

## Teil 1: Phänomen, Bewertung

# Problem Grünastbrüche

Ulrich Weihs



*Dass belaubte Äste unvorhergesehen abbrechen können, weiß man v. a. von Pappel. Studien zum Grünastbruch stützen sich meist auf empirisches Erfahrungswissen. Systematische Untersuchungen liegen nicht vor.* Foto: Weihs

Beim Grünastabbruch handelt es sich um ein komplexes, vielschichtiges Phänomen, das sich durch mehrere Entstehungsursachen erklären lässt. Neben Elastizitäts- und Festigkeitseigenschaften des Holzes dürfte auch eine zunehmende Erwärmung der Astoberseite sowie das so genannte Modulprinzip eine Rolle spielen.

SINN [21] beschreibt den Begriff „Brüchigkeit“ als die Sprödigkeit eines Materials. Je nach dem Anteil der plastischen Verformung können Sprödbrüche und Verformungsbrüche unterschieden werden. Bei einem Astbruch lassen sich folgende drei Phasen unterscheiden:

- elastischer Bereich (reversible Verformung)
- Primärversagen (irreversible Verformung)
- Sekundärversagen (finaler Bruch)

Wird ein Ast einer Biegebelastung ausgesetzt, so kommt es zunächst mit zunehmender Spannung zu einer Dehnung des Astes. Der proportionale Zusammenhang zwischen Dehnung des Astes und der auf ihn einwirkenden Zugkraft wird als Elastizitätsmodul (E-Modul) bezeichnet. Die Bruchfestigkeit von Bäumen und ihren Ästen hängt maßgeblich vom artspezifischen E-Modul ihrer äußersten Holzfasern ab. Umso größer der E-Modul der Holzfasern im äußeren Bereich von Ästen ist, desto höher ist ihre Bruchfestigkeit. Solange der E-Modul der äußeren grünen Randfasern im elastischen Bereich liegt, sind die durch Lasteintrag zu verzeichnenden Verformungen reversibel.

Entsprechend dem Flächenträgheitsmoment liegen der größte Lastabtrag und die

Dehnungsspitze immer unmittelbar unter der Rinde im Bereich der äußersten Randfasern. Durch den Verbund der Randfasern mit den darunter liegenden Faserbündeln entsteht ein statisch wirksamer Zusammenhalt. Kommt es infolge der Biegebelastung des Astes zu einer Überschreitung seiner Elastizitätsgrenze, versagen zuerst die am stärksten belasteten äußeren Fasern auf der Druckseite, da die Druckfestigkeit nur 25 bis 50 % der Festigkeit auf der Zugseite besitzt. Nach dem Versagen der äußeren Fasern auf der Druckseite durch Einknicken/Stauchung folgen die in Richtung Mitte des Astes benachbarten Fasern. Es kommt zum Primärversagen mit irreversibler Verformung, das verdeckt unter der Rinde/Borke abläuft und deshalb auch als stilles Versagen bezeichnet wird.

Derart angebrochene Äste zeigen teilweise Rindenstauchungen auf ihrer Astunterseite (Druckseite). Treten keine weiteren, zeitnahen Belastungen des angebrochenen Astes auf, können vitale Bäume auf ein Primärversagen durch verstärktes Kompensationswachstum im Bereich der Schadensstelle reagieren, indem sie Holz anbauen und damit die eingetretene Faserstauchung stabilisieren. Tritt jedoch zeitnah eine weitere Belastung des angebrochenen Astes auf, versagen immer mehr Fasern auf der Druckseite, was zu einem Anstieg der Zugbelastung der Randfasern auf der gegenüberliegenden Seite führt. Kann die äußerste Randfaser auf der Zugseite die Last nicht mehr halten, reißt sie hörbar und das Sekundärversagen ist eingetreten. Der Ast ist endgültig abgebrochen.

