sich bei ringporigen Bäumen auf die letzten 3 bis 5, bei der Eiche 1,5 Jahrringe (BRAUN 1980). Der äußerste Jahrring kann bis zu 3/4 der Wassermenge alleine befördern. Die Geschwindigkeit des Wassertransportes beträgt bis zu 44 m in der Stunde (BRAUN 1980).

"Der aufgrund theoretischer Überlegungen "beste" und in der Tat "erfolgreichste" Bautyp entspricht dem Konstruktionsprinzip 1a (= Typ 1, Tracheiden-Stufe der Nadelbäume, Anm. d. Verf.), das im Oberdevon auftritt. Sofern man von der Entwicklung der Tracheen absieht, ist seit dieser Zeit im Hinblick auf die Konstruktion der Stämme keine grundsätzliche Verbesserung zu erkennen." (Mosbrugger, 1986).

Durch gestiegene Ansprüche an die Wassernachlieferung entstanden im Laufe der Evolution Bäume mit wirkungsvollen Gefäßsystemen. Diese konnten sich bei ändernden Umweltbedingungen besser behaupten. Gleichzeitig wurde das Festigungssystem modifiziert. Für die Wasserleitungsfunktion ist eine Steigerung der Effizienz nachgewiesen, für die Festigungsfunktion allerdings nicht.



Abb. 6 Weitergehende Untersuchung erforderlich? Doppelwulstbildung mit lokaler Stammverdickung und ausgedehntem Stammschaden, hier an einer Robinie. Tatsächlich ist der Schaden in diesem Fall für die Bruchsicherheit ohne Bedeutung, denn der Baum ist wüchsig und die Windlast durch Kronenreduktion verringert. Foto: Thomas Sinn

4.2 Zur Anpassung der Festigungsfunktion

Die Festigkeitseigenschaften von Baumstämmen werden -bezogen auf die Materialeigenschaften- durch die Elastizitätsgrenze bestimmt. Diese gibt das baumartspezifische Verhältnis der Druckfestigkeit zur Steifigkeit (E-modul) an. Eine höhere Elastizitätsgrenze kennzeichnet höhere Bruchsicherheit und umgekehrt. Bei Überschreiten der Elastizitätsgrenze des Holzkörpers kommt es zum Druckversagen und irreversibler Schädigung, der Bruchversagensvorgang beginnt.

Die baumartspezifischen Elastizitätsgrenzen von grünem Holz wurden zum Beispiel am Institut für Modellstatik der Universität Stuttgart an mehreren tausend Holzproben durch Belastungstests ermittelt (WESSOLLY 1998). Die Ergebnisse dieser Untersuchungen rekonstruieren die heutige Effizienz der im Laufe der Evolution unterschiedlich ausgebildeten Festigungssysteme.

Der primitive Typ 1 des Tracheidensystemes der Nadelbäume weist Elastizitätsgrenzen zwischen 0,16 % (*Abies alba*) und 0,40 % (*Sequoiadendron giganteum*) auf (aus Meßwerten von 10 untersuchten Arten)

Zerstreutporige Laubbaumarten (Typen 2-4) weisen Elastizitätsgrenzen zwischen 0,18 % (*Carpinus betulus*) und 0,43 % (*Acer campestre* und *Platanus acerifolia*) auf (aus Meßwerten von 24 untersuchten Arten).

Ringporige Laubbaumarten zwischen 0,25 % (*Ailanthus altissima*) und 0,42 % (*Fraxinus excelsior* und *Castanea sativa*, aus Meßwerten von 8 untersuchten Arten).

Aus diesen Meßergebnissen läßt sich keine nennenswerte Abweichung der Festigkeitseigenschaften der verschiedenen Entwicklungsstufen ablesen.

In Bezug auf die Hypothese der konstanten Spannung auf der Baumoberfläche ist fraglich, warum Bäume einen so umständlichen, zudem kaum realisierbaren (Bäume haben keine zentralen steuernden Organe) und energiezehrenden aktiven Meß- und Reaktionsmechanismus ausgebildet haben sollen für ein Problem, das durch passiv wirksame Anpassungen wesentlich einfacher und effizienter gelöst werden konnte.

4.3 Zu den nachweislichen Anpassungen an die Stabilität

Unter der Maxime, möglichst schnell groß werden zu müssen und sich einen Platz am Licht zu erkämpfen, können nur die Bäume ihre Erbanlagen weitergeben, die bei Stürmen gerade noch stabil sind (siehe Abschnitt 3). Die erfolgreichsten Bäume sind diejenigen, die den schmalen Grad zwischen möglichst schnellem und gerade noch sicherem Wachstum realisiert haben. Tatsächlich haben "natürliche Konstruktionen", wie Bäume, nahe der Grenzgröße stets eine maximale Effektivität, gemessen an der Ausnutzung der Belastbarkeit des Materials. Eine Ausnahme von dieser Designregel bilden freistehende Bäume, die bei besserer Lastverteilung ohne Konkurrenzdruck mit erhöhten Sicherheiten wachsen können.

