

Die VTA-0,32-Restwandstärkenregel, wissenschaftlich unhaltbar und praktisch unbrauchbar

Von Prof. Dr. Franz Gruber, Institut für Forstbotanik und Baumphysiologie der Universität Göttingen, AG Dendrologie, Baumpflegerie und Waldbotanik

1. Problemstellung und Untersuchungen

Bäume sind vielen exogenen Faktoren ausgesetzt, so dass sie unter besonderen Umständen und Belastungen nicht „verkehrssicher“ sind und daher eine Gefahr bzw. Gefährdung für Leib und Leben sowie Gütern darstellen können, insbesondere wenn es zum Baumbruch kommt. Starke Winde und Stürme sowie Eis- und Schneelasten können völlig vitale und holztechnologisch intakte Bäume brechen oder werfen, wobei die exogene Belastbarkeitsgrenze eines Baumes in Abhängigkeit von Baumform, Alter und Standort sehr weit streuen kann. Bei Bäumen mit Holzdefekten ist daher das/die Bruchrisiko/-festigkeit *ceteris paribus* umso höher/geringer, je größer der Holzdefekt ist und je stärker die exogene Belastung am gegebenen Standort wirkt. Bezüglich der Baum-Verkehrssicherheit hat die sehr umstrittene (Wessolly und Erb 1998; Kane and Ill 2003, DBU 2003, Gruber 2004) so genannte „0,3-VTA-Restwandstärken-Bruchsicherheitsregel voll bekrönter Bäume (kurz „VTA-0,3-Regel““ (Mattheck und Breloer 1993, Abb. 1) Einzug genommen, welche seitdem von Sachverständigen und Gerichten als Bruchsicherheitskriterium angewendet wird. Sie besagt, dass Bäume bruchsicher wären, wenn sie noch nicht zu 70 % hohl sind (Mattheck 1995, Mattheck and Kubler 1997). Entsprechend der Empfehlung eines DFG-Gremiums wurde nun die „wissenschaftliche Gemeinschaft“ aufgerufen, zur inhaltlichen Klärung der umstrittenen VTA-Versagenskriterien beizutragen (DEGA 2006).

Seit Jahren wurden vom Autor gebrochene Bäume als Solitäre und in Waldbeständen (Fichte, Buche, Tanne, Lärche, Eiche, Esche) im Solling, Harz, Göttinger Raum und im Schwarzwald untersucht. Dabei wurde jeder Baum an seiner Bruchstelle hinsichtlich der Holzqualität und der Defektstelle (Form) analysiert. In vielen Fällen wurde aber direkt oberhalb und unterhalb der Bruchstellen je eine Stammscheibe mit der Motorsäge herausgetrennt, um die Stammscheiben und Defektstellen mittels der Resistografie zu überprüfen.

2. Die Bruchsicherheitsregeln von Wagener (1963) und Mattheck und Breloer (1993)

Die 30%-Restwandtheorie wurde erstmals von WAGENER 1963 als 70 % *Bruchsicherheits-Höhlungsstheorie* ($d/D < 0,7$) an amerikanischen Nadelbäumen formuliert. Sie ist wissenschaftlich jedoch nicht begründet und stellt nach Wagener 1963 einen „aus Felderfahrung gewählten Durchschnittswert“, aber keinen Grenzwert dar. Diese Regel wurde offensichtlich nur in die 30%-Restwandstärkentheorie ($t/R = 0,30$) umbenannt und mit einem der Darstellung nach sehr eindeutigen Feldstudienresultat (Abb. 1) untermauert. Danach sollen voll bekrönte Bäume, *unabhängig von der Spezies, vom Alter, der Höhe, vom h/D-Verhältnis, von der Kronenarchitektur, vom Standort und von der exogenen Belastung als bruchsicher* gelten, wenn sie an jeder Stelle ihrer Stammachse nur das ideale Querschnittsbild von $t/R > 0,32$ bzw. $d/D < 0,68$ aufweisen (s. Mattheck und Bethge 2004); nicht bruchsicher wären Bäume mit $t/R < 0,32$.

Beachtlich an der VTA-Graphik ist die *scharfe obere konstante Grenze bei $t/R = 0,32$* und dass *weltweit* keine gebrochenen Bäume mit $t/R > 0,32$ gefunden worden sein sollen. Mattheck et al 1994 leiten aber aufgrund dieser Darstellung ab („Feldstudie ist der unmittelbare Blick auf die unverfälschte Natur“), dass Bäume mit einer Restwandstärke $t/R > 0,32$ *durch Biegebelastung nicht brechen können* und bezeichnen diese VTA-0,32-Sicherheitsgrenze als „*offensichtliche Naturkonstante*“ (Mattheck et. al. 1993a) und „*Allgemeingültigkeitsregel*“. Könnten nun aber durch natürliche Belastung gebrochene Bäume mit $t/R > 0,32$ nachgewiesen werden, wäre die Regel bereits hinfällig.

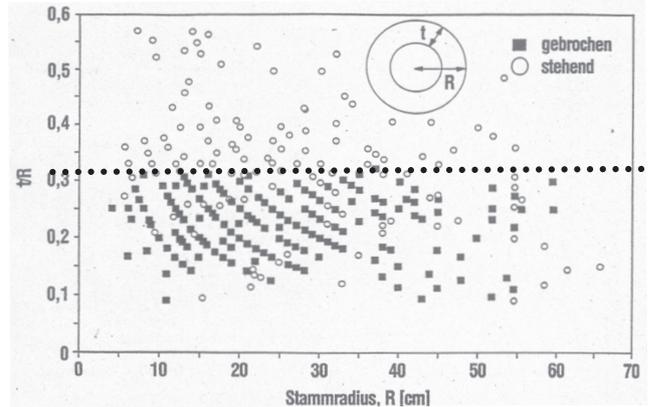


Abb. 1: Gebrochene und stehende Hohlbäume (Aus Mattheck und Breloer 1993, s. a. Mattheck et al. 1993b, Mattheck 1995, Mattheck and Kubler 1997) der VTA-0,32-RWS-Graphik. Wieso können Bäume oberhalb $t/R = 0,32$ nicht brechen? Welchen maximalen Belastungsstärken waren die Bäume ausgesetzt? (Abdruck mit freundlicher Genehmigung von LÖLF)

