

Dynamische und statische Kronensicherungen sowie Trag-/Haltesicherungen – Hinweise zum fachgerechten Einbau und zur Kontrolle

Dynamic and static crown-securing devices and carry/hold protection – advice on correct installation and control

Dr. Ing. Lothar Wessolly

Zusammenfassung

Die neue ZTV-Baumpflege hat wesentliche Neuerungen bei den Kronensicherungen eingeführt. Das betrifft zunächst die Aufteilung in horizontal einzubauende **dynamische** und **statische Bruchsicherungen**. Da die dynamische Kronensicherung in das Bewegungsverhalten der windbelasteten Krone eingreift, sind andere Gesichtspunkte zu berücksichtigen als bei der Sicherung, die statisch eine Bewegung unterdrücken muss. Sollte aus Gründen der Kronenarchitektur eine Bruchsicherung nicht zu verwirklichen sein, sollte die Sicherheit des Standraumes durch eine möglichst vertikal einzubauende **Trag/Haltesicherung** hergestellt werden.

Allen drei Sicherungsarten ist gemeinsam, die im Baum entstehenden Kräfte aus dem Lastfall Wind gering zu halten. Damit wird der Baum geschont und ermöglicht eine effektive, preiswerte und unauffällige Sicherung.

Neu bei der ZTV-Baumpflege 2006 ist auch, dass die Anbieter von Kronensicherungen stärker in die Pflicht genommen werden. Sie müssen wissen, wie sich ihre Produkte über die Jahre verhalten und das auch rechtlich verbindlich gewährleisten. Deshalb wurde in der ZTV erstmals eine **minimale Einsatzdauer von 8 Jahren** bei gleichzeitigem Einhalten von Mindesttragfähigkeiten während dieser Einsatzdauer festgeschrieben. Bei der Baumkontrolle muss der Kontrolleur wissen, wie lange die Sicherungen schon im Baum sind, denn deren Tragfähigkeit und damit ihr Sicherungsvermögen ist nicht unabhängig von der geleisteten Einsatzdauer.

Summary

The new ZTV-Baumpflege (ZTV tree care) introduced essential innovations in crown-protection. First of all that means the distinction between a horizontally introduced dynamic and static breaking-protection. As the dynamic crown-protection intervenes in the possible movement of the wind-exposed crown one has to consider completely different aspects than by dealing with a protection that has to statically inhibit movement. If it really is impossible to use such protection due to crown-architecture, then the security should be guaranteed by a vertically introduced carry-/hold-protection.

All three methods of protection share the property of effectively reducing the forces created by wind. That spares the tree and allows an effective, reasonably priced and unobtrusive protection.

Another novelty of the ZTV-Baumpflege 2006 is the greater obligation of the contractors that offer crown-protection. They have to give the arborist and the owner of the tree and its surrounding area a guarantee by knowing how their products perform over the years. Therefore the ZTV established a minimal service life of 8 years while also establishing minimal bearing capacities. While controlling trees the arborist has to know how long the protection has been in use, because marking-filaments on one side and breaking load indicators on the other, their carrying capability is not independent of its age.

1 Einleitung

Nach 5 Jahren eingehender Diskussionen ist seit Februar 2006 die neue ZTV-Baumpflege in Kraft. Besonders bei den Kronensicherungen wurden wesentliche Punkte geändert. Das liegt insbesondere daran, dass mit unterschiedlichen Ausführungen der Kronensicherungen dem Geschehen in der Baumkrone besser begegnet wird. Grundlage waren die Erfahrungswerte an Tausenden von weltweit eingebauten Kronensicherungen. Darüber hinaus wurde auch einem gesteigerten Sicherheitsbedürfnis von Seiten der Städte Rechnung getragen: Es wurde eine minimale Einsatzdauer festgeschrieben. Das ist die Ursache für eine gegenüber der ZTV-Baumpflege (2001) leicht konservativeren Bemessung bezüglich der Seiltragungsfähigkeiten. Das gilt besonders in den beiden statischen Fällen. Denn hier ist eine Überdimensionierung, im Gegensatz zu der dynamischen Sicherung, nicht schädlich.

Die neue ZTV-Baumpflege unterscheidet in der Kronensicherung nun drei verschiedene Sicherungsfunktionen, denen eines gemeinsam ist, nämlich das intelligente Kleinhalten der Kräfte, ehe sie entstehen oder sich verstärken können.

Grundprinzip dabei ist:

1. Kräfte werden möglichst da aufgefangen, wo sie ihren Windlastschwerpunkt besitzen. Windlastanalysen haben ergeben, dass dieser Punkt nahe der 2/3 Länge des Stämmllings liegt.
2. Man lässt große Kräfte erst gar nicht entstehen. Man vermeidet den Fall oder unterbindet das Aufschaukeln zu immer größeren Amplituden und damit zu immer höheren Kräften.

Bei der dynamischen Sicherung können Dämpfer oder besonders nachgiebig ausgelegte Verbindungselemente zusätzlich die Kraft auf die sichernden Baumteile und die Seile selbst reduzieren. Denn bei der dynamischen Sicherung geht es immer um die Reduktion der vom Wind in die Krone eingeleiteten Energie und deren schonenden Abbau. Mit der Formel „Energie gleich Kraft mal Weg“ verlängert ein Dämpfer den Weg und vermindert damit die im Seil auftretende Kraft. Verwendet man dieselben Seile ohne Dämpfer, müssen diese stärker dimensioniert sein,

da die auftretende Kraft höher ist. Das bedeutet umgekehrt, die Tabellenwerte für die dynamische Kronensicherung können bei gleicher Sicherheit um den Betrag unterschritten werden, um die ein Ruckdämpfer die auftretende Kraft mindert. Dieser Wert ist im sog. Fallversuch ermittelbar.

Im Windlastschwerpunkt der Krone sind die Kräfte noch nicht durch Hebel verstärkt und somit am geringsten. Wie Windlastanalysen von SINN (2005) und WESSOLLY (2005) gezeigt haben, kommt man mit Anbringung der Kronensicherungen in 2/3 Stämmllingshöhe sehr nahe an den Windlastschwerpunkt. Das Aufschaukeln dynamischer, schwingungswilliger Kronen unterdrückt man am besten in der Entstehungsphase. Dann benötigt man die geringsten Haltekräfte. Das probate Mittel ist die **dynamische Kronensicherung**. Maximale Belastungen in der Baumkrone entstehen durch Aufschaukeln in der Eigenfrequenz. Das ist Folge der starken Böigkeit des bodennahen natürlichen Windes (WESSOLLY & FRITZ 1973, NIEMANN 2002, HÖFER et al. 2005). Eine dynamische Kronensicherung verhindert, dass sich die Energie im Kronensystem wie bei einem Kind auf der Schaukel anreichern kann.

Exorbitant hohe Kräfte entstehen dann, wenn etwas herabstürzt und der Sturz aufgefangen werden muss. D. h. man darf ein Baumteil erst gar nicht stürzen lassen. Wenn man also schon im Fallbeginn eingreift wird ein hoher Kräfteaufbau vermieden. Denn beim Herabfallen entstehen in den verwendeten Kronensicherungsseilen und an den Aufhängepunkten Kräfte, die das 25-fache des Astgewichtes ausmachen können (WESSOLLY 2002). Selbst wenn die Technik in der Lage wäre, Seile mit ausreichender Tragkraft anzubieten, fehlte die Tragfähigkeit des verankernden Kronenteils. Es würde mit herabgerissen werden. Daran wird klar, dass die **Installation einer Auffangsicherung im Baum nicht möglich** ist. Gleichwohl kann man die Kronensicherung so ausführen, dass nichts zu Boden stürzt. Man verwirklicht eine **Tragsicherung**.