Als energie- und materialsparende Überlebensvorteile haben sich durch natürliche Auslese fast nur passiv wirksame Anpassungsmechanismen an die Stabilität herausgebildet. Passiv wirksame Anpassungen sind:

4.3.1 Die Windflucht

4.3.2 der vorgesehene Verlust von Baumteilen

4.3.3 die Anpassung der Stammform

4.3.4 die Materialanpassung (darunter zwei aktive Reaktionen)

4.3.5 Baumdesign in Abhängigkeit von Umweltbedingungen

4.3.1 Die Windflucht

Durch das elastische Nachgeben des Sprosses unter Windbelastung reduziert sich zum einen die Windangriffsfläche, zum anderen werden die Hebelarme verkürzt. In der Praxis äußert sich dies durch stark abnehmende Luftwiderstandsbeiwerte bei zunehmender Windbelastung.

In der Biomechanik wird unterschieden in Sicherheits-Strategen und Flexibilitäts-Strategen. Die Übergänge sind fließend.

Die meisten Bäume folgen in ihrer Jugend und bis zum Erreichen des Bestandesschlusses einer ausgesprochenen Flexibilitätsstrategie, da in dieser Phase äußerste Sparsamkeit beim Energie- und Materialverbrauch zugunsten maximalen Höhenwachstums erforderlich ist. Im Verlauf der Ontogenese ändert sich dies bei den meisten Gattungen unserer Breiten. Ist das Höhenwachstum weitgehend abgeschlossen, folgen der Stamm und die Wurzeln der Sicherheitsstrategie, während die Krone weiterhin -baumartbedingt mehr oder weniger- der Flexibilitätsstrategie folgt. Das Verfolgen einer energie- und materialzehrenden Sicherheitsstrategie macht bei Ästen und Zweigen keinen Sinn, da der Verlust von Baumteilen verschmerzt werden kann, der Verlust des Gesamtorganismus aber nicht.

Damit ergibt sich der nächste passive Anpassungsmechanismus,

4.3.2 Der vorgesehene Verlust von Baumteilen

Der Verlust von Teilen des Baumes, wie Ästen, unter zunehmender Windbelastung, hilft in Ausnahmesituationen die Windlast zu reduzieren und den Gesamtorganismus zu erhalten (der Baum ist bekanntermaßen keine "Kette gleichfester Glieder", siehe auch Abschnitt 2.).

KULL und HERBIG (1988) beschreiben das im Notfall vorgesehene Aufgeben einzelner Einheiten, wie zum Beispiel von Ästen, ohne daß der Gesamtorganismus zugrunde geht, als "Modulprinzip". Es ist der "damage tolerance" der Leichtbautechnik vergleichbar. "Die Taktik des Verringerns der Windangriffsfläche durch Abwurf von Zweigen, die für den Kronenaufbau und die Photosyntheseleistung nicht so wichtig sind (Dewit 1992, Höster 1968), läßt sich also auch bei Starkästen in Form von verschiedenen Bruchlasten beobachten." (BECKER, BRÜCHERT, GENENZ und SPECK 1997).

Die Bruchsicherheit von tragenden Baumteilen hängt im Wesentlichen ab von 1. (Wind-)Belastung, 2. Form und Dicke, 3. Materialeigenschaften.

4.3.3 Die Anpassung der Stammform und -dicke

Die Evolution hat viele Stammformen hervorgebracht, von denen sich die runde, vollholzige, mit sekundärem Dickenwachstum weltweit durchgesetzt hat. Eine Ausnahme sind die monokotylen Palmen, die sich in ihren Lebensräumen ebenfalls als eine sehr erfolgreiche Konstruktion beweisen konnten. Andere Stammformen jedoch führten in eine evolutionäre Sackgasse, sie verschwanden oder sind heute auf Standorte mit besonderen Lebensbedingungen verdrängt (siehe übernächster Abschnitt "Baumdesign in Abhängigkeit von Umweltbedingungen").

Die runde Stammform ist die optimale Anpassung an Belastungen aus allen Richtungen (quadratische Sproßachsenquerschnitte finden sich nur bei kleinwüchsigen Kräutern wie Salvia).

Die Vollholzigkeit hat gegenüber dem materialsparenden Hohlstamm-Bauprinzip, das fast nur noch aus fossilen Funden bekannt ist, vor allem zwei Vorteile: Sie erlaubt durch stabile Astanbindungen die Ausbildung sehr großer Kronen und es können innere Wachstumsvorspannungen genutzt werden, um die Sicherheit zu erhöhen und Material zu sparen.

Die Ausnutzung der Wachstumsvorspannungen ist bei vollholzigen Bäumen weit verbreitet und gilt in der Paläontologie als wichtiges Auswahlkriterium bei der natürlichen Selektion.

SCHWENDENER (1874) zitiert in MOSBRUGGER (1988) nennt als Designregel für optimale Baumstämme die Maximierung des Widerstandsmomentes des Stammquerschnittes, der Bäume mit sekundärem Dickenwachstum entsprechen.