3. Ergebnisse

3.1. Einflussfaktoren auf die Biege- und Bruchfestigkeit eines Baumes

Die Bruchfestigkeit BF bzw. der Baumbruch BB hängen nicht nur von einem (idealen) Höhlungsgrad bzw. t/R -Wert ab, sondern von vielen bauminternen „endogenen“ Eigenschaften BIEIG (Zustand), dem Baumdefekt DF selbst (Form, Lage, Größe) und insbesondere den exogenen Belastungen EXOBL ab.

Bauminterne Eigenschaften (BIEIG) sind Baumgröße, Kronengröße und Kronenzustand, Stammform, Holzart, Holzqualität, Baumeigengewicht (incl. Frucht-/Zapfengewicht) über der Schwachstelle, Kronenschwerpunkt etc. Bei der *Schwach-/Defektstelle* sind insbesondere die intakte Restholzquerschnittsform und -fläche und die Lage der Schwachstelle von Interesse. *Exogene Belastungen und Grenzbelastbarkeit (EXOBL)* sind z. B. Regen, Schnee, Eis, Wind und Kombinationen davon.

Wollte man die Bruchsicherheit eines Baumes einschätzen, wären neben seinem Zustand (A und B) stets die exogenen Belastungen und die Belastbarkeiten (C) zu kalkulieren. Die im Freien auftretenden Baumbrüche sind nämlich immer das Resultat aus dem *Zusammenspiel von Baumzustand (endogene Belastung, Defekt) und exogener Belastung* zum Zeitpunkt des Baumbruchs. Der Baumbruch bei bzw. durch „Windstille“ (ohne exogene Belastung) ist faktisch nicht existent, er ist nur scheinbar ein „windstiller Bruch“, weil defekte Bäume bereits bei den vorausgegangen Belastungen vorgeschädigt/vorgebrochen wurden.

Die Feststellung der Verkehrssicherheit eines Baumes muss daher garantieren, dass ein Baum bei gegebener Form (vorhandener Defekt und Baumform) unter gewöhnlichen Belastungen bruchfest ist.

3.2. Biege-/Bruchfestigkeiten ideal hohler Stammachsen

Für den idealen Hohlbaum sowie den Hohlbaum mit einseitiger Öffnung können über verschiedene Holzbiegefestigkeitsformeln (Wagener 1963, Coder 1989, Smiley and Fraedrich 1992, Matheny and Clark 1994) die Festigkeitseigenschaften bzw. *Festigkeitsverluste* in Abhängigkeit vom Höhlungsgrad bzw. der idealen Restwandstärke näherungsweise abgeschätzt werden (Abb. 2). Nach Mattheck et al. (2006) soll für brechende Hohlstämmen das Spaltbuch-Schlauchknicken-Modell gelten. Die Stresskurve (Fig. 4) zeigt dort aber auch keinen abrupten Spannungswechsel bei $t/R = 0,32$, was die fragliche Abbildung 1 (bruchsichere und bruchunsichere Bäume) rechtfertigen könnte (vergl. Abb.3).

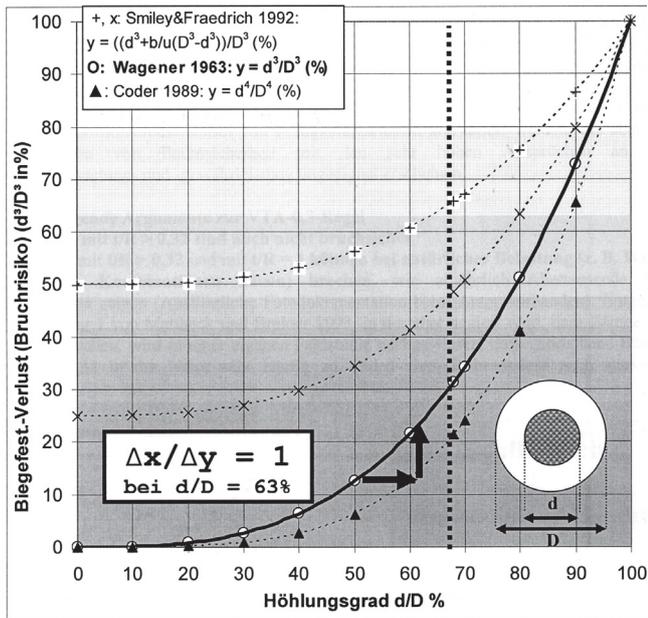


Abb. 2: Zusammenhang zwischen Hohlungsgrad und dem Verlust an Biegefestigkeit bei idealen und einseitig geöffneten (b/u) Hohlstämmen. D = Holzdurchmesser, d = Hohlungsdurchmesser, b/u = Stammöffnungsfaktor, b = Breite der Stammöffnung, u = Stammumfang. Je nach Formel (d^3/D^3 bzw. d^4/D^4) ist bei $d/D = 63\%$ (bzw. 68%) lediglich ein Proportionalitätsübergang: Unter-/Überproportionalität des Festigkeitsverlustes.