Neben dem E-Modul der äußersten Randfasern spielt die Ausformung und Geometrie des Astes für seine Bruchfestigkeit eine große Rolle. Ovalisierungen entlang der Längsachse von Ästen bieten einen doppelt so hohen Widerstand gegen Biegung als senkrecht dazu. Das Wi-

*Dieser Beitrag (sowie Teil 2 auf S. 38) basiert auf dem Vortrag, den der Autor anlässlich des Baumforums an der LVG Heidelberg am 18. Juni 2014 gehalten hat.*

Dr. U. Weihs ist Professor für Baumsachverständigenwesen, Verkehrssicherheit für Bäume und Baumwertermittlung an der Fakultät Ressourcenmanagement der HAWK in Göttingen.



Ulrich Weihs  
ulrich.weihs@hawk-hhg.de

derstandsmoment ( $W$ ), das als Quotient aus Flächenträgheitsmoment und dem Abstand der Randfaser von der neutralen, spannungsfreien Faser definiert ist, lässt sich nach WESSOLLY und ERB [26] für elliptische Querschnitte über  $W = d_1^2 \cdot d_2 \cdot \pi / 32$  berechnen. Mit zunehmenden Astdurchmessern nimmt das Widerstandsmoment bei ovalen Querschnitten in Richtung des größeren Durchmessers  $d_1$  in zweifacher und in Richtung des kleineren Durchmessers  $d_2$  in einfacher Potenz zu. Das ist auch der Grund, warum sich Äste durch Ausbildung von elliptischen Querschnittsformen in der Hauptbelastungsrichtung durch Zug- und/oder Druckholz stabilisieren, um ihr Eigengewicht besser tragen zu können.

Da Baumkronen ein dynamisches, elastisches System darstellen, verdanken sie ihre Bruchsicherheit auch ihrer Beweglichkeit. Kronenäste können sich bei Sturm durch Biegung aus der Hauptbelastungsrichtung drehen und dadurch ihre Windlast reduzieren [26]. Sie brechen weniger schnell als ein starrer Ast.

Mit zunehmendem Alter der Bäume werden ihre Kronen immer größer und die lastaufnehmenden Äste (Hebelarme) immer länger. Nimmt der Astdurchmesser nicht in gleichem Maße zu wie die Astlänge, steigt die Astbruchgefahr tendenziell an, ohne dass es starre Versagensregeln gibt. Dieser Sachverhalt spielt auch beim Grünastabbruch eine Rolle, ebenso wie der Bereich der Astanbindung am Stamm, in dem die durch Eigengewicht und äußere Belastung des Astes entstehenden Hebelkräfte in den Stammkörper übertragen bzw. ein- oder umgeleitet werden. Solche, die Kraft senkrecht umleitende Verzweigungen sind statisch problematisch. Bäume können jedoch aufgrund ihres Adaptionsvermögens auf statische und dynamische Belastungen durch Kompensationsholzbildung sowie chemisch/physikalische Veränderung ihres Holzaufbaues reagieren und dadurch ihre Bruchsicherheit erhöhen.

### Biologische und mechanische Wirkungsmechanismen

Unter dem Begriff „Grünastbruch“ versteht man das „Abbrechen einzelner gesunder und vollbelaubter Äste bei Windstille – nach Perioden längerer Trockenheit und/oder starker Hitze“ [7]. Synonyme für den Begriff „Grünastbruch“ sind „Grünastabbruch“, „Spontanbruch“ oder „Sommerbruch“. Nach WESSOLLY und ERB [26] erfolgt der Abbruch des Grünastes vorwiegend in der zweiten Tageshälfte