Die neue ZTV-Baumpflege berücksichtigt erstmals diese Zusammenhänge. Deshalb wird jetzt zwischen der **dynamischen** und der **statischen Bruchsicherung**, sowie der **Trag/Haltesicherung** unterschieden (siehe auch PFISTERER 2005). **Bruchsicherung**

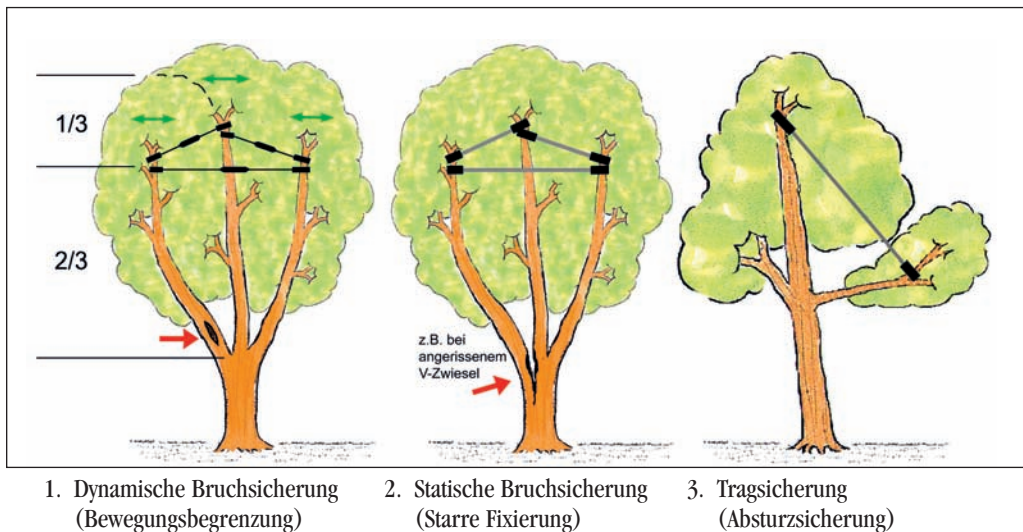


Abbildung 1: Die drei Sicherungsarten nach der neuen ZTV-Baumpflege – Kombinationen untereinander sind natürlich möglich

gen werden mehr oder weniger **horizontal** eingebaut, **Trag/Haltesicherungen** möglichst **vertikal**. Die dynamische Bruchsicherung ist die Regel, sie lässt die Baumbewegung bei leichten Winden zu und dämpft heftige Bewegungen weich ab. Die statische ist anzuwenden, wenn Baumteile ruhig gestellt werden müssen z. B. bei angerissenen V-Zwieseln. Die Tragsicherung wird dann eingebaut, wenn infolge der Kronenarchitektur nicht alle kritischen Windlast-Richtungen abgesichert werden können. Dann soll auf jeden Fall der Raum unter dem Baum gesichert bleiben. Auch eine Kombination der Sicherungsarten ist u. U. angebracht.

2 Bruchsicherungen

Baumkronen sind je nach Art mehr oder weniger schwingungsfähig und schwingungswillig. Das hilft einerseits dem Baum, hohen Windkräften auszuweichen oder Böen auszupendeln (SPATZ 2001). Andererseits fördert es den Wachstumsreiz, mit dem der Baum Schwachstellen kompensieren kann. Aber keine Medizin ist ohne Nebenwirkungen: Durch die Schwingungswilligkeit besteht die Gefahr, dass sich

Kronenteile in ihrer Eigenfrequenz aufschaukeln (WESSOLLY 2000, PFISTERER & SPATZ et al. 2003). Mit Eigenfrequenz bezeichnet man das Schaukelprinzip: in gleichem Rhythmus eingeleitete Kräfte summieren sich zu immer größeren Auslenkungen, die im Extremfall zum Versagen führen. Diese Gefahr besteht dann besonders, wenn die aerodynamische Dämpfung durch den Laubmantel des Baumes nicht gegeben ist. Unglücklicherweise stimmt dieser Baumzustand in unseren Breiten auch mit der Sturmhäufigkeit (Herbst- und Winterstürme) überein.

2.1 Die dynamische Bruchsicherung

Die **dynamische Bruchsicherung** lässt hohe Kräfte erst gar nicht entstehen. Durch Reduktion des Pendelweges beim sturminduzierten Schaukeln wird die Aufsummierung der in der Krone wirksamen Kräfte schon in der Entstehung durch weiches Abbremsen unterbunden, die Resonanzkatastrophe (SPATZ 2001) wird verhindert. Das weiche Abbremsen erfolgt durch nachgiebige Kunststoffseile, ein Ruckdämpfer verbessert zusätzlich dieses Verhalten. Neben der Schwingungsbegrenzung werden so zusätzlich die auftreten-

den Kräfte reduziert und die Sicherheit erhöht (WESSOLLY 1983). **Deshalb bedarf es bei der dynamischen Sicherung keiner hohen Tragfähigkeiten der Seile.** Eine zu hohe Tragfähigkeit ist, wie in Abbildung 3 dargelegt, wegen der damit einhergehenden geringeren Dehnfähigkeit sogar kontraproduktiv. Die dynamische Bruchsisicherung besitzt eine weitere sicherheitssteigernde Eigenschaft: Durch Begrenzung der Energieaufnahme und der Schwingbewegungen wird auch ein mögliches Losrütteln der Wurzelverankerung im Boden verhindert. Die Standsicherheit wird erhöht.

2.1.1 Felderfahrung = Stand der Technik = Grundlage eines Regelwerks

Da einige dynamische Sicherungssysteme schon seit mehr als 15 Jahre angewendet werden, reicht hier der Blick auf installierte Kronensicherungen. Das liefert die **Felderfahrung** für die Bemessung und erreicht damit den **Stand der Technik**. Der Autor hat folgende Erfahrung: Bis Mitte 2005 waren von einem 2 to System aus Polypropylen (PP) 200.000 und vom 4 to – System 40.000 Kronensicherungen in den Bäumen montiert. In den Einbauhinweisen war folgende Bemessungsregel vorgeschlagen: Stämmingsdurchmesser an der Basis bis 50 cm : 2 to System. Darüber bis 70 cm 4 to. Anbringhöhe zu Durchmesser an der Stämmingsbasis wie 20:1 (WESSOLLY & ERB 1998).

Eine spezielle Feldanalyse von Stämmingen hat ergeben, dass der in der ZTV-Baumpfleger favorisierte Einbaupunkt in 2/3 Höhe des Stämmings – außer bei gekappten Bäumen – höher liegt als 20 °. Daraus ergibt sich, dass nach der neuen Regel wegen der größeren Hebelarme im Mittel um 25 % geringere Beanspruchungen erzeugt werden, als mit der früheren Empfehlung auszuhalten waren (siehe Abbildung 2). Prinzipbedingte Schäden bei Anwendung dieser 20:1 – Bemessung mit o. g. Bruchlasten sind bis heute nicht bekannt. Daraus lässt sich folgern, dass die jetzt in den Tabellen festgelegten Abmessungen und Bruchfestigkeiten, ein fachgerechter Einbau vorausgesetzt, eine hohe Sicherheit bieten.

Theoretische Überlegungen können eine umfangreiche, abgesicherte Felderfahrung nicht widerlegen. Eine geschlossene Berechnung der Kronendynamik ist unter hohem Aufwand zwar möglich, aber in der Praxis untauglich (mündl. Mitteilung von SPATZ & PEISTERER 2005). Hilfsweise werden in der Folge **Überlegungen aus 3 verschiedenen physikalischen** Blickwinkeln angestellt. Sie machen die Ergebnisse der Felderfahrung theoretisch nachvollziehbar. Zugang dafür ist die ingenieurwissenschaftliche Analyse von maximal möglichen Kräften (worst-case-Szenario) und deren Entstehung. Mit der theoretischen Nachvollziehbarkeit werden die Felderfahrungen physikalisch verständlich.