Geht man von einem an den Standort angepassten nicht hohlen Idealbaum aus (höchste Vitalität, intakter Stamm, maximale Krone), besitzt dieser Baum, obwohl er auch unter natürlichen (außergewöhnlichen) Belastungen (z. B. starker Sturm, hohe Schneelast) gebrochen werden kann, seine *maximale natürliche individuelle Biege-/Bruchfestigkeit* ($MAXNIBF_{INT}$). Die Grenze, bei der dieser Idealbaum bricht, soll/muss als die *natürliche Bruchfestigkeitsgrenze*, Belastungen bis zur Grenzbelastung als *gewöhnliche Belastungen* definiert werden. Die Grenzbelastung ist von Baumart zu Baumart und innerhalb einer Baumart (Herkunft, ontogenetisches Stadium, Stammform, Kronenform etc.) individuell unterschiedlich hoch, da neben Form und Proportionsunterschieden die verschiedenen Bäume bezüglich eines Einheitsstammquerschnittes sehr unterschiedliche Biegefestigkeiten (DIN 52186) aufweisen. Dort liegen auch die baumspezifisch bedingten höchst möglichen natürlichen Bruchsicherheiten (*volle natürliche Bruchfestigkeit*), welche mit 100% definiert werden. Leicht verständlich ist, dass ein Baum (*ceteris paribus*) umso mehr an Bruchfestigkeit verliert bzw. sein Bruchrisiko steigt, je größer der Defekt ist (Abb. 2). Bei einem Hohlungsgrad $d/D = 0,70$ bzw. einer Restwandstärke von $t/R = 0,30$ ist die Biege-/Bruchfestigkeit des idealen Hohlbaumes nach der Wagener-Formel $1-d^3/D^3$ (Wagener 1963) bereits auf $65,7\%$ gesunken bzw. um ca. $34,3\%$ reduziert. Das Bruchrisiko ist daher im Vergleich zum voll intakten nicht hohlen Idealbaum schon beachtlich erhöht, d. h. er bricht bereits bei geringerer Belastung. Aus den physikalischen Biege- und Bruchgesetzmäßigkeiten (Abb. 2) lässt sich kein Bruchsicherheitsgrenzwert mathematisch definieren. Es können allenfalls Proportionalitätswechsel von Festigkeitsverlusten konstatiert werden, die aber für die Definition von Baumsicherheit mit den sehr hohen Ansprüchen an die Sicherheitserwartung und -gewährleistung ungeeignet erscheinen.

3.3. Widerlegende Argumente zur VTA-0,3-Regel

3.3.1. Bäume mit $t/R > 0,32$ sind auch nicht bruchsicher

Auch Bäume mit $t/R > 0,32$ und mit $t/R = 1$ können bei natürlicher Belastung (z. B. Wind, Schnee, Eis, Kombinationen davon) *brechen*, wie alljährlich abertausende von Naturbeispielen zeigen (ausführliche Fotodokumentation beim Autor vorhanden). Entgegen der *Abbildung 1* (Mattheck und Breloer 1993), in der aber negiert wird, dass Bäume mit $t/R > 0,32$ brechen, wird in einer eigenen Feld-

studie nachgewiesen, dass gebrochene Bäume mit $t/R > 0,32$ in der Natur sehr häufig zu finden sind, insbesondere nach stärkeren Belastungen (Abb. 3 a).

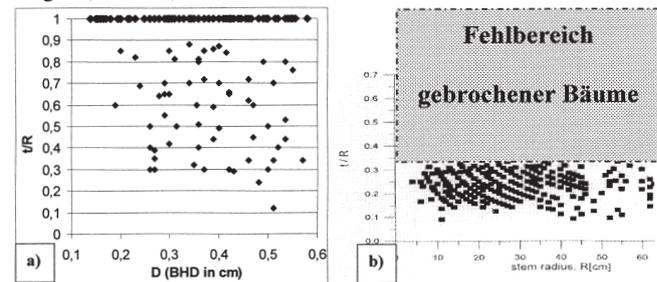


Abb. 3: Vergleich gebrochener Bäume aus Naturbeobachtung
a) Eigene Untersuchungen hier mit Schwerpunkt an Fichte (*Picea abies*) als Solitäre und in Beständen mit $0,12 \leq t/R \leq 1$ (t = Restwandstärke, R = Stammradius).
b) Nach VTA weltweiten Studien an vielen Baumspesies, darunter auch *Picea*.

In der *Abbildung 3 a*, in der nur gebrochene und 164 eingehend untersuchte Bäume mit $t/R > 0,11$ dargestellt sind, kann bezüglich des Baumbruchs keine kritische t/R -Bruchgrenze gezogen werden. Somit wird auch deutlich, dass Bäume vollkommen unabhängig von Defekten (Bäume mit $t/R = 1$) und allein in Abhängigkeit der Belastung versagen können. Bäume warten also nicht bis sie 70% hohl sind, um erst dann zu brechen, sondern sie werden gebrochen, wenn auf sie die jeweils dazu notwendige Grenzbruchbelastung wirkt. Im Vergleich zur eigenen Feldstudie mit gebrochenen, zentralfaulen und Hohlbäumen (Abb. 3 a) ist die VTA-0,3-Graphik (Abb. 3 b) gegenübergestellt, wo der große Fehlbereich gebrochener Bäume mit $t/R > 0,32$ auffällig ist.

Die „allgemeingültige und naturkonstante VTA-0,3-Bruchsicherheits-Regel“ ist damit widerlegt und zu verwerfen. Eine derartige Grenzregel ohne jegliche Festsetzung der Belastungsgrenze und nur aufgrund eines einzelnen t/R -Wertes kann unmöglich existent sein. Sie ist weder aus Naturbeobachtung noch wissenschaftlich (s. *Abb.-2*) begründbar.