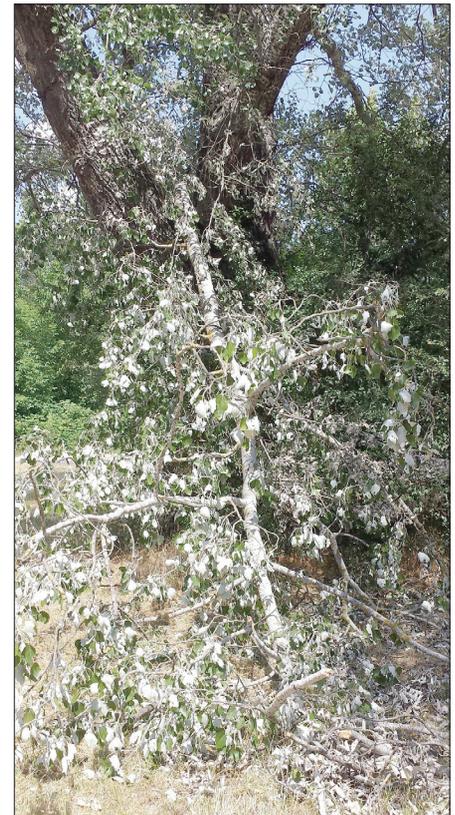
an heißen Tagen. An den Ästen sind vor dem Abbruch äußerlich keine Schäden erkennbar. Auch die Bruchstelle zeigt i. d. R. keine Anzeichen von Fäule oder anderer Defekte im Innern (SINN 2003). Der Grünastbruch ist somit „unvorhersehbar“.

Grünastabbrüche sind insbesondere von älteren Hybrid-Pappeln bekannt, können aber vereinzelt an anderen Gattungen wie Weiden (*Salix*), Kastanien (*Aesculus*) und Buchen (*Fagus*) auftreten [4, 21, 23]. Als besonders bruchgefährdet gelten Hybrid-Pappeln in der Alterungsphase. Aufgrund ihrer sehr weichen und grobfaserigen Holzstruktur gehören Pappeln mit mittleren Rohdichtewerten von etwa 0,45 g/cm<sup>3</sup>, bezogen auf eine Holzfeuchte von 12 bis 15 %, zu den leichtesten einheimischen Laubholzarten. Entsprechend gering sind ihre Festigkeitswerte (E-Modul) und damit auch ihre Tragfähigkeit [10, 11, 13].

Berücksichtigt man ferner, dass der mittlere Wassergehalt von frisch gefälltem Pappelholz im Kern bis zu 185 % betragen kann [11, 24], wird deutlich, dass, gemessen an der geringen Elastizität und Tragfähigkeit, das frische Pappelholz mit bis zu 840 kg/m<sup>3</sup> ein vergleichsweise großes Frischgewicht hat. Insbesondere die auf Volumenleistung gezüchteten Hybrid-Pappeln zeichnen sich durch ein rasches Wachstum (sog. Bastardwachstum) aus und können bereits nach wenigen Jahrzehnten Oberhöhen von 30 bis 40 m erreichen und entsprechend große Kronen mit weit ausladenden Ästen (statisch ungünstige, lange Hebelarme) ausbilden. Dies führt dazu, dass Pappeln in Kombination mit den artspezifischen geringen Elastizitäts- und Festigkeitseigenschaften ihres Holzes bei gleichzeitig hohem Frischgewicht (Nasskern) in besonderem Maße für Grünastabbrüche prädisponiert sind.

Zu den biologischen und mechanischen Wirkungsmechanismen bei der Entstehung von Grünastabbrüchen liegen bislang relativ wenige wissenschaftlich fundierte Quellen vor. Die meisten Veröffentlichungen beziehen sich auf die allgemeinen Eigenschaften der Pappel und ihres Holzes und widmen sich nicht dem Grünastabbruch an sich. Spezielle Quellen zu diesem Phänomen stützen sich überwiegend auf empirisches Erfahrungswissen und enthalten zum Großteil allgemeine Erklärungsversuche sowie ungeprüfte Hypothesen und Vermutungen.

Die zum Phänomen des Grünastabbruches in der einschlägigen Fachliteratur gefundenen Erklärungsansätze werden im Folgenden vorgestellt und in Bezug auf ihre Plausibilität/Nachvollziehbarkeit gewürdigt.