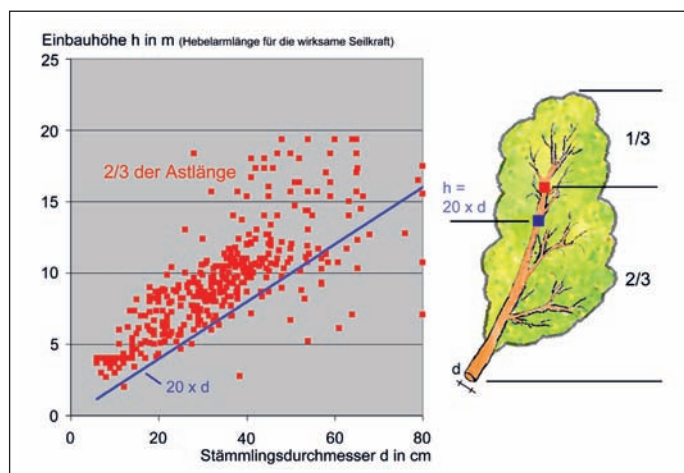


Abbildung 2:
Vergleich der Einbauhöhen 2/3 zu 20:1 (blaue Linie aus WESSOLLY & ERB (1998) und Grundlage der Bemessung von 250.000 ausgeführten Sicherungen). Fazit: Die Anbringung in 2/3 Höhe erfordert wegen der längeren Hebelarme wesentlich geringere Haltekräfte als bei der Bemessung 20:1

2.1.2 Erster rechnerischer Bemessungsansatz: der Stoß

Gängige Volksmeinung ist, mit stärkeren Seilen ist alles sicherer. Aber diese Überlegung ist nicht immer richtig. Eine Überdimensionierung kann sogar das Gegenteil einer Verbesserung bewirken. Statt etwas sicherer zu machen, wird es unsicherer: Die lebensrettende Knautschzone bei Kraftfahrzeugen darf nicht dem Prinzip, je stärker, desto besser folgen. Hier wird eine weiche Auslegung angestrebt, um den Energieabbau auf niedrigem Kraftniveau zu ermöglichen. Eine hohe Bauteilfestigkeit ist immer unmittelbar mit geringer Nachgiebigkeit gekoppelt. Ein doppelt so tragfähiges Seil ist nur halb so nachgiebig. Im nachfolgenden Diagramm (Abbildung 3) werden die beim Rückschwingen auftretenden Kräfte deutlich: Je höher die Tragkraft des Seiles, um so heftiger wird der Stoß, den Sicherung und Baumteile aushalten müssen. Die dargestellte Extremwertberechnung geht von der Annahme aus, dass ein Stämmeling durch eine Windböe bis zur Elastizitätsgrenze (maximal elastisch aufnehmbare Verformung) auf seinen Nachbarn gebeugt wird. Nach Ende der Böe schwingt er ungedämpft zurück in das Bruchsicherungssystem, das dabei die durch die Böe eingeleitete Verformungsenergie des Stämmelings voll aufnehmen muss. Eine Energieumwandlung folgt dem Gesetz: Energie ist Kraft mal Weg. Ist der Verformungsweg wegen des zu starken Seiles klein, steigt automatisch die auftretende Kraft. Wie man in Abbildung 3 sieht, bleibt die Stossbelastung bei der Verwendung von Kunststoffseilen weit unter den in Tabelle 1 der neuen ZTV-Baumpflege vorgeschlagenen Werten. Würden Stahlseile oder Dyneema-Seile eingebaut, stiege dagegen die Belastung in der Krone und der Verankerung deutlich an. Bei diesen Rechenansätzen ist der Ankerpunkt selbst als unnachgiebig (was er nicht ist) angenommen. Würde man dessen Nachgiebigkeit berücksichtigen, würde die Seilbeanspruchung und somit der Tragfähigkeitsbedarf des Systems noch deutlich niedriger ausfallen.

Der nachfolgende Rechenansatz zeigt den mathematischen Zusammenhang. Bei der beispielhaften Berechnung der Stoßbelastung wird als Astform ein kubisches Paraboloid angenommen. Dessen Auslenkung f an der Spitze folgt der nachfolgenden Gleichung (DUBBEL 1981). Der rechnerischen Einfachheit halber

wird statt der Stämmelingsspitze der 2/3 Punkt der Anbindehöhe eingesetzt.

$$f = (192 \cdot F/5 \cdot \pi \cdot d \cdot E_1) \cdot (l/d)^3$$

Dabei sind F die Kraft, d der Basisdurchmesser, l die Länge bis zum 2/3 Punkt und E_1 der Elastizitätsmodul, der hier beim Stämmelingsholz mit 1000 kN/cm^2 angesetzt ist. Bis zur Elastizitätsgrenze des grünen Holzes ist die Energie im ausgelenkten Ast wie bei einer Feder zu rechnen:

$$E = 1/2 \cdot F \cdot f$$

Die maximal einstellbare Kraft F ergibt sich aus der Spannung σ_e im Holz bei Erreichen der Elastizitätsgrenze unter Biegung auf der Druckseite. Der Mittelwert aller grünen Hölzer liegt nach dem Stuttgarter Festigkeitskatalog (WESSOLLY & ERB 1998) bei 2 kN/cm^2 . (Ausführungen zur Elastizitätsgrenze siehe auch Abbildung 4. und Erläuterungen zur statischen Bruchsicherung). Der mathematische Zusammenhang stellt sich dann wie folgt dar:

$$F = 2 \cdot W/l \quad \text{mit} \quad \sigma_e = 2 \text{ kN/cm}^2$$

wobei das Widerstandsmoment W sich bei kreisrunden Querschnitten errechnet zu:

$$W = \pi/32 \cdot d^3 \quad F = 2 \cdot (\pi \cdot d^3/l \cdot 32)$$

Die im Ast bis zur Elastizitätsgrenze gespeicherte Energie E_A wird somit zu:

$$E_A = 2 \cdot 192 \cdot (\pi \cdot d^3/l \cdot 32)^2 / (5 \cdot \pi \cdot d \cdot E_1) \cdot (l/d)^3$$

Diese Energie muss vom Seil und vom Widerlager, dem sichernden Ast aufgenommen werden. Zur Vereinfachung wird das Widerlager als starr angesehen. Das bedeutet, die jetzt ermittelten Seilkräfte sind höher als unter Berücksichtigung der Nachgiebigkeit des Widerlagers. Die im Seil aufnehmbare Feder-Energie E_s erzeugt die maximale Seilkraft F_s und errechnet sich zu:

$$E_s = 1/2 \cdot F_s \cdot s_{\max}$$

s_{\max} – Seildehnung bis Energie abgebaut.

Bei Federn mit gerader Kennlinie, die hier der Einfachheit halber für die Seile angesetzt wird, ist die Energie:

$$E_s = 1/2 \cdot F_{\max}^2 / c \quad \text{wobei} \quad c = F_{\max} / s_{\max} \text{ ist,}$$

was den jeweiligen Datenblättern der Seileigenschaften zu entnehmen ist. Durch Gleichsetzen der beiden Energieformen $E_s = E_A$ **errechnet sich die maximale Seilkraft (Stoßkraft) F_s** , die beim ungedämpften Rückschwingen und bei starrer Rückverankerung auftreten kann. In Wirklichkeit ist die Rückverankerung nicht starr, so dass die auftretende Stoßkraft niedriger ausfällt als hier errechnet. Als Seillänge zwischen den Ankerpunkten wird 4 m angenommen.

Bei den Bruchsicherungen werden Systeme mit und ohne Ruckdämpfer angeboten. Das dynamische Verhalten unterscheidet sich aber in Folgendem: Ist nur das Seil nachgiebig, ist der Bremsweg der Schwingung

abhängig von der Seillänge: Je weiter die Ankerpunkte voneinander entfernt sind, umso größer der zugelassene Weg. Beispiel: Stehen die Äste 2 m auseinander, ergeben sich bei 10 % Seildehnung 20 cm Weg, bei 8 m Abstand sind das 80 cm. Eigentlich ist nicht einzusehen, weshalb dem engstehenden nur 20 cm Bewegungsspielraum gegeben wird, dem weiter entfernten stehenden 80 cm. Bei letzterem kann das schon zu viel sein.