Die *Bedeutung der Kronenarchitektur* und der *Baumspesies* beim Windbruch, welche bei der VTA-0,32-Regel keine Rollen spielen sollten, kann zum Beispiel an gebrochenen Fichten aber häufig daneben stehenden Lärchen beobachtet werden. Lärchen mit ihrer nur sommergrünen lockeren und winddurchlässigen Kronenbelaubung sind gegen Windbruch weitaus weniger empfindlich als die dicht benadelten, auch wintergrünen Fichten, insbesondere bei den gefährlichen Winterstürmen. Denn die Lärche besitzt eine windlastgünstige Krone im Vergleich zur windlastungünstigeren Krone der Fichte. Darüber hinaus zeigt sie bei gleichem BHD kleinere Baumhöhen, niedrigere h/D -Werte (s. Schober Ertragstafel 1975), höhere Biegefestigkeiten, e-Module und härteres Holz. Für einen natürlichen Hochgebirgsbaum sind derartige Eigenschaften von Vorteil und auch notwendig. Die Lärche verfügt daher im Vergleich zur Fichte auf gleichem Standort und bei gleicher Baumform (Größe) i. d. R. über eine weitaus höhere Bruchsicherheit, d. h. um die Lärche zum Bruch zu bringen, ist eine viel höhere exogene Belastung (z. B. Windgeschwindigkeit) nötig.

3.3.2. Bäume mit $t/R < 0,32$ können bruchsicher sein

Auch viele Bäume mit vollen Kronen, insbesondere ältere Bäume mit $t/R < 0,32$ sind in der Natur als stehende Bäume vorhanden und damit als „bruchsicher“ einzustufen, sofern keine Grenzdefekt überschreitenden Belastungen auf sie wirken. Dies geht selbst aus der VTA- t/R -Graphik (*Abb. 1*) hervor, in der ein relativ großer Anteil stehender, bruchsicherer Bäume mit $t/R < 0,32$ abgebildet ist. Ältere und alte Bäume, die ihre maximale Baumhöhe und ihr maximales Kronenvolumen erreicht bzw. überschritten haben, können *bei gleicher Belastung* umso hohler sein, je dicker (älter) sie sind. Dass also alte dicke Bäume auch mit $t/R = 0,1$ bzw. $t/R < 0,1$ entgegen der VTA-0,3-Regel (s. Mattheck und Bethge 2004) einen hohen Grad an Bruchsicherheit aufweisen können (s. Wessolly und Erb, 1998), ist leicht verständlich. Aufgrund des großen Überschneidungsbereiches zwischen stehenden (= bruchsicheren, unterer Grenzbereich bei $t/R = 0,09$) und gebrochenen (= nicht bruchsicheren, oberer Grenzbereich bei

reich bei $t/R = 0,32$ Bäumen der VTA-0,3-Graphik (s. Abb. 1) zwischen $0,09 < t/R < 0,32$ wäre im unterstellten Falle der Gültigkeit der Regel (ist aber keinesfalls gegeben) außerdem im praktischen Fall zwischen bruchsicherem und bruchunsicherem Baum nicht zu unterscheiden. Alle bruchsicheren Bäume mit $t/R < 0,32$ würden bei Anwendung der starren Regel daher der Kette zum Opfer fallen; dabei bliebe auch der wichtige Aspekt des Baumschutzes unbeachtet, was dann eine solche Regel wertlos erscheinen ließe (keine starre, sondern jeweils eine individuelle Beurteilung ist notwendig).

3.3.3. Weitere Feststellungen und Argumente gegen die VTA-0,32-Regel

a) Mit Veröffentlichung der Graphik zur VTA-h/D-50-Grenzregel (s. Mattheck et al. 2001), widerlegen die Autoren selbst die VTA-0,32-Regel. In dieser Graphik sind nämlich 662 versagte/gebrochene Bäume mit $t/R = 1$ abgebildet, die in der Abbildung 1 negiert werden.

b) Außerdem wäre zu bedenken, dass selbst im unterstellten Falle der Gültigkeit der 0,3-Regel ideale Hohlbäume sehr selten vorkommen und die Regel auf die vielen anderen Defektmuster nicht übertragbar ist, wodurch die VTA-Regel praktisch nahezu bedeutungslos wäre. Auch die Übertragung der Regel auf Bäume mit exzentrischen Höhlungen und multiplen Stammöffnungen (Mattheck et al. 1994a) ist nicht nachvollziehbar.

c) Die Belastung (endogene oder auch exogene) des Baumes wird nicht einbezogen, so dass unmöglich eine kritische Bruchsicherheitsgrenze ohne Benennung der Belastungsstärke definiert werden kann. Dass darüber hinaus eine solche Bruchsicherheitsgrenze *bei jedem Baum* unabhängig des Alters, der Baumart, der Baumform, des Standortes etc. gleich bei $t/R = 0,32$ sein soll (Reduzierung des evolutionären Polymorphismus auf Monomorphismus/Uniformierung), ist nicht nachvollziehbar.

d) Auch die sonstigen Standortbedingungen (z. B. Exposition, Schutzlage) werden nicht mit einbezogen, so dass bei Veränderungen des Umfeldes (z. B. Beseitigung des Schutzes) ganz andere Belastungssituationen gegeben sind.

e) Die zu wenig erfassten Bäume in der Abbildung 1 sind nicht repräsentativ, weil keine gebrochenen Bäume mit $t/R > 0,32$ aufgenommen bzw. abgebildet worden sind. Würde man nämlich z. B. nur die in der Abbildung 3 a gefundenen gebrochenen Bäume mit einzeichnen, wäre irgendeine t/R -Grenze überhaupt nicht und eine $t/R = 0,32$ erst recht nicht definierbar. Außerdem scheint die Verteilung (s. Fig 1. Mattheck et al. 2006) nicht der natürlichen Verteilung von stehenden Hohlbäumen zu entsprechen. Denn dass in der Natur die meisten Hohlbäume gerade solche mit $t/R = 0,65-0,80$ sein sollten, ist nicht zu erwarten.