Zum Grünastbruch kommt es auch an sonnigen, windstillen Tagen. Das Bruchrisiko ist nachmittags am höchsten. Foto: Weihs

### Nachlassender Turgor (Zelldruck)

Als Turgor (auch Turgordruck) wird in der Pflanzenphysiologie und Zellbiologie der Druck des Zellsafts auf die Zellwand bezeichnet. Ist der osmotische Wert in der Zelle höher als außerhalb, nimmt sie Wasser auf. Der dadurch in ihrem Inneren ansteigende Druck spannt die umgebende Zellwand. Aufgefangen wird dieser Zelldruck durch den elastischen Gegendruck der Zellwand. Auf dem Zusammenspiel von Turgor und Wanddruck beruht die Festigkeit krautiger, nichtverholzter Pflanzen.

WESSOLLY und ERB [26] sowie SINN [21] stellen, ohne diese Aussage zu bewerten, fest, dass eine ganze Reihe von Fachleuten den Grünastabbruch damit zu erklären versucht, dass der Turgor bzw. der Wasserdruck im Holz infolge starker Verdunstung nachlässt und dadurch die Vorspannung im Ast kollidiert. Die Richtigkeit dieser Auffassung ist fragwürdig und bedarf der Überprüfung. Der Feuchtegehalt eines grünen Baumes liegt weit oberhalb des Fasersättigungspunktes, der je nach Holzart zwischen 22 % und 35 % Feuchtigkeit schwankt. Unterhalb des Fasersättigungspunktes ist die Feuchtigkeit im Holz in Form von gebundenem Wasser in den Zellwänden fixiert. Bei einem Feuchtegehalt oberhalb des Fasersättigungspunktes

nimmt Holz weitere Feuchtigkeit nur in Form von sog. „freiem Wasser“ in die Zellen und die Leitbahngefäße auf. In letzteren wirken überwiegend „ziehende“ Adhäsions- und Kohäsionskräfte, die keinen Druck ausüben.

Das „freie Wasser“ hat entsprechend nur einen geringen Einfluss auf die physikalischen und mechanischen Eigenschaften des Holzes. Im Vergleich dazu hat das Absinken des Feuchtegehalts unter den Fasersättigungspunkt (z. B. durch Trocknung von Bauholz) entscheidenden Einfluss auf seine Eigenschaften. Nach KLAUDITZ [15] ändert sich die Druckfestigkeit des Holzes bei der Trocknung von wassergesättigtem Holz in frischem Zustand bis zum Fasersättigungspunkt nicht. Senkt man den Feuchtegehalt durch Trocknung jedoch unterhalb des Fasersättigungspunktes ab, ist ein deutlicher Anstieg der Druckfestigkeit erkennbar. Dementsprechend unterscheidet KLAUDITZ [15] zwischen der biologischen Festigkeit (geringere Festigkeit im saftfrischen, grünen Holz) und einer technischen Festigkeit (erhöhte Festigkeit von getrocknetem Holz). Trockneres Holz, das z. B. in Form von Bauholz eine breite Verwendung in statisch relevanten Bereichen findet, zeigt also keine schlechteren, sondern bessere Elastizitäts- und Festigkeitseigenschaften als frisches Holz oberhalb des Fasersättigungspunktes. Der Versuch, den Grünastabbruch mit dem nachlassenden Zellturgor zu begründen, bedarf daher einer Verifizierung.

### Erwärmung der Astoberfläche

Wie beschrieben, verbessert der Baum das Tragvermögen seiner Äste durch die Vorspannung der äußersten Randfasern auf der Astoberseite (Zugseite) und durch Druckspannung auf der Astunterseite. Aufgrund der Tatsache, dass Holz ein schlechter Wärmeleiter ist, gehen WESSOLLY und ERB [26] davon aus, dass die Erwärmung der Astoberfläche durch direkte Sonneneinstrahlung oder durch Erwärmung der Umgebungsluft zu einer Aufgabe der äußeren Vorspannung führt. WESSOLLY und ERB [26] führen weiter aus: „Da der weit ausragende Ast unter einer permanenten Biegebelastung steht, werden die Fasern nach Abbruch ihrer Vorspannung an der Astunterseite gestaucht. Dies führt im günstigsten Fall zu einer Stauchungszone, im schlechtesten Fall zum Bruch an dieser Stelle. Die am höchsten beanspruchte Stelle befindet sich nicht unmittelbar am Stamm, sondern dort, wo der Übergang in den Ast abgeschlossen ist.“