Mit eingebautem **Ruckdämpfer** wird dagegen zusätzlich eine Nachgiebigkeit zur Verfügung gestellt, die **unabhängig** von der Seillänge ist. Darüber hinaus haben Ruckdämpfer den Vorteil, dass ihre Kennlinie im unteren Lastbereich so weich eingestellt werden kann, dass die Baumteile schon bei leichten sommerlichen Winden schwingen können. Solche Systeme sind besser geeignet, die **Kompensation** von Schwachstellen durch verstärkten Dickenzuwachs zu unterstützen. DETTER (2003) hat zudem gezeigt, dass durch den Ruckdämpfer die Stoßkraft im PP-Hohltau

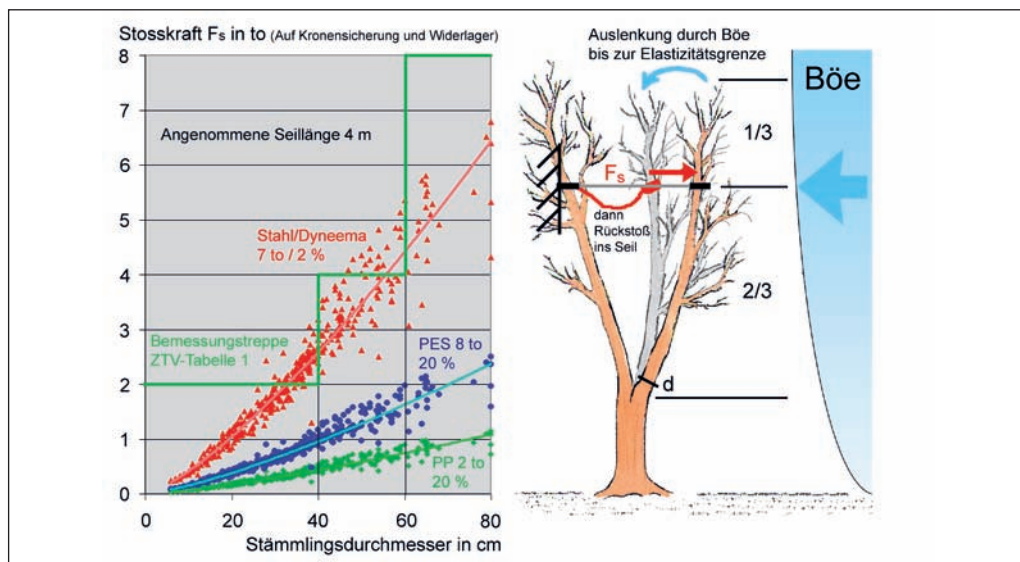


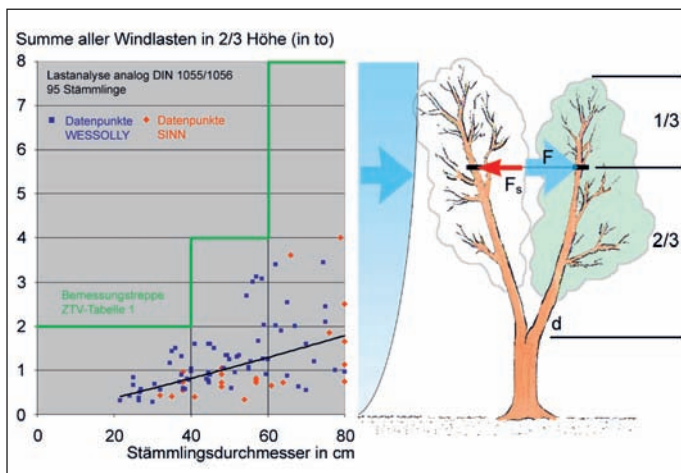
Abbildung 3: Erzeugte Stoßkraft im Ankerpunkt (2/3-Höhe) in Abhängigkeit der Seilsteifigkeit: Je tragfähiger und unnachgiebiger ein Seil ist, umso höher ist die vom Seil selbst erzeugte Last. Das gefährdet dann die Ankerpunkte. Es klingt paradox, aber es stimmt dennoch, je tragfähiger die Seile, umso unsicherer die dynamische Bruchsicherung. Ein weiches 2 to Polypropylenseil ist in der dynamischen Kronensicherung bezüglich der Ankerpunktbelastung viermal sicherer als ein steifes Stahlseil mit 7 to Bruchlast. Bezüglich seiner eigenen Belastung werden beim Maximalstoß nur 25 % seiner Tragfähigkeit benötigt, beim Stahlseil mehr als 50 %

und auf die Verankerung, je nach auftretender Stoßlast, bei einer Seillänge von 3,5 m nochmals um 20–30 % reduziert wird.

2.1.3 Zweiter rechnerischer Bemessungsansatz: die Orkanlast

Der zweite Ansatz zur Analyse des Tragfähigkeitsbedarfs der Kronensicherung geht den Weg der Lastanalyse. Dabei werden die Orkankräfte auf Einzelstämme analog der für Strukturen im Bodengrenzschichtprofil des natürlichen Windes gültigen DIN 1055 ermittelt. Der Rechenansatz hierzu ist bei WESSOLLY & ERB (1998) dargelegt. SINN (2005) hat ausführlich Stellung genommen. Hierbei werden die direkt auf den Stämming wirkenden Orkankräfte ermittelt. Mit unseren eigenen Auswertungen ergänzt, ergeben sich die Belastungen wie in Abbildung 4 dargelegt. Hier muss angemerkt werden, dass die Windlastanalyse an einem isoliert betrachteten Kronenteil viel zu hohe Windlasten ergibt. Denn es wird eine Umströmung des Astes angenommen, die aber durch den schützenden Kronenmantel bis auf wenige Ausnahmen wie z. B. bei der Hybridpappel nicht gegeben ist. In Wirklichkeit ist die Belastung wesentlich niedriger. Selbst bei Vernachlässigung dieses Minderungseinflusses ergibt sich: **Auch mit dieser Analyse** liegen die Kräfte der Bemessungstreppe unterhalb der in Tabelle 1 aufgenommenen Bruchsicherheitswerte.

Abbildung 4:
Benötigte Haltekräfte im Ankerpunkt (2/3-Höhe) für die Kronensicherung, bei voller Aufnahme der Windlast nach Lastanalyse (unveröffentlichte Werte von WESSOLLY 2005 und SINN 2005), analog DIN 1055/1056



Die rechnerischen Zusammenhänge bei der Windlastermittlung in Bodennähe stellen sich wie folgt dar (DAVENPORT 1965): Die Windgeschwindigkeit $u(z)$ in einer Höhe z über dem Boden lässt sich beschreiben durch die Windgeschwindigkeit oberhalb der Bodengrenzschicht $u(g)$ mal dem Verhältnis zwischen gewählter Höhe $h(z)$ zu der Höhe, in der der Wind ohne Hindernisse strömt $h(g)$, hoch einem Geländefaktor α , der je nach Gelände zwischen 0,16 und 0,4 betragen kann. Verstärkt wird diese mittlere Windgeschwindigkeit durch Böen, die sich nach ZURANZKI (1972) durch Faktoren t_u berücksichtigen lassen. Die Windgeschwindigkeit ist somit:

$$u(z) = t_u \cdot u(g) \cdot (h(z)/h(g))^\alpha$$

auf freiem Feld: $\alpha = 0,16$ $t_u = 1$ $h(g) = 280$ m
 in der Stadt: $\alpha = 0,28$ $t_u = 1,4$ $h(g) = 409$ m

Die Kraft F auf einen Kronenbereich A in der Höhe z beträgt mit einem Luftwiderstandsbeiwert c_w und dem spezifischen Gewicht der Luft ρ und der obigen Geschwindigkeit des bodennahen Windes $u(z)$:

$$F(z) = c_w \cdot \rho/2 \cdot A(z) \cdot u(z)^2$$

Dabei beträgt der Luftwiderstandsbeiwert c_w je nach Kronentransparenz zwischen 0,2 und 0,35.

An der Astverzweigung wird folgendes Lastmoment M_b eingeleitet:

M_b = Summe aller $F(z)$ mal den dazugehörigen Hebelarmen $l(z)$

(Siehe auch WESSOLLY & ERB 1998).

2.2 Die statische Bruchsicherung

Dritter rechnerischer Bemessungsansatz: gleiche Belastbarkeit

Der dritte und letzte theoretische Weg zur Ermittlung der maximal auftretenden Kräfte folgt dem **Prinzip der gleichen Tragfähigkeit** von **Stämmling** und dem **Ersatzsystem Kronensicherung**. Dieser rechnerische Ansatz kann nur bei der statischen Sicherung gültig sein, bei der etwas Angerissenes starr gehalten wird, damit es nicht weiterreißt. Im Idealfall sollte es sogar wieder zusammen wachsen können. Eine stärkere Dimensionierung ist hier im Gegensatz zur dynamischen Bruchsicherung nicht kontraproduktiv. Hier können sogar hochleistungsfähiges Dyneema- oder Stahlseile zum Einsatz kommen. Hier gibt es deutliche Differenzen in der notwendigen Bemessung gegenüber BETHGE & MATTHECK & SCHRÖDER (1994) und SCHRÖDER (2003). Deren Bemessungswerte liegen deshalb so hoch, weil sie die **Biegefestigkeitswerte** der Stämmlinge bei vollständigem Bruch in die folgende Gleichung für die maximale Spannung einsetzen. Wir setzen, wie unten noch ausführlicher begründet, die Spannung bei Erreichen der **Elastizitätsgrenze** in die Gleichung ein.