f) Die Abbildung 1 zeigt, dass voll bekronte Bäume mit $t/R < 0,32$ bruchsicher sein können und nicht nach der Spaltbruch-Schlauchknicken-Theorie (Mattheck et al. 2006) versagt haben. Es wurde außerdem nicht nachgewiesen, dass ein nach VTA als „nicht bruchsicher“ eingestuftes Baum mit $t/R = 0,31$ im Vergleich zu dem gleichen nach VTA aber bruchsicheren Baum mit $t/R = 0,33$ einen derart enorm höheren Festigkeitsverlust aufweist, womit die scharfe Grenzregel (Abb. 1) vielleicht gerechtfertigt werden könnte.

g) Bei der VTA-0,32-Regel spielt die „volle Krone“ der Grenzhohlbäume eine zentrale Rolle. Die volle Krone (Baum bis zum Boden belastet? Baum mit halbem, dreiviertel Schaft? Siehe aber die Comic-Bäume von Mattheck et al. (1993-2004) mit „halben – viertel“ Kronen) wird aber nicht definiert.

h) Der Vergleich von „Schiffchen-“ und „Schlauchknickenmodell“ mit der Bruchbelastbarkeit eines Baumes ist wenig hilfreich, weil weder Schiff noch Schlauch einem Baum ähnlich sind.

i) Die Fraktometrie (s. Mattheck & Breloer 1993) ist ungeeignet zur Feststellung der Bruchsicherheit von Bäumen (s. Gruber & Hagemann 2000). Mit dem Fraktometer ist die Prüfung der Biegefestigkeit von Holz in Faserlängsrichtung nicht möglich.

j) Die VTA-Regeln sind zudem nicht nachvollziehbar, weil das Datenmaterial und die Methoden unzureichend beschrieben werden. Eine derart scharfe Grenzregel (s. Abb. 1) birgt außerdem die große Gefahr, dass man sich einerseits auf die volle Bruchsicherheit von Bäumen mit $t/R > 0,32$ verlässt, was aber nachweislich nicht geraten werden kann (s. Abb. 3a, Verletzung der Verkehrssicherheit durch mangelnde Zuverlässigkeit) und dass andererseits dadurch vollkommen bruchsichere Bäume mit $t/R < 0,32$ als Gefahrenbäume eingestuft werden könnten, die man dann unnötig manipulieren oder

entfernen würde (Verletzung des Baumschutzes).

4. Diskussion, Impulse zu Lösungsansätzen und Notwendigkeiten

Entgegen der als allgemeingültige Naturkonstante verkannten VTA-0,3-Regel können *vollkommen intakte und ideal-hohle Bäume jeden Höhlungsgrades* mit normalem Bauplan und phänotypischer Form *bei Belastung gebrochen* werden. Dieser Nachweis konnte an vielen Beispielen bereits in wenigen Regionen (Schwarzwald, Harz, Göttinger Raum, Südniedersachsen) innerhalb kurzer Zeiträume sowohl an Solitär- als auch an Bestandesbäumen geführt und kann alljährlich an unzähligen Beispielen durch Naturstudien an gebrochenen Wald-, Landschafts- und Stadtbäumen von jedermann selbst beobachtet werden (s. Abb. 3 a).

Trotz der eindeutigen Widerlegung der VTA-0,3-Regel muss die Frage gestellt werden, wie es zu einem solchen Fehlbereich gebrochener Bäume (Abb. 3 b) bei einer weltweiten (wissenschaftlichen) Studie kommen kann. Eine Möglichkeit wäre, dass tatsächlich keine gebrochenen Bäume mit $t/R > 0,3$ gefunden worden sind, weil trotz weltweiter Feldstudie nur Bäume angetroffen wurden, die durch geringere Belastungen (Baumbruchbelastungen $< P_{t/R>0,3}$) gebrochen wurden. Dann ist aber die Graphik keinesfalls repräsentativ und die Folgerungen daraus sind nichtig. Außerdem widerspricht die h/D=50-Graphik (Mattheck et al. 2001) bereits diesem Fehlbereich. Hier andere auf der Hand liegende Möglichkeiten der Erklärung soll hier jedoch nicht weiter eingegangen werden (s. Kap. 3.3.3. Absatz a).

Die Verkehrssicherheit eines Baumes (hier Bruchsicherheit) festzulegen, ist eine höchst komplexe und sehr schwierige Aufgabe, zumal auf der einen Seite eine sehr hohe Verkehrssicherheitserwartung und -gewährleistung mit präziser Bestimmbarkeit an verschiedensten Baumarten unterschiedlicher Festigkeiten, unterschiedlichster Formen in unterschiedlichen Altern, auf verschiedensten Standorten und unter sehr unterschiedlichen Belastungen und Belastungsstärken gestellt wird, aber auf der anderen Seite auch die große Bedeutung des *Baumschutzes* gleichwertig zur Geltung kommen muss, so dass die Herstellung „übertriebener“ Baumsicherheiten (z. B. unnötige Kappungen, Seilsicherungen etc.) stets zu vermeiden ist (Effizientes Baumverkehrssicherheitsmanagement). Bruchsicherheit ist z. B. nach ZTV-Baumpflege (1992, 2001, 2006) definiert: „Artspezifische Fähigkeit und Beschaffenheit des Baumes, dem Bruch von Stamm und Kronenteilen bei äußeren Einflüssen ausreichend zu widerstehen (1992). „Ausreichende Fähigkeit dem Bruch von Stamm- und Kronenteilen beim Einwirken von Lasten (z. B. Sturm, Schnee, Eis und Eigengewicht) zu widerstehen (2006). Die ständig wechselnden Inhalte zeigen die Unklarheit, Unsicherheit und Schwierigkeit, Bruchsicherheit zu definieren. Die Begriffe sind schwammig und daher wenig brauchbar, weil sie nicht festlegen, unter welchen Umständen bzw. spezifischen Belastungsstärken ein Baum „bruchsicher“ ist. Bruchsicherheit ist danach ein vollkommen dehnbarer Begriff, der *Rechtsunsicherheit* schafft. Auch beim VTA-Konzept sind die Begriffe „Bruchsicherheit“ und „Standortsicherheit“ – obwohl sie dort die zentralen Begriffe der Verkehrssicherheit von Bäumen darstellen – nicht definiert, außer durch die nicht nachvollziehbaren VTA-Grenzregeln $t/R = 0,32$, $h/D = 50$ und die VTA-Rw-R-Regel.