4.3.4 Materialanpassung

Die mechanischen Eigenschaften des Baumschaftes werden an Stellen mit erhöhter Beanspruchung, an der Stammbasis und in der Stammpерipherie präventiv, das heißt passiv -genetisch bedingt- verbessert ausgebildet. Nachgewiesen wurde dies bisher an dicotylen Bäumen, Palmen und bei Mais (SCHNIEWIND 1962, WHITMORE 1972, KILLMANN 1983, alle zitiert in MOSBRUGGER 1988).

Die Aufteilung in spezialisierte Festigungs- und Wasserleitungsgewebe hat sich ebenfalls als Vorteil herausgebildet, denn Kompromißstrukturen, wie die Tracheiden, sind sowohl bezüglich der Wasserleitungs- als auch der Festigungsfunktion keine optimalen Zellformen.

Generell können Pflanzen aktiv nur geringfügig die Stärke ihrer bereits ausgebildeten Stützgewebe verbessern. Dies kann lediglich durch eine Veränderung des Faserwinkels in der S₂-Schicht der Zelle oder durch eine Zunahme der Dichte erfolgen (MOSBRUGGER 1988), allerdings auch nur dann, wenn die Zellen noch nicht fertig ausgebildet sind.

Ein weiterer aktiver Reaktionsmechanismus, wie das dem Modell des Ingenieurbaumes zugrunde gelegte spannungsgesteuerte sekundäre Dickenwachstum, ist nicht nachgewiesen.

4.3.5 Baumdesign in Abhängigkeit von Umweltbedingungen

In den meisten Ökosystemen stellt die Ausbildung hoher Bäume mit ausgedehnten Kronen einen Konkurrenzvorteil dar (wenn die maximale Gesamtgröße und die maximale Blattfläche die entscheidenden Probleme darstellen).

Wenn allerdings nur ökonomischer Materialeinsatz und eine schnelle Wachstumsgeschwindigkeit einen wesentlichen Konkurrenzvorteil darstellen, haben manche Dicotyledonen wie z.B. *Carica papaya* ihre Wuchsform angepaßt und bilden nur kleinbleibende Bäume mit kleinen Kronen aus. Die Festigungsfunktion wird bei dieser Baumart vor allem durch eine Borke (sekundäres Phloem) gewährleistet, während die übrigen Stammteile in ihrem Aufbau den krautigen Pflanzen gleichen.

Eine ausführliche Übersicht zum Thema Baumdesign und Phylogenese gibt MOSBRUGGER (1988).

5. Zur Reaktionsholzbildung

Beim mechanischen Baummodell wird Reaktionsholz, im Sinne der Hypothese der konstanten Spannung, alleine zur Minimierung der äußeren Biegebelastung gebildet, zum Beispiel um den Kronenschwerpunkt über den Wurzelstock zu bringen.

Alle Nadelbäume und die meisten Laubbäume weisen, wenn deren Stämme oder Äste aus der Normalstellung gebracht werden, die Bildung von Reaktionsholz auf. Die vermehrte Holzbildung findet bei Nadelbäumen auf der Unterseite (Hypoxylie, Druckholzbildung), bei Laubbäumen auf der Oberseite (Epixylie, Zugholzbildung) statt.

Nach HÖSTER und LIESE (1966) kann bei Laubhölzern mit tracheidalem Grundgewebe auch druckholzähnliches Gewebe auftreten (WAGENFÜHR 1988). Ausgelöst wird sie durch Schwerkraftreize verbunden mit einer Veränderung des Wuchsstoffspiegels, die eine einseitig verstärkte Kambiumtätigkeit mit vermehrter Zellproduktion bewirken.

Reaktionsholz ist ein aktives Richtgewebe, das dazu dient, das in eine Schräglage und aus der optimalen Wuchsrichtung gebrachte Baumteil (Stamm, Äste) wieder aufzurichten beziehungsweise um eine mechanische Schwachstelle zu stabilisieren. Die so gebildeten Reaktionsgewebe unterscheiden sich in ihrem Aufbau erheblich vom normal gebildeten Gewebe.

Bei ernährungsphysiologischen Störungen können auch geradschäftige Stämme Reaktionsholz ausbilden (Wagenführ 1988).

Nach einer Hypothese von FOBO (1986) liegen der Bildung von Reaktionsholz an Ästen folgende Entstehungsursachen und Wirkungsmechanismen zugrunde:

"... bilden holzige Pflanzen Reaktionsholz aus, um ihren Stamm oder Äste wieder in eine sogenannte genotypisch bedingte "Gleichgewichtslage" zurückzubiegen. Mit Gleichgewichtslage ist nun nicht etwa ein statisches Gleichgewicht gemeint, sondern ein biologisches. ... Für jeden Baum gibt es eine erblich festgelegte Tendenz, eine bestimmte Form anzunehmen. Diese Form wird durch die Umweltbedingungen ... modifiziert. Wieviel Licht den Blättern des Baumes zur Photosynthese zur Verfügung steht, ist direkt von der Gestalt des Baumes abhängig. Die optimale Anordnung der Blätter ist weitgehend durch die Anordnung der Äste und Zweige ... bedingt. ... Wenn nun infolge Zuwachs ... die Durchbiegung eines Astes andauernd vergrößert wird, wird diese (optimale, Anm. d. Verf.) Baumarchitektur gestört. Die Blätter sind dann nicht mehr optimal zum Licht hin ausgerichtet, die photosynthetische Leistung nimmt daher ab. Der Baum muß nun seinen "architekturellen" Gleichgewichtszustand wiederherstellen und hierzu die Durchbiegung der Äste verändern. Der Baum ... sorgt mit der Bildung von Reaktionsholz aktiv dafür, seine optimale Gestalt beizubehalten."