Die Abnahme der Elastizitäts- und Festigkeitseigenschaften von Holz mit zuneh-

mender Temperatur wird von KOLLMANN [16] und von RANZ [20] beschrieben. KOLLMANN [16] stellte bei 40° C eine um bis zu 20 % geringere Festigkeit des Holzes fest als bei 20° C. Durch die Temperatur wird nicht nur die Holzfeuchtigkeit, sondern auch das elastische Verhalten von Holz beeinflusst. Die elastischen Eigenschaften werden durch die thermische Expansion und die damit verbundene Änderung der Gitterstruktur sowie durch die molekulare Wärmebewegung negativ beeinflusst [20]. Mit zunehmender Temperatur stellte RANZ [20] ab 20° C eine Abnahme der E-Module fest, die senkrecht zur Faser am stärksten ausfiel.

NIEMZ [18] ermittelte an kleinen Holzproben eine Reduktion der Zugfestigkeit bei 100° C im Vergleich zu 20° C um 49 %. Die Druckfestigkeit sank um 56 % und die Biegefestigkeit um 72 %. GÖTZ et al. [13] schließen aus ihren physikalisch/mechanischen Modellierungen nach der Finite Elemente Methode in Anlehnung an die Geometrie eines von GENEZ [9] vermessenen Pappelstarkastes, dass der Grünastbruch einen nicht durch äußere Spitzenlasten ausgelösten Schadensfall darstellt. Ihren Berechnungen nach stellen Schubspannungen, die durch eine temperaturbedingt nachlassende Zugholzwirkung im Horizontalast induziert werden, eine



Die Bruchstelle zeigt keine Anzeichen von Fäule oder andere Defekte im Innern.

Foto: Weihs

mögliche Ursache für diesen besonderen Versagensfall dar.

### Holzeigenschaften und Bastardwachstum

Nach MATTHECK [17] spielen die Holzstrahlen als radial verlaufendes Parenchym eine große Rolle für die Querfestigkeit der Bäume und ihrer Äste. Die Querfestigkeit kommt besonders an den Astanbindungen zum Tragen, wo die Holzstrahlen gleichsam den Astkragen „verbolzen“. Seiner Auffassung nach wird die Bruchsisicherheit nicht nur durch die wenig voneinander abweichenden Längsdruckfestigkeiten, sondern auch durch die deutlich stärker schwankende radiale Biegefestigkeit gesteuert, denn erst nach Überwindung der Querfestigkeit beginnt das Faserknicken auf der Druckseite des Astes durch Faserseparation. MATTHECK [17] schlussfolgert, dass aus diesem Grund Laubholzarten mit einreihigen, kleinen Holzstrahlen wie Pappeln und Weiden im Vergleich zu Baumarten, die mehrreihige und große Holzstrahlen ausbilden (z. B. Eiche), keine dauerhafte Holzfestigkeit zustande bringen können und folgerichtig eine erhöhte Bruchgefahr aufweisen. Diese Argumentation wird in den Folgejahren von BRELOER [2] und WÄLDCHEN [17] übernommen. Beide vertreten die Meinung, dass die Tatsache, dass ein Starkast weit auslädt, noch keine erhöhte Bruchgefahr begründet. Von einem erhöhten Bruchrisiko muss jedoch ausgegangen werden, wenn es sich um eine Pappel handelt. Sie teilen die Auffassung von MATTHECK [17], dass Hybrid-Pappeln aufgrund ihres starken Wachstums bei ungenügender innerer Optimierung zahlreiche Mikrodefekte aufweisen.