Aufgrund der Tatsache, dass jeder frei stehende intakte Baum durch natürliche exogene Belastung versagen kann und dass *ceteris paribus* ein intakter Baum immer bruchfester ist als ein Baum mit Defekt, macht eine zu allgemeine Verkehrssicherheitsdefinition wenig Sinn. Auch die Orientierung allein am Defekt macht deshalb und weil die Baumproportionen in Anpassung an die Natur und Umwelt und unabhängig des Defektes sehr variabel sein können und darüber hinaus der Baumbruch entscheidend von der exogenen Belastung bestimmt wird, keinen Sinn, was das folgende Tabellenschema 1 verdeutlicht.

| Defekt | Exogene Belastung \leq GDBL | Verhalten: Bruchsicher | Exogene Belastung \leq GDBL | Verhalten: Baumbruch |
|------------------|----------------------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| ohne, $vR = 1,0$ | sehr große ($P_{0,1}$) gw BL | Noch bruchsicher | sehr große ($P_{0,1}$) agw BL | Baumbruch! |
| klein | groß | Noch bruchsicher | > groß | Baumbruch! |
| $t/R = 0,8$ | große ($P_{0,3}$) gw BL | Noch bruchsicher | große ($P_{0,3}$) gw BL | Baumbruch! |
| mittel | mittel | Noch bruchsicher | > mittel | Baumbruch! |
| $t/R = 0,5$ | mittlere ($P_{0,5}$) gw BL | Noch bruchsicher | mittlere ($P_{0,5}$) gw BL | Baumbruch! |
| groß | gering | Noch bruchsicher | > gering | Baumbruch! |
| $t/R = 0,3$ | geringe ($P_{0,7}$) gw BL | Noch bruchsicher | geringe ($P_{0,7}$) gw BL | Baumbruch! |
| sehr groß | sehr geringe | Noch bruchsicher | > sehr gering | Baumbruch! |
| $t/R < 0,2$ | sehr geringe ($P_{0,9}$) gw BL | Noch bruchsicher | sehr geringe ($P_{0,9}$) gw BL | Baumbruch! |
| *) $vR < x$ | Keine | Noch bruchsicher | Keine | Baumbruch d. Eigengewicht |

Tabellenschema 1: Allgemeines Baumverhalten (am gleichen normalen Modellbaum) in Abhängigkeit von nur 2 Parametern: Baumdefekt (ideale Höhlung) und exogene Belastung.

*) Der endogene Grenzdefekt liegt baumarten-, alters-, holz- und baumformspezifisch sehr niedrig (häufig weit unter $x = 0,1$ wie Naturbeobachtungen zeigen), ist aber aufgrund der ständig wirkenden exogenen Belastungen nicht aus einfachen Feldstudien genau ermittelbar.

P = Belastungsstärke, gw BL = gewöhnliche Belastung, agw BL = außergewöhnliche Belastung, GDBL = Grenzdefektbruchbelastbarkeit.

Nach den vorgestellten Ausführungen kommt man bei der Definition der Verkehrssicherheit um die *exogene Belastung* (Art, Stärke etc.) nicht herum, weil diese letztlich bestimmt, ob ein Baum bricht. Dabei ist hervorzuheben, dass es selbst für den intakten Baum, abgesehen von der Baumart und dem Baumalter/Baumgröße nicht sinnvoll wäre, eine generelle fixe Belastungsgrenze (z. B. Windstärke) festzulegen, da Bäume je nach Standort unterschiedlich adaptiert (z. B. unterschiedliche Stamm-, Kronenform, Baumhöhe etc.) sind, und daher sehr unterschiedlich hohe Grenzbelastungen tolerieren, d.-h., dass sie *ceteris paribus* trotz gleichen Defektes sehr unterschiedliche Bruchsicherheiten besitzen können. Ein Baum ist daher stets individuell in seiner Gesamtheit und standortsgemäß auf seine Bruchfestigkeit/-sicherheit einzuschätzen (*standortspezifische Individual-Bruchsicherheit*). Ein einzelner Parameter reicht dazu nicht aus (s. Tabellenschema 1).

Ebenfalls muss der *intakte Baum* Ausgangspunkt der Betrachtung sein. Einen *defekten Baum* (z. B. mit $t/R = 0,3$ bzw. $d/D = 0,7$) als Maßstab für Sicherheit festzulegen, ist – zumal aus Naturbeobachtung und wissenschaftlich nicht belegbar – nicht plausibel und auch nicht verantwortungsbewusst. Denn nach physikalischen Gesetzmäßigkeiten (d^3/D^3 , d^4/D^4) toleriert diese VTA-0,3-Grenzregel wissentlich bereits ein mindestens um 20%–30% erhöhtes Bruch- und Sicherheitsrisiko im Vergleich zum intakten Baum. Es ist ferner zu betonen, dass die bloße endogene Belastung kein Maßstab der Bruchsicherheit sein kann (s. Wagener 1963), weil ja Bäume auch unter gewöhnlichen Belastungen bruchsicher sein müssen, sonst macht der Verkehrssicherheitsgedanke (Risikominimierung) keinen großen Sinn.

Als *gewöhnlich bruchsicher* könnte ein standortadaptierter Baum bezeichnet werden, wenn er unter gewöhnlichen exogenen Belastungen nicht bricht. Diese Definition ist art-, alters- und standortspezifisch zu handhaben. Wenn also ein intakter (phänotypisch normaler), standortadaptierter Baum durch eine Belastung nicht gebrochen wird, dann ist die Belastung gewöhnlich, wird er gebrochen, dann ist die Belastung außergewöhnlich. Bricht aber bei gewöhnlicher Belastung ein defekter Baum, dann war dieser Baum nicht bruchsicher.