Die stärkste Belastung erfahren die Äste von Bäumen durch horizontal angreifenden Wind, nicht jedoch durch ihr Eigengewicht. Eine konstante Spannung, die der Minimierung der äußeren Biegebelastungen dienen soll, müßte folglich eine seitliche Anlagerung von Reaktionsholz bewirken. Auf der Astunter- (Nadelbaumholz) beziehungsweise Astoberseite (Laubbaumholz) nutzt es dem Baum bei seitlicher Windbelastung nichts.

Astbruch unter Windeinfluß gehört zu den am häufigsten auftretenden Schadensfällen (WILDE 1997). Dies liegt unter anderem an strukturellen Abweichungen im Aufbau des Zweig- und Astholzes beziehungsweise dem damage tolerance-Prinzip, das hilft, effektiv Energie und Material zu sparen.

Die Bildung von Reaktionsholz hängt nur zusammen mit Eigengewicht, Ernährung ... Photosynthese. Insofern greift das mechanische Baummodell zu kurz.

Eine andere Form lokal begrenzter, verstärkter Holzbildung stellt die Wundholzbildung dar.

6. Zur Wundholzbildung

Besonders in der Wundheilung wird beim mechanischen Baummodell eine Bestätigung der Theorie einer konstanten Spannung auf der Baumoberfläche gesehen. Bei Störung dieser Spannungskonstanz durch eine Verletzung versuche der Baum sofort, diese Soll-Bruchstelle zu reparieren.



Abb. 7 Kein eindeutiges Schadsymptom: Stark ausgeprägte runde Rippe als Hinweis auf einen verheilten Radialriss (falscher Frostriss). In diesem Fall ist der Defekt hinsichtlich der Bruchsicherheit ohne Bedeutung, denn der Schaden ist gut überwält und der Stamm weist allseitig normalen Dickenzuwachs auf. Foto: Thomas Sinn

Wundholz entsteht, wenn der Kambiumring unterbrochen wird. Es kann die Wundstellen teilweise oder auch ganz überwallen. Dabei steuern Wundhormone die Wundgewebebildung und den Differenzierungsmechanismus im Kambium. Zunächst wächst das an die Wundränder angrenzende Kambium wulstartig zu einem Kalusgewebe aus. Es entsteht ein neues Kambium, das sich mit dem ursprünglichen verbindet. Das neue Kambium bildet nach außen Rinde und nach innen Wundholz, das keine Verbindung mit dem inzwischen abgestorbenen, darunter liegenden Holzkörper der Wundfläche einget und nur aufgelagert wird.

Der Unterschied zum Normalholz äußert sich in einem vollständigen oder zum Teil auch nur weitgehenden Fehlen der Holz- oder Librifasern beziehungsweise von Tracheiden und einer verstärkten Ausbildung parenchymatischer Zellen. Es wird also zunächst kein Festigungsgewebe gebildet. Differenziertes Holz wird erst nach Jahren mit immer größerer Entfernung zum Wundrand gebildet.

Überwallt werden außer Verletzungen Aststummel sowie durch Überbeanspruchung beschädigte Gewebезonen.

Bei Beschädigung des Kambiums durch Feuer, Dürre oder Frost können traumatische Gewebe, sogenannte "Wundringe", gebildet werden. Dabei handelt es sich ebenfalls um Wundholz.

Das weitgehende oder gar vollständige Fehlen von Festigungsgeweben im Wundholz zeigt, daß es nicht zur Verstärkung des beschädigten Baumteiles ausgebildet wird. Statt dessen werden vor allem lebende parenchymatische Zellen ausgebildet. Deren stark vakuolisierte

Protoplasten sind von dünnen oder nur mäßig verdickten Zellwänden umgeben. Die lebenden Parenchymzellen sind außer den meristematischen Zellen des Kambiums die einzige Zellform im Baum, die auf Verletzungen oder Lufteinbruch aktiv reagieren kann. Das Wundholz wird vor allem zur Einkapselung von Schadstellen gebildet. LÖFFLER (1975) führt zur Wundholzbildung aus: "Erst nach vollendeter Überwallung kann damit gerechnet werden, daß das Pilzwachstum im Bauminnern zum Stillstand kommt." (DUJESIEFKEN 1995).

Bei Stauchungen der Holzfasern durch mechanische Überbeanspruchung oder bei Frostschäden wird nach WAGENFÜHR (1988) Wulstholz gebildet. Es zeichnet sich durch eine geringe Festigkeit aus, wird also ebenfalls nicht zur Verstärkung des beschädigten Baumteiles ausgebildet.