Der formelmäßige Zusammenhang bei einer Biegebelastung ist einfach und stellt sich wie folgt dar: Die in $2/3$ Höhe der Stämmlingslänge l_s erzeugte Kraft F_a , (z. B. durch einen Orkan), die durch eine Sicherung

ersetzt werden soll, ergibt im Verzweigungspunkt bei einem Stämmling mit dem Durchmesser d folgende Spannung σ :

$$\sigma = 2/3 \cdot 32 \cdot l_s \cdot F_a / \pi \cdot d$$

Die maximal aushaltbare Spannung σ ist die Festigkeit σ_{\max} . Jetzt stellt sich die Frage, welche Spannung im Baum durch die Orkanbelastung erzeugt wird und welche Sicherheiten gegenüber den äußeren Belastungen gegeben sind. Auch ist zu klären, was als Festigkeit definiert wird: die Elastizitätsgrenze, wie im Ingenieurwesen üblich und von uns verwendet, oder das entgültige Biegeversagen (das bis zum dreifachen Lastniveau betragen kann).

Es gibt keine Veranlassung, die natürliche Überdimensionierung eines Astes gegenüber der Orkanwindlast durch ein ebenfalls hoch überdimensioniertes Seil nachzuvollziehen. Die Berechnungen von SINN & SINN (2005) anhand von Lastanalysen des bodennahen Orkans haben ergeben, dass mit dem Biegefestigkeitsansatz die geforderten Seiltragfähigkeiten 12 mal höher sein können als zum Abtragen der Windlasten benötigt.

So ist nicht die Biegefestigkeit, sondern die **Elastizitätsgrenze** unter **Druckbelastung** der angemessene Schwellenwert für die Bemessung der Seiltragfähigkeiten. Auf Druck ist Holz nur halb so tragfähig wie unter Zug. Im plastischen Bereich, der bei Überschreiten der Elastizitätsgrenze beginnt, kann das Holz bis zum entgültigen Versagen noch höhere Kräfte aufnehmen, bis es auf der Zugseite kollabiert. Das führt dann dazu, dass SCHRÖDER (2004) dreimal so stark dimensionieren muss als beim Einsetzen der

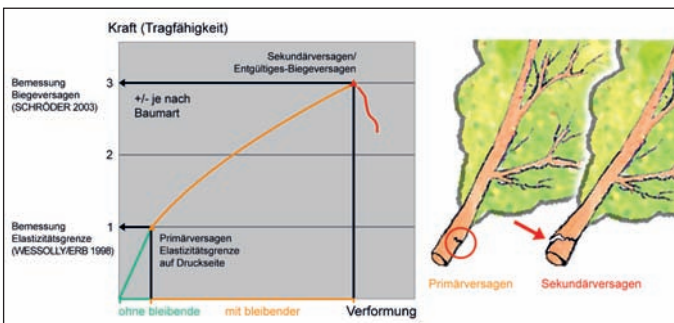


Abbildung 5:
Elastizitätsgrenze/Biegeversagen grünen Holzes

Elastizitätsgrenze. Als dynamische Bruchsicherung eingesetzt, wäre diese Dimensionierung absolut kontraproduktiv (siehe Abbildung 3).

Ein weiterer Grund für die Wahl der Elastizitätsgrenze ist: Wenn an gesunden Ästen die Elastizitätsgrenze in Orkanen überschritten würde, müssten reihenweise plastisch verformte Baumkronen zu finden sein. Das konnte allerdings nur bei schwachen Astquerschnitten beobachtet werden (ROLOFF 2004), nicht jedoch bei Aststärken, die normalerweise mit einer Kronensicherung versehen werden. Auch SPATZ (2003) schreibt in seinem Aufsatz zu Kronensicherung und Auffangensicherung dazu ... „Es ist deshalb davon auszugehen, dass der gesunde Baum am Standort bei den normalerweise auftretenden mechanischen Belastungen keinen Schaden nimmt“. Und bleibende Verformungen sind Schäden. In einer früheren Betrachtung hat SPATZ (2002) seinen Berechnungen an die statische Bruchsicherung zu Grunde gelegt und dabei auch eine Überdimensionierung als zusätzliche Sicherheit befürwortet. Bei dieser Sicherung ist eine Überdimensionierung auch nicht schädlich, sondern erhöht die Sicherheit gegen das Weiterreißen eines angerissenen Stämmings. Denn es gilt, je tragfähiger, um so unnachgiebiger.

Mit dem Einsetzen der Elastizitätsgrenze in der Bemessung ergeben sich die Werte des folgenden Dia-

gramms. Bei allen Diagrammen liegen Längen und Durchmesser von Starkkästen und Stämmlingen aus einer von GRÄFE (2004) bei ROLOFF & WEISS erstellten wissenschaftlichen Arbeit, eigene Messungen und Quellen von SINN (2005) sowie einer weiteren an der FH Nürtingen von LIPS (2005) erstellten Diplomarbeit zugrunde.

Ergebnis dieser dritten Betrachtung ist, dass die Bemessungsregel in Tabelle 1 der ZTV-Baumpflege nicht nur für dynamische, sondern auch für statische Bruchsicherungen gültig sein könnten. Beim Einbau von über 250.000 ausgeführten Kronensicherungen, davon etwa die Hälfte in Deutschland, wurde noch nicht wie in der neuen ZTV-Baumpflege zwischen dynamischer und statischer Bruchsicherung differenziert. Dennoch haben diese Kronensicherungen mit der vom Hersteller angegebenen Bemessung (s. o.) beim Einbau als dynamische und statische Systeme gehalten. Sie waren dem Orkan Lothar ebenso ausgesetzt wie zahlreichen Sommerorkanen in der Folge.

Im Gegensatz zur dynamischen kann bei der statischen Kronensicherung problemlos überdimensioniert werden. Das führt dann wegen der mit der Tragkraft zunehmenden Steifigkeit zu einer noch besseren Ruhigstellung des angerissenen Baumteils. Da sich die Abstufungen 2, 4, 8 to schon in der Praxis bewährt hatten, wurden der Einfachheit halber die

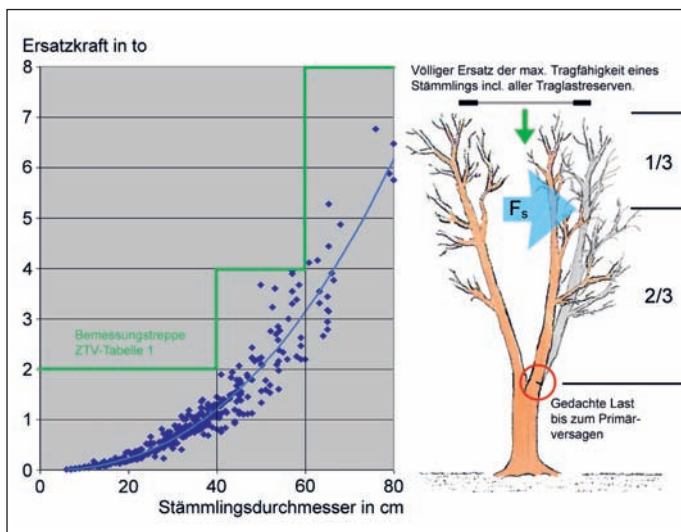


Abbildung 6:
Kraft F_a die, in 2/3-Höhe des Stämmings eingeleitet, die Elastizitätsgrenze im Stämming erzeugt

Tabelle 1: Dynamische und Statische Bruchsicherung

Durchmesser an der Astbasis	Dynamische Bruchsicherung	Statische Bruchsicherung
	Mindestsystem-Bruchlast für die zugesagte Funktionsdauer beim Einbau in mindestens 2/3 Höhe des zu sichernden Stämmings	Mindestsystem-Bruchlast für die zugesagte Funktionsdauer beim Einbau in mindestens 2/3 Höhe des zu sichernden Stämmings
bis 40 cm	2 to	4 to
40–60 cm	4 to	8 to
60–80 cm	8 to	16 to

Bemessungswerte der Tabelle 1 für den statischen Fall verdoppelt. Bei der Verwendung von PP- oder PES-Verbindungselementen können zur Verdopplung der Bruchlasten die Verbindungen auch doppelt geführt werden.