Exogene Belastungen, die noch nicht die Grenzbruchfestigkeit eines intakten, (phänotypisch normalen), standortangepassten Baumes erreichen, sollen als *gewöhnliche*, solche, die die Grenzbruchfestigkeit überschreiten, als *außergewöhnliche Belastungen* definiert werden.

Diese Definition ist sinnvoll, weil sie einerseits die *volle natürliche Bruchfestigkeit (MAXNIBF)* und die *Grenzbruchbelastbarkeit (gewöhnliche exogene Belastbarkeit gwBL)* eines jeweils standortadaptierten Baumes als Grundmaßstab einbezieht. Andererseits ist sie von praktischer Bedeutung, weil an den Baumobjekten selbst bzw. im Ereignisraum schnell festgestellt werden kann, ob eine gewöhnliche oder außergewöhnliche Belastung vorgelegen hat. Bricht beispielsweise in einem Ereignisraum nur ein einzelner Baum an seiner Defektstelle und sonst kein intakter Baum seiner Art, Größe und Form, dann ist ein solcher Baum als nicht bruchsicher zu klassifizieren. Brechen hingegen daneben auch mehrere intakte vergleichbare Bäume, dann kann der Bruch des defekten Baumes auch auf außergewöhnliche Belastung zurückzuführen sein.

Bei der Bruchsicherheit ist es hilfreich zu unterscheiden mindestens nach:

a) *Außergewöhnlicher (absoluter) Bruchsicherheit (ABS)*: Baumzustand, bei dem der Baum bei allen Belastungen bruchfest ist und dabei kein größerer Schaden direkt entstehen kann.

b) *Gewöhnlicher Bruchfestigkeit/-sicherheit (GBS)* bzw. natürlich individuelle Bruchsicherheit: Baumzustand, bei dem der Baum unter gewöhnlichen Belastungen (*gwBL*) bruchfest (*MAXNIBF*) ist und dabei kein größerer Schaden direkt entstehen kann.

c) *Grenzdefekt-Bruchsicherheit (GDBS)*: Baumzustand, bei dem der Baum aufgrund eines Defektes bis zu seiner Grenzdefektbelastung bruchfest ist (Bäume mit Defekten). Diese liegt *ceteris paribus* (normaler Phänotyp) i. d. R. unterhalb der GBS.

d) *Endogener Bruchsicherheit (EBS)*: Der Baum ist aufgrund seines Eigengewichtes über der Defektstelle ohne exogene Belastung bis zum definierten Grenzdefekt bruchfest. Dabei ist zu bedenken, dass das Eigengewicht insbesondere bei schwer und reichlich Früchte tragenden Bäumen (*Quercus, Fagus, Castanea, Aesculus, Malus, Prunus* etc.) jährlich sehr stark schwanken kann. Dabei wäre jeweils das maximale Eigengewicht einzubeziehen.

e) *Visuell eingeschätzter Bruchsicherheit (VBS)*: Aufgrund rein optischer Betrachtung von einer Untersuchungsperson individuell (Faktorenkomplex weitgehend unklar) benannte Bruchsicherheit. Die *tatsächliche Bruchsicherheit (TBS)* kann aber aufgrund versteckter Defekte davon vollkommen verschieden sein, was äußerst problematisch gesehen werden muss. Bei Bäumen, von denen gesetzlich Verkehrssicherheit verlangt wird, reicht m.E. eine optisch benannte Verkehrssicherheit z. B. nach VTA nicht aus, weil VTA grundsätzlich nicht in der Lage ist, gefährliche versteckte Defekte zu diagnostizieren (z. B. Stockfäulen, Wurzelfäulen, Höhlungen). Ein Baum kann zwar visuell „VTA-bruchsicher“ geschrieben werden, aber tatsächlich hochgradig „akut bruchgefährdet“ sein. Ein derartiges Risiko kann keinesfalls an „verkehrssicherheitspflichtigen“ Bäumen (Straßen, öffentlichen Plätzen, Bahndämmen etc.) eingegangen werden, weil damit Leib und Leben stets grobfahrlässig aufs Spiel gesetzt werden könnten (Unwissenheit schützt vor Strafe nicht!). Ähnlich wie die Verkehrssicherheit bei Gebäuden und Fahrzeugen nicht nur nach der Fassade oder am Lack gemessen werden kann, ist auch bei verkehrssicherungspflichtigen Bäumen eine äußere Beschau (z. B. VTA) nicht hinreichend. Auch sollte sich der Überprüfungsumfang eines verkehrssicherungspflichtigen Baumes nicht nach der Frequentierung richten, sondern dieser muss ebenso wie z. B. beim Fahrzeug ganz regelmäßig (egal ob nur einmal im Jahr oder täglich genutzt wird) für jeden verkehrssicherungspflichtigen Baum gleich erfolgen. Denn der Schutz weniger Menschen muss rechtlich/gesetzlich genau so hoch sein wie der von mehreren oder vielen.

f) mit *Hilfsgeräten* eingeschätzte Bruchsicherheit (jedoch große Ergebnisunterschiede aufgrund unterschiedlicher Messverfahren und individuellem Einsatz, keine Norm).

g) *Willkürliche Bruchsicherheit (WBS)*: Ein Baum wird aufgrund eines willkürlich festgelegten Grenzparameters als bruchsicher oder nicht bruchsicher deklariert (starre Regel).

h) *Supra-Bruchsicherheit SUBS*: Die Bruchfestigkeit des Baumes liegt über der (*MAXNIBF_{INT}*) bzw. *GBS*. Sie kann durch Sicherungseinrichtungen und -maßnahmen erreicht werden; sie stellt grundsätzlich eine „übertriebene“ Sicherheit dar.

i) *Verkehrssicherheit trotz fehlender Bruchsicherheit*: Bäume, die wegen fehlender Bruchsicherheit dem Verkehr unzugänglich gemacht werden (z. B. Abzäunung, u. U. unübersehbare Hinweise etc.), sind grundsätzlich als verkehrssicher bzw. verkehrsgerecht zu betrachten.