Aus all dem folgt, daß die aus der Hypothese der konstanten Spannung gezogenen und für die baumgutachterliche Praxis wesentlichen Schlußfolgerungen unzutreffend sind:

Der Baum ist keine "Kette gleich fester Glieder" (siehe Abschnitte 2. und 4.3),

der Stammumfang ist kein Maß für die erfahrene Windlast und

viele Gestaltabweichungen (Symptome) sind kein Hinweis auf statische Engpässe und eine mögliche Bruchgefahr, sondern vielmehr meist ganz normale Abweichungen von der "üblichen" Wuchsform beziehungsweise Wundreaktionen, die nicht zwangsläufig auf eine Bruchgefahr schließen lassen.

7. Der Stammumfang - ein Maß für die Windlast?

Tatsächlich weisen freistehende Bäume mit großer Windangriffsfläche einen größeren Stammdurchmesser auf als kleinere Bestandsbäume. Der Bezug zur Windlast scheint gegeben. Dem steht jedoch entgegen, daß Bestandsbäume, die im Waldesinnern genügend Raum haben, trotz vollem Windschutz, das heißt geringer äußerer Belastung, ebenfalls den wesentlich größeren Stammdurchmesser entwickeln (vergl. OSTERLOH und SINN 1994).

Bei Felduntersuchungen wurde nachgewiesen, daß die Querschnittsfläche des Stammes häufig mit dem Gewicht der von ihr versorgten Blätter eng korreliert (SHIMOZAKI et al. zitiert in KAUSSMANN und SCHIEWER 1989) und nicht mit der Windlast (SINN 1992 a, WESSOLLY 1995).

SCHILLER-TIETZ beschreibt bereits 1908 die akribisch durchgeführten Untersuchungen an zwei Fichten-Alt bäumen zur Abhängigkeit des Zuwachses von der Blattmasse: *"... an zwei auf genau gleichem Standorte erwachsenen Fichten erbracht, von denen die eine vollständig frei, die andere aber im geschlossenen Bestand wuchs. Beide standen in einer Meereshöhe von rund 1060 m auf tiefgrundigem, fruchtbarem Mergelboden, und beide Bäume besaßen genau dieselbe Höhe von 25 m. Im übrigen entsprachen die beiden Bäume dem normalen Durchschnitt ... Die Ergebnisse der Untersuchungen im einzelnen:"*

	Freistehende Fichte	Fichte im lockeren Bestandsschluss
Astholz	1.280 kg	126 kg
Feines Reisig	1.825 kg	166 kg
Nadeln (Anzahl)	137 Mio.	14 Mio.
Nadeln (Gewicht)	1.170 kg	95 kg
Verhältnis (Gewicht)	100 %	8,1 %
Gesamte Holzmasse	4,25 cbm	0,40 cbm
Verhältnis (Gewicht)	100 %	9,4 %

"...Verhielt sich die Blattmasse der beiden Bäume nach dem Gewichte wie 100 : 8,1, so entspricht ihre Holzmasse dem Verhältnis von 100 : 9,4, der Zuwachs verhält sich also annähernd proportional der Blattmasse." (SCHILLER-TIETZ 1908).

Der Stammumfang ist demnach kein Maß für die Windlast, sondern in erster Linie für die Photosyntheseleistung des Baumes in Abhängigkeit von der Blattfläche (Anzahl Licht- und Schattenblätter) und den Ernährungsverhältnissen, von der artspezifischen und individuellen Leistungsfähigkeit, der sozialen Stellung usw.

Bleibt anzumerken, daß es auch dabei Ausnahmen von der Regel gibt: Bei den meisten Monokotyledonen erfolgt nach dem primären Dickenwachstum in Scheitelnähe keine weitere Erstarkeung des Stammes, obwohl zum Beispiel Palmen, die fast 60 m hoch werden können (WAGENFÜHR 1988), sehr hohen Windlasten widerstehen müssen.



Abb. 8 Gefahr im Verzug! Vor Durchführung des Sägeschnittes waren zwei eindeutige Defektsymptome, erkennbar: 1. Abgestorbene und tief eingesunkene Rindenpartien als Folge einer nach außen durchgebrochenen ausge dehnten Fäule und 2. Ausbildung von Pilzfrucht-körpern an der Schadstelle. Zudem stand der Baum geneigt und erforderte daher besonderes Augenmerk. Foto: Thomas Sinn

8. (Defekt-)Symptome und ihrer Bewertung

Nach dem mechanischen Baummodell, das dem Ingenieurbaum zugrundeliegt, muß jede Abweichung vom "Normalen" beziehungsweise jede übermäßige oder unterlassene Materialanlagerung ein Hinweis auf eine mechanisch bedeutsame Schwachstelle sein. In Ergänzung hierzu werden noch weitere Defekthinweise, wie stammnahe Bordsteine, genannt. Schwachstellen im Traggerüst des Baumes können demnach zum Beispiel durch Wulst- oder Beulenbildungen auf der Baumoberfläche abgelesen werden. Bei Symptomen an biologischen Bäumen ist zu unterscheiden in

- arttypische Gestaltausprägungen (vergl. G. SINN 1991),
- wachstums-/umfeldbedingte Gestaltausprägungen (zum Beispiel Astkragen),
- Wundreaktionen, die meistens nur auf physiologische Beeinträchtigungen hinweisen und
- eindeutige Defektsymptome, die deutliche Hinweise auf eine Bruchgefährdung sein können (zum Beispiel Druckzwiesel mit Wassertasche und Leistenbildung).