Bei Erfüllung der Bruchlasten sind die dynamischen Zusammenhänge im Baum zu berücksichtigen. Vermindert z. B. ein eingebauter Ruckdämpfer die bei der Schwingung auftretende Kraft, kann das Seil um eben diesen Betrag geringer dimensioniert werden, da es die gleiche Sicherheit bietet.

3 Die Trag/Haltesicherung

Bei der **Tragsicherung** wird in erster Linie das ruhende Eigengewicht des zu sichernden Astes berücksichtigt. Eventuell sind zusätzlich Eisregen und Schneelasten dazu zu addieren. Durch den vertikalen Einbau wird der Aufbau einer Fallenergie unterdrückt, die Stoßlast wird vermieden. Allerdings schlagen TESARI et al. (2003) vor, die Seildehnung als Fallhöhe zu berücksichtigen. Dieser Ansatz ist äußerst konservativ, denn die beim Brechen freiwerdende potentielle Energie wird jedoch nicht allein in der Seildehnung, sondern auch von der Bruchenergie des versagenden Astes eliminiert: Ein grüner Ast bricht langsam und nicht schlagartig und benötigt dabei wesentlich mehr Energie als ein trockener. Darüber hinaus ist zu bedenken, dass ein durch den Sturm horizontal angebrochener Ast vertikal der Schwerkraft folgend versucht, herunterzufallen. Hierzu muss er allerdings die Bruchenergie in dieser Richtung erst

einmal aufbringen. SPATZ (2003) hat einen Vorschlag gemacht, der mit Querschnittsfläche am Astansatz mal Astlänge mal Formfaktor 0,8 das Gewicht ergibt.

$$\text{Ruhendes Astgewicht} = 0,8 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \text{Länge}/4$$

(Abmessungen in m/Gewicht in to)

Als Erhöhungsfaktor schlägt er den Wert 1,5 vor. TESARI et al. (2003) kalkulieren die Dehnlänge des Seiles als sog. Fallhöhe ein und kommen so bei außer acht lassen der Bruchenergie des Astes auf den Faktor 2. Damit wäre auch ein mögliches Kriechen des Kunststoffseiles durch die Last des im Seil hängenden gebrochenen Astes berücksichtigt. Da in der Literatur wenig über Astgewichte und Längen zu finden war und dem Baumpfleger nicht zugemutet werden konnte, obige Formel anzuwenden, wurde zusätzlich zu den vorhandenen eigenen Daten und der unter Anleitung von ROLOFF an der Universität Dresden durchgeführten wissenschaftlichen Arbeit (GRAEFE 2004), von LIPS (2005) an der FH Nürtingen eine weitere Untersuchung unternommen, die Ast- und Stämmingsgewichten von Stadt- und Parkbäumen erhob. Die insgesamt 381 Starkast- und Stämmingslängen von Nicht-Waldbäumen ließen eine hinreichend verlässliche Auswertung zur Bemessung der Tragsicherung zu.

Die natürliche Streuung der Werte in Abbildung 7 hat ihre Ursache im unterschiedlichen Längen-/Dicken- und Verzweungsverhältnissen. Die Abstufungen in dem Bemessungsvorschlag wurde so gewählt, dass ebenso wie bei den beiden Bruchsicherungen genügt, den Astdurchmesser an der Basis zu wissen. Eine

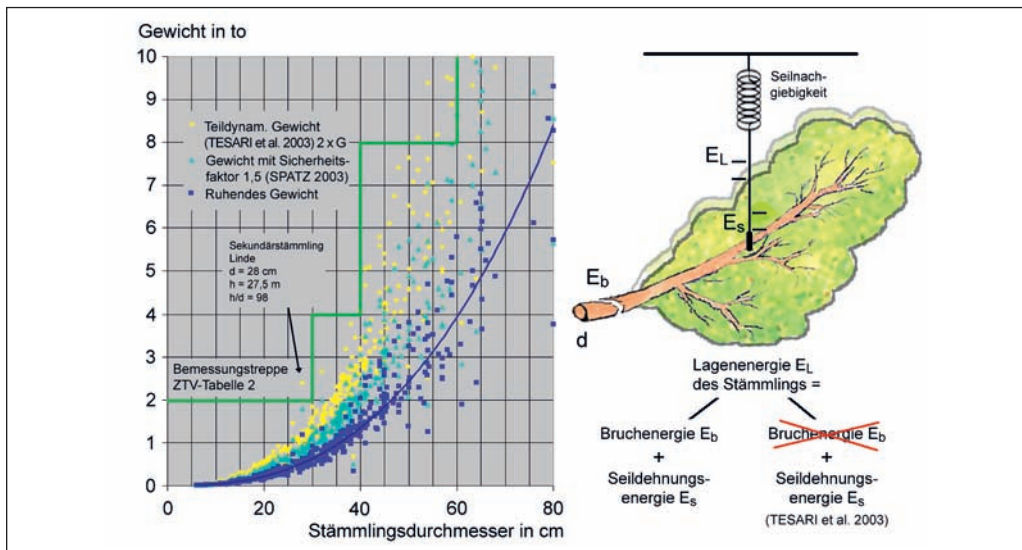


Abbildung 7: Ruhende Ast/Stämmlingsgewichte n. Formel SPATZ (2003) Bemessungsvorschläge SPATZ (Faktor 1,5) und TESARI et al. (2003) mit Faktor 2,0. Das ruhende Gewicht hat sich erst nach der Dehnung des Seils eingestellt. Die von der Dehnungsfähigkeit des Seiles verursachte Lageenergie teilt sich auf in Bruchenergie und Dehnungsenergie des Seiles. TESARI vernachlässigt die Bruchenergie und erhält natürlich bei der Umwandlung der Lageenergie in Seildehnungsenergie das zweifache Gewicht

Tabelle 2: Trag-/Haltesicherung

Durchmesser an der Basis	Mindestsystem-Bruchlast für die zugesagte Funktionsdauer
bis 30 cm	2 to
30–40 cm	4 to
40–60 cm	8 to
60–80 cm	16 to

Abschätzung oder gar eine Messung der Länge des zu sichernden Astes ist somit nicht nötig.

Damit ließ sich die Tabelle 2 entwickeln, mit der der Baumpfleger sicher arbeiten kann, ohne eine mathematische Gleichung lösen zu müssen.

Auch bei der **Tragsicherung** kann, wie bei der **statischen Bruchsicherung**, **stärker dimensioniert** werden, da das ihre Sicherungsfunktion unterstützt

und zusätzlich des Risiko eines Eis- oder Schneebruches vermindert.

4 Weitere Aspekte

4.1 Besonderheit bei Bemessung der dynamischen Kronensicherungen

Die dynamische Bruchsicherung hat die Aufgabe, ein Aufschaukeln der Krone in Resonanz erst gar nicht zuzulassen. Dynamische Kräfte in der Baumkrone entstehen, anders als statisch wirkende Kräfte in der Wechselwirkung zwischen Baumkrone und Sicherungssystem (siehe Abbildung 3). Das bedeutet, wenn ein Sicherungssystem z. B. durch ruckdämpfende Elemente von vornherein die Spitzenkräfte, die auf Seil und Ankerpunkt einwirken, abfängt, kann es um diese Spitzenkraftreduktion geringer dimensioniert werden, da es die gleiche Sicherheit bietet wie das stärkere Seil ohne Dämpfer.

4.2 Dauerhaftigkeit und Haftungsfrage

Kronensicherungssysteme sollten **mindestens 8 Jahre** im Sinn der ZTV-Baumpflege funktionsfähig sein. Bruchlast, Dehnungsverhalten, Festigkeitsverlust über die Zeit und die Aufnahme von Dauerlasten, **sind vom Hersteller nachzuweisen**. Um sich keinem Haftungsrisiko auszusetzen, ist der ausführende Betrieb gefordert, diese Punkte mit dem Lieferanten unbedingt zu klären und er sollte sich u. U. ein Zertifikat ausstellen lassen. Schon SCHRÖDER (1997) hat aufgezeigt, dass die Festigkeit von Hohлтаuen aus **Polyester-Multifil** schon **nach 5 Jahren** Einsatz im Baum so abgebaut sein kann, dass sie nur noch die **halbe Tragfähigkeit** aufweisen. Da Bäume bekanntlich in der Länge als auch in der Dicke s. u. wachsen, ist es m. E. **wenig sinnvoll, Kronensicherungen wesentlich länger als 10 Jahre** am gleichen Platz zu lassen. Denn dann stimmt die Einbauregel, die Sicherung in 2/3 Höhe des Stämmplings zu platzieren, irgendwann deutlich nicht mehr. Auch muss die Bemessung der Mindestbruchlasten an den dickeren Stammdurchmesser angepasst werden.