Entsprechend kommt es wegen der schlechten Holzstrahlenqualität und des bereits nach wenigen Lebensjahrzehnten kritischen Abschottungsvermögens bei den Hybrid-Pappeln relativ häufig zu Ast- oder Stämmingsbrüchen. GÖTZ et al. [13] führen zum Thema der schwachen Markstrahlenausbildung bei Hybrid-Pappeln aus, dass ein Nachlassen der Zugspannung auf der Astoberseite die in horizontaler Richtung axial wirkenden Schubspannungen reduziert und gleichzeitig die Schubspannungen in der Astunterseite erhöht. In diesem unteren Bereich befindet sich bei Ästen mit ausgeprägter Zugholzbildung das Mark mit den darin parallel zur horizontalen Ebene verlaufenden Holzstrahlen. Diese liegen somit in der kritischen Schubebene und sind nicht in der Lage, das Holz gegen die Scherkräfte zu verriegeln, wie sie es oberhalb und unterhalb davon vermögen.

## Ausformung und Stellung der Äste in der Krone

Die Auswertungen von Bruchversuchen mit einem Greifzug an 15 Ästen aus verschiedenen Kronenbereichen von vier kanadischen Hybrid-Pappeln (*Populus x canadensis*) von GENENZ et al. [9] zeigen, dass die Dehnungskurve bei 39 % der Äste ein absolutes und bei weiteren 39 % zumindest ein lokales Maximum an der späteren Bruchstelle aufweist. Sie schlussfolgern, dass der Bruch eines Astes durch eine Überstauchung der Fasern auf der Astunterseite eingeleitet wird, was einer maximalen Dehnung auf der Astoberseite entspricht. Von entscheidender Bedeutung für das Bruchverhalten stellte sich die Verteilung der Radien entlang der Äste heraus. Es konnte eine straffe lineare Abnahme des Astradius mit zunehmender Entfernung von der Astansatzstelle festgestellt werden. Bei 88 % der untersuchten Äste wurde an der Bruchstelle die größte oder zweitgrößte negative Abweichung von der bei linearer Verjüngung zu erwartenden Radien festgestellt. Die Äste waren also an den Bruchstellen überproportional dünn.

Je höher die Äste in der Baumkrone ansetzen, desto steiler (kleiner) ist der Astabgangswinkel. Mit zunehmender Ansatzhöhe in der Krone richten sich Äste immer mehr in die Lotrechte aus. Äste im unteren Kronenbereich wachsen dagegen eher waagrecht. Ebenso verändern die Äste von unten nach oben ihre Form von zylindrischer zu zunehmend konischer Form. Äste im unteren Kronenbereich sind gezwungen in die Länge zu wachsen, um ans Licht zu kommen und bilden dabei einen langen unbeblätterten basalen Astteil aus. Das gilt insbesondere für lichtbedürftige Arten wie die Pappel. Wenn bei geringem Dickenzuwachs die Länge stetig zunimmt, wird die Astform mehr und mehr zylindrisch.

Während die sich konisch verjüngenden Äste in den oberen Bereichen der Krone eher auf kontinuierliche Belastungen entlang des Astes optimiert sind, sind die zylinderförmigen unteren Äste auf eine Belastung an der Spitze ausgelegt. Dies zeigt sich auch daran, dass die oberen Äste relativ gleichmäßig über den Ast verteilte Seitenäste aufweisen, wohingegen die unteren Äste nur in ihrem apikalen Bereich Verzweigungen besitzen. Nach den Gesetzen der Biegemechanik bricht ein zylindrischer Stab grundsätzlich an der Verankerung, während ein konischer Stab in Abhängigkeit von Verjüngungsmodus und Art des Krafteintrages weiter außen bricht. Dieses Bruchverhalten wurde bei



Die Holzstruktur von Pappelholz ist nicht gemacht, große Lasten zu tragen. Ein hoher Wassergehalt trägt daher zum Bruch bei. Foto: Weihs

den Ästen der untersuchten Kanada-Pappeln (*Populus x canadensis*) von GENENZ et al. [9] bestätigt. Die gezogenen unteren Äste brachen in der Nähe des Astansatzes, die Äste in der Oberkrone knapp hinter dem Ansatz des Zugseils.