Tatsächlich gibt es an biologischen Bäumen nur sieben eindeutige Schadsymptome, die klare Hinweise auf eine Umsturzgefahr geben.

Selbst wenn eines dieser bedeutsamen Schadsymptome erkannt wird, ist es manchmal erst die Summe der Erscheinungen, die eine Bruchgefahr nahelegen, zum Beispiel tiefreichende Stammhöhlung und nur geringes Kom-

pensationswachstum im Bereich der Schadstelle und exponierter Stand mit großer Krone (= hohe Windlast) und schlanker Wuchs mit geringem Stammdurchmesser (= geringe Sicherheitsreserven).

Weist ein anderer Baum mit tiefreichender Höhlung ein kräftiges Kompensationswachstum im Bereich der Schadstelle auf, steht windgeschützt und hat eine nur kleine Krone (= geringe Windlast) bei gleichzeitig großem Stammdurchmesser ausgebildet (= hohe Sicherheitsreserven, alte Naturdenkmalbäume!), kann er durch den erfahrenen Baumkontrolleur durchaus noch als bruchsicher erkannt werden. Das grobe Muster (7 eindeutige Schadsymptome) sowie

darauf aufbauend diese Feinheiten vermittelt die biostatistische Baumkontrolle, die bei sachkundiger Anwendung unnötige meßtechnische Untersuchungen und Kappungen beziehungsweise Fällungen auf ein Minimum reduziert.



Abb. 9 Zwei eindeutige Defektsymptome:

1. Pilzfruchtkörper des Flachen Lackporlings an der
2. V-förmigen Insertionsstelle von Stämmlingen am Stamm einer Linde.

Der Schadensfall war klar vorhersehbar.

Foto: Günter Sinn

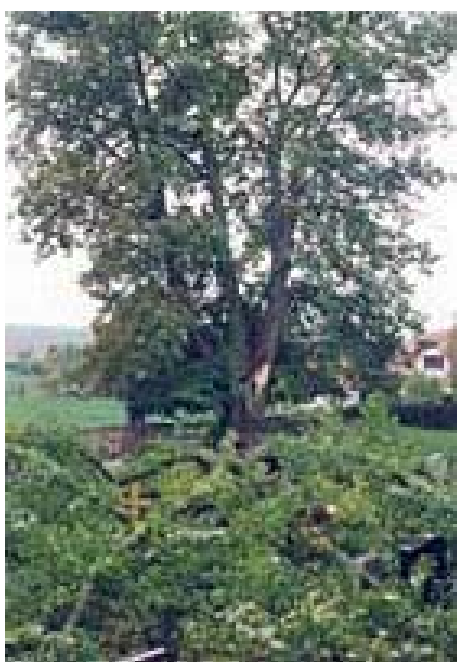


Abb. 10 Der abgebrochene Stämmling der Linde beschädigte nur Sachwerte. Foto: Günter Sinn

Der fachkundige Baumkontrolleur betrachtet den Baum als biologisches Ganzes in Bezug zu seinem Umfeld. Er muß in der Lage sein, durch diesen integrierten Kontrollansatz Symptome an Bäumen richtig einzuordnen. Viele Baumkontrolleure leisten dies offenbar nicht. Sie sehen und beurteilen Symptome an Bäumen gefiltert durch die „mechanische Brille“. Damit folgen Sie der Betrachtungsweise des Ingenieurbaumes. Dies führt jedoch zu einer Vielzahl von meist unnötigen weitergehenden meßtechnischen Untersuchungen und vielen oftmals unnötigen Kronenkappungen und Baumfällungen.

In einer dem Wohnort des Verfassers nahegelegenen Stadt waren nach Mitteilung eines Mitarbeiters des Grünflächenamtes nach Sichtkontrollen an etwa 11.000 Bäumen durch ein Baumsachverständigenbüro etwa 500-600 Bäume zur weitergehenden Untersuchung vorgesehen. Dies waren zwischen etwa 4,5 und 5,5 % des Gesamtbestandes. Die Baumkontrollen waren auf der Grundlage der Symptomdeutung nach baummechanischem Modell erfolgt.

Ein Baumsachverständiger wirbt im Internet damit, daß bei von seinem Büro durchgeführten Sichtkontrollen, Symptomdeutung nach baummechanischen Modell, „nur“ bei bis 3-4 % der Bäume weitergehende Untersuchungen erforderlich seien (Fällrate etwa 1 %).