Bisher sind nur von Polypropylen (PP)-Hohлтаuen Untersuchungen zu den Langzeithaltbarkeiten über mehr als 10 Jahre bekannt. Da es beim Einsatz von Kronensicherungen um Sicherheitseinrichtungen geht, wäre es ein großes juristisches Risiko, wenn die Anbieter von Polyamid (PA) und Polyester (PES)-Hohлтаuen und Gurtbändern nicht ebenfalls eine Überprüfung der Dauerhaltbarkeit ihrer Systeme am Einsatzort Baum durchführen würden. Denn die PES-Multifilseile sind inzwischen seit 15 Jahren als Kronensicherungen im Einsatz und stehen nach ihrem Austausch somit einer Überprüfung zur Verfügung.

Die ZTV-Baumpflege ist in erster Linie ein Regelwerk. Mit der Beschreibung des Standes der Technik dient sie dennoch gleichzeitig der Schulung ihrer Anwender. Das gilt bei dieser Ausgabe insbesondere für den Bereich Kronensicherung. Denn hier wurde gegenüber der klassischen Baumpflege ein erheblicher Aufklärungsbedarf festgestellt. Damit erklären sich auch die längeren Erläuterungen in der Neuausgabe.

4.3 Kontrolle

Kronensicherungen müssen genau so wie die Bäume selbst, turnusmäßig nach FLL-Baumkontrollrichtlinie 2004 kontrolliert werden. Die kritischste Situation bei Kunststoffseilen ergibt sich, wenn es zu **Scheuerstellen** zwischen Baumteilen und dem Seil, oder dem Gurtband kommt. Hier können selbst Zweige, mit geringeren Durchmesser als das Seil, zu dramatischen Tragfähigkeitsverlusten führen. Die zweitwichtigste Kontrolle ist der **Einbauzeitpunkt**. Denn die Einsatzdauer, verbunden mit dem bekannten maximalen Festigkeitsverlust über die Zeit, gibt Auskunft über die Funktionsfähigkeit. Das sollte ohne Einsicht ins Kataster von jedem Baumkontrolleur zu jedem Zeitpunkt möglich sein.

Hier bietet sich eine eindeutige Farbbindung ans Einbaujahr, wie bei der TÜV-Plakette ausgeführt, an. Realisierbar ist das z. B. mit einer Lochscheibe aus einem farbstabilen Material, durch das das Seil geführt wird. Farbige Thermoendkappen können keine verlässliche Identifikation des Einbaujahres gewährleisten, da sich herausgestellt hat, dass sie nicht farbstabil sind. So werden rote Endkappen nach ein paar Jahren weiß, grüne und violette werden hellblau, nur blaue bleiben blau. Eine **Farbkennung** muss vom Boden aus gut zu erkennen sein, denn die Regelkontrolle erfolgt vom Boden aus. Es wäre vorteilhaft, wenn sich die Hersteller von Kronensicherungen auf eine einheitliche Farbabfolge einigen könnten. Dieses Übereinkommen könnte von der FLL geregelt werden.

Kennfäden oder eine farbige Lasche (mit gegenüber dem Hohltau geringerer Dehnfähigkeit) als Bruchindikatoren sind ein interessanter theoretischer Ansatz. Allerdings sind gerissene Kennfäden vom Boden mit bloßem Auge eher schwer zu erkennen. Für beide Bruchindikatorlösungen gilt, dass auch deren Eigenschaften und Festigkeiten sich im Lauf der Zeit verändern und nach 8 Jahren bestimmt nicht mehr die Bruchkräfte besitzen, die sie zu Beginn anzeigen würden. Fatal wäre, wenn das Seil schneller seine Festigkeit verlieren würde als der Indikator. Hier besteht im Sinn der Haftungsfrage noch Forschungsbedarf.

Der beste Indikator, eine zu große Belastung zu zeigen ist folgender: Sollte ein Seil trotz Einhaltung

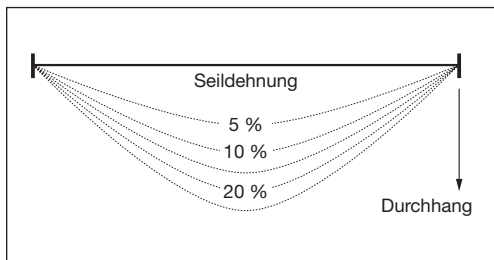


Abbildung 8: Ein auffälliger Durchhang ist der beste Indikator für ein überbeanspruchtes und dabei überdehntes Seil. Schon geringe Prozente bleibender Dehnung erzeugen einen bedeutenden Seildurchhang

der Einbauvorschrift, was eher unwahrscheinlich ist, überbelastet worden sein, zeigt es das durch einen auffallenden Durchhang infolge bleibender Dehnung. Allerdings sollte das nicht mit dem natürlichen Reck eines Seiles verwechselt werden, der sich durch kleinere Belastungen ganz normal einstellt. Bei den gängigen Seilen dürfte er bei etwa 3 % liegen.

Alle neu entwickelten Kronensicherungen sind **umschlingende Systeme**. Bei ihnen ist der **Dickenzuwachs** der Stämmlinge während der Einsatzzeit zu berücksichtigen. So hat THOMSEN (2003) an 32 Bäumen eine mittlere Umfangszunahme von 13 cm bei einem Spitzenwert von 31 cm in 12 Jahren gemessen. Dieser Zuwachs setzt das Seil unter Spannung. Geht man davon aus, dass beide Stämmlinge in gleichem Maß dicker werden, wird das verbindende Seil um 13 cm in die Länge gezogen. Bei einer Ankerentfernung von 3 m wird das Seil so um 4 % gedehnt. In einem dehnfähigen PES- oder PP- Hohltau mit 18 % Bruchdehnung wird damit gerade der Reck herausgezogen sein. Wird allerdings der o. g. Spitzenwert des Dickzuwachses erreicht, wird das Seil schon um 10 % gedehnt. Das Seil steht somit nach 12 Jahren unter einer Spannung, die 50 % der Bruchlast entspricht. Eine wesentlich längere Einsatzempfehlung als von der ZTV gefordert, ist somit auch aus diesem Gesichtspunkt nicht empfehlenswert. Auch sei hier zur Vorsicht geraten bei Seilen die mit nur 5 % Bruchdehnung im Handel sind.

Zur besonderen Vorsicht wird aus o. g. Gründen bei der Kombination von Umschlingungssicherungen mit steifen Stahl- oder den High-Tech-Dyneemaseilen geraten. Es sei denn, man entspannt sie alle zwei Jahre. Bei Dyneema-Hohltauen sollte man deshalb das Nachlassen durch einen entsprechend längeren Quickspleiss vorwegnehmen. Ohne dieses Nachlassen drücken theoretisch (bei einer Bruchdehnung von 2–3 %) nach 12 Jahren Einsatz diese Seilarten schon bei der o. g. mittleren Dickenzuwachsrate mit der eigenen Bruchlast (8–12 to) auf die Stämmlinge. Natürlich kann diese maximale Last nicht erzeugt werden, da die Stämmlinge durch Biegung nachgeben. Allerdings hat Dyneema hier noch einen weiteren Vorteil gegenüber Stahl: mit zunehmender Dauerlast, Beanspruchungsdauer und Temperatur kriecht das Material. Dennoch besteht die Gefahr, dass der Druck auf das Kambium zum Absterben des Stämmlings und zu Sollbruchstellen führt. Beim Ausbau steht auf jeden Fall das gesamte System unter einer exorbitant hohen Spannung, die für den Baumpfleger und den Baum selbst zur Gefahr werden kann.