Auch WESSOLLY und ERB [26] beschreiben den Grünastabbruch als Abbruch eines eher horizontal wachsenden Astes. Ebenso vertritt SINN [21] die Auffassung, dass es sich bei den bruchgefährdeten Ästen meist um untere, waagrecht gewachsene Äste handelt, die zum Teil auch aus dem Kronenmantel hervorragen. Die waagrecht Aststellung trägt zur Instabilität bei, da hierdurch neben einer erhöhten Biegebelastung das Gewichtskraftmoment sein Maximum erreicht, während es bei einem senkrecht wachsenden Ast praktisch gleich null ist. Im Vergleich zum Grünastbruch sind Windbruchschäden vor allem bei exponiert stehenden Bäumen zumeist in den oberen und äußeren Kronenbereichen zu verzeichnen.

## Modulprinzip als Überlebensstrategie des Baumes

SHIGO [22] weist darauf hin, dass die unteren Kronenäste aufgrund ihres hohen Anteils an zu versorgendem Astholz bei gleichzeitig geringer photosynthetischer aktiver Blattfläche eine schlechte oder sogar negative Energiebilanz aufweisen. Äste im unteren Kronenbereich brechen daher nicht nur als Ganzes, sondern auch bei einer geringeren Belastung, während der Baum in der Oberkrone nur die Astspitzen verliert, die durch Neuaustrieb ein schnelles Wiedererreichen

der ehemaligen Kronenausdehnung gewährleisten. Ähnliche Schlussfolgerungen ziehen HÖSTER et al. [14] aus ihren Untersuchungen an *Populus „Robusta“*; GENENZ et al. [9] aus ihren Untersuchungen an kanadischen Hybrid-Pappeln (*Populus x canadensis*) sowie PIETZARKA et al. [19] an Eibe (*Taxus baccata*). Danach stellt die Abgliederung von Zweigen und Ästen, die für den Kronenaufbau und die Photosyntheseleistung von untergeordneter Bedeutung sind, einen normalen Vorgang während des Baumwachstums dar. Durch das Abwerfen/Abbrechen von unproduktiven Ästen stellt der „Gesamtorganismus Baum“ neben der Verringerung des Windlasteintrages eine möglichst hohe Produktivität der gesamten Krone sicher. Es ist physiostrategisch sinnvoll, wenn sich der Baum derjenigen Zweige und Äste entledigt, die keinen positiven Beitrag zur Nettoassimilation mehr leisten und deren Integration in das Gesamtsystem unnötig geworden ist. SINN [21] bezeichnet dieses Verhalten von Bäumen als „Modulprinzip“. Der Baum trennt sich zunächst von seinen schwächsten Gliedern (Zweigen, Ästen), um als Gesamtorganismus zu überleben.

## Schlussfolgerungen

Zusammengefasst lässt sich festhalten, dass es sich beim Grünastabbruch um ein komplexes, vielschichtiges Phänomen handelt, das sich sicherlich nicht nur durch eine Entstehungsursache erklären lässt. Prädisponierend dürften sich artspezifisch schlechte Elastizitäts- und Festigkeitseigenschaften des Holzes auswirken. Abgesehen von der nicht verifizierten Hypothese des nachlassenden Zelldruckes, dürften alle der oben angesprochenen Faktoren einen mehr oder weniger starken Einfluss ausüben, wobei die Annahme, dass die zunehmende Erwärmung der Astoberseite, an der die Eigenlast des Astes durch die Vorspannung der äußersten Randfasern abgetragen wird, aufgrund des erwärmungsbedingten Absinken des E-Moduls zu einem Versagen der Vorspannung und damit zum Bruchversagen des Astes führt, durch das Vorliegen eindeutiger Untersuchungsergebnisse verifiziert und damit am ehesten belastbar ist.

Literaturhinweise zu diesem Beitrag sowie zum Teil 2 finden sich auf S. 39



Egal, wie herum Sie die QBB drehen, es bleibt 1 A Qualität

Qualitätsgemeinschaft Baumpflege und Baumsanierung e.v.

Werden Sie Mitglied unter [www.qbb-ev.de](http://www.qbb-ev.de)