Bei Langzeit-Sichtkontrollen auf empirischer Grundlage, wie sie der Verfasser zum Beispiel in einer Stadt mit einem altersmäßig abgestuften Baumbestand von etwa 4.300 Bäumen einmal jährlich durchführt, sind weitergehende meßtechnische Untersuchungen nur an etwa 2-4 Bäumen pro Jahr erforderlich. Dies entspricht einem prozentualen Anteil von weniger als 0,1 % (während des gesamten Kontrollzeitraumes ist noch kein Schadensfall durch Problembäume eingetreten - die laufende gründliche biostatistische Sichtkontrolle kostet in dieser ca. 200 km vom Wohnort des Verfassers entfernten Stadt etwa DM 5,- pro Baum).

9. Zusammenfassung

Das baummechanische Modell, auf dessen Grundlage die Symptomdeutung und Gefahreinschätzung bei vielen Baumkontrollen erfolgt, beruht auf einer Hypothese und kann wissenschaftlich nicht abgesichert werden. Es widerspricht in weiten Teilen den gesicherten Erkenntnissen von Holzbiologen, Forstbotanikern, Pflanzenphysiologen und Paläontologen zum Wachstum und der Gestaltbildung von Bäumen:

Bäume weisen ungleiche Spannungsverteilung und daher unterschiedliche Bruchsicherheit der einzelnen Baumteile auf (es gibt keine konstante Spannung am Baum, der Baum ist keine "Kette gleich fester Glieder").

Es gilt das Leistungsprinzip: Nur die am schnellsten wachsenden Bäume können sich behaupten. Dies geht auf Kosten der Sicherheit. Bäume wachsen hinsichtlich der Stabilität nahe der Grenzgröße, gemessen an der Ausnutzung der Belastbarkeit des Materials (keine Leichtbau- und Stabilitätsstrategie mit etwa 4,5-facher Sicherheit).

In der Evolutionsgeschichte findet sich kein Anhalt dafür, daß im Laufe der Entwicklung eine Optimierung der Stabilität durch aktive Reaktionen (konstante Spannung, adaptives Dickenwachstum, Sicherheitsfaktor etwa 4,5) erfolgte. Durch natürliche Auslese haben sich tatsächlich in erster Linie energie- und materialsparende passiv wirksame Anpassungsmechanismen an die Stabilität herausgebildet.

Der Stammumfang ist ein Maß für die Photosyntheseleistung und die Ernährungsverhältnisse des Baumes in Abhängigkeit von weiteren Umweltfaktoren, nicht jedoch ein Maß für die Windlast.

Die Bildung von Reaktionsholz hängt zusammen mit Eigengewicht, Ernährung ... Photosynthese. Insofern greift das baummechanische Modell zu kurz.

Wundholz wird zur Einkapselung von Schadstellen gebildet. Es wird nicht zur Verstärkung des beschädigten Baumteiles ausgebildet. Zunächst wird kein oder kaum Festigungsgewebe ausgebildet. Die Wundheilung ist nicht mechanisch gesteuert.

Die besondere Güte von Sichtkontrollen auf der Grundlage des baummechanischen Modells ist in Frage zu stellen, denn das Modell des Ingenieurbaumes basiert auf einer unbewiesenen Wachstumsregel. Baumkontrollen auf empirischer Grundlage, die den biologischen Baum zugrundelegen, sind -entsprechendes Fachwissen vorausgesetzt- weitaus qualifizierter.

Die fachliche Integrität des Baumprüfers und der Wert von Baumkontrollen sind - auch vor Gerichten - unabhängig von einer bestimmten Methode.

Danksagung: Für die gewissenhafte Durchsicht des Manuskripts dankt der Autor seinem Vater, GÜNTER SINN.

Literatur

BECKER, G., F. BRÜCHERT, V. GENENZ und T. SPECK: Astbruch an Pappeln - biomechanische und morphometrische Untersuchungen an *Populus x canadensis*. Jahrbuch der Baumpflege 1997, S. 204-210, Hrsg.: DUJESIEFKEN, D. und P. KOCKERBECK, Verlag Bernhard Thalacker GmbH & Co. KG, Braunschweig

BLETZINGER, K.-U. und KIMMICH, S.: Strukturoptimierung. Konzepte des Sonderforschungsbereiches 230 der Universitäten Stuttgart und Tübingen, Heft 7 (1985)

BRAUN, H. J.: Bau und Leben der Bäume. Rombach + Co GmbH Verlag, Freiburg (1980)

BRELOER, H. und C. MATTHECK: Wie erkennt man mechanische Baumdefekte. DAS GARTENAMT 5, S. 325-334 (1992)

BRELOER, H.: Baumkontrollen auf Irrwegen. STADT UND GRÜN 10, S. 713-715 (1997)

BUTIN, H.: Krankheiten der Wald- und Parkbäume. Georg Thieme Verlag, Stuttgart und New York (1989)

DROLSHAGEN, V. und K. HOFFMANN: Die Sprache der Bäume. Mosaik Verlag GmbH, München (1997)