Diese Zusammenhänge sollten im statischen Sicherungsfall bei der Materialverwendung berücksichtigt werden.

Literatur

- ADDITIONAL TECHNICAL CONTRACTUAL TERMS AND GUIDELINES FOR TREE CARE – ZTV TREE CARE, 2007: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) Bonn.
- BETHGE, K.; MATTHECK, C.; SCHRÖDER, K., 1994: Dimensionierung von Kronensicherungssystemen ohne Windlastabschätzung, DAS GARTENAMT, Patzer Verlag, Berlin, Hannover, 3 S.
- DAVENPORT, A. G., 1965: The Relationship of Wind Structure to Wind Loading, Wind effects of Building and structures HMSO London
- DETTNER, A., 2003: Dynamische Eigenschaften von Kronensicherungen, NEUE LANDSCHAFT, Patzer Verlag, Berlin, Hannover.
- DUBBEL, Hrsg.; BEITZ, W. & KÜTTNER, K. H., 1981: Taschenbuch für den Maschinenbau, Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York.
- FLL-BAUMKONTROLLRICHTLINIE 2004: Richtlinie zur Überprüfung der Verkehrssicherheit von Bäumen – Baumkontrollrichtlinie 2004, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) Bonn, 44 S.
- GRAEFE, St., 2004: Vergleichende Untersuchung von gekappten und nicht gekappten Linden mit Hilfe visueller Kontrolle und Untersuchungen mit dem *Picus* Schalltomograph, Diplomarbeit Universität Dresden-Tharandt, Betreuer WEISS, H. ROLOFF, A.
- HÖFFER, R.; NIEMANN, H. J.; HÖLSCHER, N.; HUBERT, W., 2005: Sturm-sicherheit: Den Spielraum immer wieder ausloten, Rubin 2/05, 10 S.

JAMES, K. R.; HARITOS, N.; ADES, P. K., 2006: Mechanical stability of trees under dynamic loads, *American Journal of Botany* 93, 2006.

LIPS, M., 2005: Gewichte von Kronenteilen – Eine Untersuchung zur Kronensicherung, Diplomarbeit FH Nürtingen, Betreuer WESSOLLY, L.

NIEMANN, H. J., 2002: Anwendungsbereich und Hintergrund der neuen DIN 1055, Teil 4, *Der Prüflingenieur* Okt, 11 S.

PFISTERER, J.; SPATZ, CHR.; ERFORTH, D.; HEINZ, M., 2003: Untersuchungen zu Bruchfestigkeit von Astgabeln und Reiteraten der Hasel, *Jahrbuch der Baumpflege*, Thalacker-Verlag, Braunschweig, Hrsg.: DUJESIEFEN, D.; KOCKERBECK, P.

PFISTERER, J.: Geänderte Kronensicherung, *Baumzeitung*, Thalacker Medien 2/2005 S. 28.

PFISTERER, J.; SPATZ, CHR.; WESSOLLY, L., 2005: Besprechungsprotokoll vom 17.1.05.

ROLOFF, A.: Bäume, Phänomene der Anpassung und Optimierung, *Landsberg* 2004.

SCHRÖDER, K., 1997: Kronensicherung mit dem „Doppelgurtsystem OsnaBrück“ – Entwicklungen und Erfahrungen seit 1990, *Jahrbuch der Baumpflege*, Thalacker-Verlag, Braunschweig, Hrsg.: DUJESIEFEN, D.; KOCKERBECK, P.

SCHRÖDER, K., 2003: Zur Sicherung ausbruchgefährdeter Baumkronen, *AFZ-Der Wald*.

SCHRÖDER, K., 2004: Eingabe in den Regelwerksausschuss der ZTV Baumpflege.

SINN, G.; SINN, TH., 2005: Auswahlkriterien und Bemessung textiler Kronensicherungen, pro Baum, Patzer Verlag, Berlin, Hannover.

SPATZ, H. CHR., 2001: Sicherheitsfaktoren in der Biomechanik von Bäumen, *Jahrbuch der Baumpflege*, Thalacker-Verlag, Braunschweig, Hrsg.: DUJESIEFEN, D.; KOCKERBECK, P.

SPATZ, H. CHR., 2003: Kronensicherung und Auffangsicherung, ein Kommentar zur ZTV Baumpflege, Tabelle 1 des Anhangs. *Stadt und Grün* 6, Patzer Verlag, Berlin, Hannover.

SPATH, H. CHR.; BRÜCHERT, E.; PFISTERER, J., 2006: How do Trees Escape Dangerously Large Oscillations? 5. *Plant Biomechanics Conference* – Stockholm, August 28–Sept. 1.

TESARI, I.; MUNZINGER, M.; MATTHECK, C., 2003: Untersuchungen zu Kronensicherungssystemen, *Tagungsband VTA – Seminar*, Karlsruhe.

THOMSEN, U., 2003: Umfangszunahme von Laubbaumästen, interne Mitteilung der Sachverständigenarbeitsgemeinschaft (SAG) Baumstatik, Stuttgart.

WESSOLLY, L.; FRITZ, W., 1973: Umströmung von Modellen einfacher geometrischer Form in hochturbulenter Strömung bei niedrigen Geschwindigkeiten, *Diplomarbeit* Universität Stuttgart.

WESSOLLY, L. 1983: Vorgespannte Seilnetztragwerke – Zur Sicherheit gegen Weiterreißen. *Dissertation* Universität Stuttgart.

WESSOLLY, L.; ERB, M., 1998: *Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle*, Patzer Verlag, Berlin, Hannover, 270 S.

WESSOLLY, L., 2000: *Kronensicherungen*, CD mit Powerpointpräsentation, Stuttgart.

WESSOLLY, L., 2001: *Neuerungen bei der Kronensicherung*, bi Galabau.

WESSOLLY, L., 2002: *Bemessung von Kronensicherungen*, Stadt und Grün, Patzer Verlag, Berlin, Hannover.

WESSOLLY, L., 2005: *Neue ZTV Baumpflege (Gelbdruck) – Kronensicherung, pro Baum*, Patzer Verlag, Berlin, Hannover, 270 9 S.

ZURANSKI, J., 1972: *Windbelastung von Bauwerken und Konstruktionen*, Köln.

ZTV-BAUMPFLEGE 2001: *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Baumpflege*, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) Bonn, 68 S.

ZTV-BAUMPFLEGE 2006: *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Baumpflege*, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) Bonn, 71 S.

Autor

Dr. Ing. Lothar Wessolly ist öbv SV für Verkehrssicherheit und Wertermittlung von Bäumen.

Dr. Ing. Lothar Wessolly
Ing.- und
Sachverständigenbüro
Institut für BaumDiagnose
Nittelwaldstraße 22
D-70195 Stuttgart
Tel. (07 11) 24 40 52
Fax (07 11) 2 36 02 31
baumstatik.sag@t-online.de



Das weltweit erfolgreiche EU Patent 062377 für Baumkronensicherungen wurde vom Patentinhaber, einem der führenden Sicherheitsexperten für Bäume weiterentwickelt. Es verbindet innovativ den neusten Stand mit der roten Marke "boa-Baumsicherung".

- Speziell auf die neue ZTV-Baumpflege 2006 abgestimmt
Einsatzempfehlung 12 Jahre, mit Zertifikat
- Qualität = Sicherheit = Langlebigkeit = Kostenreduktion
- Stark, statisch und dynamisch getestet
- Sicher, nachgewiesene Dauerhaltbarkeit
- Einfach wegen Überkreuz-Kompatibilität bei 2 to + 4 to
Gebrauchsmuster-Nr. 20 2006 006 554.7



- Schnell und sauber einzubauen
- Ohne Gleitmittel und ohne Brenner
- Kein Seilkrangeln - Weltneuheit
- Einfach zu kontrollieren - lichtechte Scheibe
mit Jahreskennfarbe zur sicheren Feststellung des Einbaujahres



- Unauffällig, aber effektiv: für Statische Bruch- und Trag - Sicherungen High tech dyneema - Systeme boa silver mit 8 und 12 to Seilbruchlasten
- Die kompetente Beratung und Schulung durch führende Experten für Baumsicherheit

arboa
tree safety

arboa e.K. tree safety - Dornhaldenstr. 5
D-70199 Stuttgart - Tel.: (0049) 711/ 674 43 62
www.arboa.com