- DUJESIEFKEN, D. (Hrsg.): Wundbehandlung an Bäumen. Bernhard Thalacker Verlag, Braunschweig (1995)
- HÖSTER, H. R.: Baumpflege und Baumschutz. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart (1993)
- KAUSSMANN, B. und U. SCHIEWER: Funktionelle Morphologie und Anatomie der Pflanzen. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart u. New York (1989)
- KULL, U. und A. HERBIG. Pflanzen als natürliche Konstruktionen und das Prinzip Leichtbau. Mitteilungen des Sonderforschungsbereiches 230 der Universitäten Stuttgart und Tübingen, Heft 1, S. 27-35 (1988)
- KULL, U.: Persönliches Schreiben mit Anmerkungen zur Biomechanik von Bäumen. Prof. Dr. U. Kull, Biologisches Institut der Universität Stuttgart, Abteilung Botanik (1998)
- LORENZEN, H.: Physiologische Morphologie der höheren Pflanzen. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart (1972)
- MATTHECK, C. und H. BRELOER: Handbuch der Schadenskunde von Bäumen. Rombach GmbH Verlag, Freiburg (1993)
- MATTHECK, C.: Die Baumgestalt als Autobiographie. Verlag des Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH (1991)
- MATTHECK, C.: Design in der Natur. Rombach GmbH + Co Verlag, Freiburg (1992)
- MATTHECK, C. und K. BETHGE: Die mechanische Steuerung der Jahrringbreite als Grenze der klassischen Jahrringanalyse. 4. VTA-Spezialseminar, März 1998 a
- MATTHECK, C. und K. BETHGE: Der aktuelle Stand von VTA. 4. VTA-Spezialseminar, März 1998 b
- MAYER, H.: Waldbau. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart u. New York (1984)
- MITSCHERLICH, G.: Wald, Wachstum und Umwelt - Form und Wachstum von Baum und Bestand. Band 1, J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt/M. (1978)
- MITSCHERLICH, G.: Wald, Wachstum und Umwelt, - Waldklima und Wasserhaushalt. Band 2, J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt/M. (1981)
- MOSBRUGGER, V.: Die Bauform bei Landpflanzen: Analyse und Vergleich der Konstruktionsprinzipien anhand bisher vorliegender Daten aus Morphologie und Anatomie. Konzepte des Sonderforschungsbereiches 230 der Universitäten Stuttgart und Tübingen, Heft 16, S. 145-148 (1986)
- MOSBRUGGER, V.: The tree habit in land plants. Konzepte des Sonderforschungsbereiches 230 der Universitäten Stuttgart und Tübingen, Heft 30 (1988)
- OSTERLOH, D. und TH. SINN: Verkehrssicherheit von Bäumen auf Waldparkplätzen. ALLGEMEINE FORSTZEITUNG 12, S. 656-658 (1994)
- REINARTZ, H. und M. SCHLAG: Integrierte Baumkontrolle (IBA). STADT UND GRÜN 10, S. 709-712 (1997)
- SCHILLER-TIETZ: Die Altersschätzung freistehend erwachsener Bäume. Gartenflora 57, S. 19-21 (1908)
- SCHWERDTFEGGER, F.: Waldkrankheiten. Paul Parey Verlag, Hamburg u. Berlin (1981)
- SHIGO, A. L.: Die neue Baumbiologie. Verlag Bernhard Thalacker (1990)
- SINN, G.: Meßmethoden zur Stand- und Bruchssicherheit von Bäumen. DAS GARTENAMT 12, S. 794-800 (1991)

SINN, G. und TH. SINN: Grundsätzliches zur Windlast und zur Stammquerschnittstheorie. DAS GARTENAMT 12, S. 844-847 (1992 a)

SINN, TH.: Zur "Neuen Wissenschaftlichkeit" in der Baumstatik. DAS GARTENAMT 7, S. 479-482 (1992 b)

STEIN, A. und BUES, C.-TH.: Faserstauchungen und Faserbrüche in Stämmen von Wald-, Park- und Gartenbäumen - Bagatelle oder statischer Schaden? Jahrbuch der Baumpflege 1998, S. 261-264, Hrsg.: DUJESIEFKEN, D. und P

KOCKERBECK, Verlag Bernhard Thalacker GmbH & Co. KG, Braunschweig

VEDEL, H. und J. LANGE: Bäume und Sträucher. Otto Maier Verlag, Ravensburg (1965)

WAGENFÜHR, R. und CHR. SCHEIBER: Holzatlas. VEB Fachbuchverlag Leipzig (1985)

WAGENFÜHR, R.: Anatomie des Holzes. VEB Fachbuchverlag, Leipzig (1989)

WAWRIK, H.: Kritische Betrachtungen zur Baumkontrolle. STADT UND GRÜN 7, S. 506-511 (1997)

WESSOLLY, L.: Bruchdiagnose von Bäumen. STADT UND GRÜN 6, S. 416-423 (1995)

WESSOLLY, L. und M. ERB: Baumstatik + Baumkontrolle. Patzer Verlag, Berlin (1998)

WILDE, M.: Baumkontrollen - Im Rahmen der Verkehrssicherungspflicht als Aufgabe kommunaler Verwaltungen. STADT UND GRÜN 7, S. 500-505 (1997)