Aber auch entsprechend des Verkehrs und der regional üblichen Belastungssituation wäre es sinnvoll, entsprechende Verkehrssicherheitskategorien (hier: nur bezüglich Bruchsicherheit) zu definieren, die dem Baum entsprechend seines Standortes abverlangt werden sollten. Dabei wären auch die Haftungsregelungen anzukoppeln. An Standorten mit ständigem Verkehr sind Bruchrisiken auszuschließen (z. B. an Bahnrassen, Autobahnen etc.), so dass auch unter außergewöhnlichen Belastungssituationen kein Baumversagen stattfinden kann. In derartigen Ereignisräumen sind entweder keine Bäume tolerierbar oder sie müssen eine extraordinary Bruchsicherheit SUBS (entsprechende Sicherungsmaßnahmen) aufweisen. Mögliche Sicherheitskategorien wären mindestens:

1) *Außergewöhnliche (absolute) Bruchsicherheit ABS* (z. B. höchstens nur junge, keine älteren Bäume an (Schnell-)Bahnrassen, Au-

tobahnen, auf kostenpflichtigen Parkplätzen etc.). Haftung des Verkehrssicherungspflichtigen im Schadensfall.

II) *Gewöhnliche Bruchfestigkeit/-sicherheit GBS* (z. B. jeder normal gewachsene intakte Baum an Straßen, in bewohnten Gebieten, Parkplätze). Haftung des Verkehrssicherungspflichtigen im Schadensfall bei gewöhnlicher Belastung.

III) *Fehlende Bruchsicherheit (FBS)*: Baumzustand, der auch unter gewöhnlichen Belastungen brechen kann (z. B. Waldbäume, private Gartenbäume mit Defekten?), keine Verkehrssicherungspflicht, Verkehrsteilnehmer haftet im Schadensfall selbst.

Absolut bruchsicher ist jedoch grundsätzlich kein Baum. Eine *generelle naturbegründete (allgemeingültige naturkonstante) kritische Bruchsicherheitsgrenze bei Bäumen gibt es nicht.* Allgemeingültig kann nur gesagt werden, dass Bäume mit bestimmten Höhlungsgraden in Abhängigkeit ihrer Baumform (Stammgeometrie, Holzaufbau, Kronenform, Kronenzustand, Kronengröße, Kronenschwerpunkt etc.) bis zu ihren jeweiligen defektabhängigen Grenzbelastungen bruchfest sind. Ein Baum z. B. mit einem $t/R = 0,8$ kann in einer Region, in der alljährlich mehrmals Belastungssituationen auftreten, die alle Bäume mit $t/R < 0,81$ brechen, nicht mehr als bruchsicher bezeichnet werden. In einer solchen Region wird man Bäume mit $t/R < 0,81$ auch nicht/kaum finden. In einer anderen Region oder in Schutzlagen, in der alljährlich nur sehr geringe Belastungen auftreten, können insbesondere Altbäume mit vollen Kronen auch mit großem Höhlungsgrad z. B. $t/R = 0,1$ oder $0,2$ bruchsicher sein. Aus Naturbeobachtung gibt es dazu zahlreiche Beispiele.

Da *ceteris paribus* jeder intakte Baum durch exogene Belastung gebrochen werden kann und jeder Baum mit Defekt eine verminderte Bruchfestigkeit/-sicherheit aufweist, aber der intakte Baum nur den Grundmaßstab für einen bruchsicheren Baum bilden kann, ist ein defekter Baum grundsätzlich nicht bruchsicher. Bäume mit Defekten müssen daher um bruchsicher zu sein oder zu werden, entsprechend ihres Defektes u. Umständen so verändert werden (*MAXNIBF_{DEF.} >INT.*: Die Grenzbruchfestigkeit des defekten Baumes ist in die Grenzbruchfestigkeit eines entsprechend intakten Baumes zu überführen), dass sie unter den regional gewöhnlichen Belastungen stets bruchfest sind. Dabei sind immer der Standort/Region, die Baumform (Baumalter) selbst und die regionalen Belastungen (Wetterstationen) einzubeziehen. Als Maßstab des Festigkeitsverlustes, der gleichzeitig ein Grundmaß des höheren Bruchrisikos darstellt, kann dies nur die intakte Restholzquerschnittsfläche an der Schwachstelle des Baumes sein. Diese ist dann die Grundlage für Sicherungsmaßnahmen (s. z. B. Siewniak und Kusche 1994, Wessolly und Erb 1998), die den defekten Baum in die *MAXNIBF* oder u. Umständen sogar in die *Supra-Bruchfestigkeit (SUBF)* überführen können. Dabei ist zu fordern, dass individuell für jeden Baum nach seiner stets zu begründeten verkehrssicherheitsrelevanten Maßnahme die zu erreichende Verkehrssicherheit *MAXNIBF* bzw. *GBS*, *SUBS* auch notwendig und tatsächlich nachgewiesen bzw. erreicht wird. Darüber fehlen aber jegliche Untersuchungsergebnisse, so dass hier hoher Forschungsbedarf angemeldet werden muss.

Als Maßnahmen kommen die in der praktischen Baumpflege seit langem bekannten Sicherungseinrichtungen wie z. B. Stützgerüste, Seilverankerungen, -sicherungen oder direkte Manipulationen am Baum durch entsprechende Baumform- und Kronenverkleinerungen in Frage (s. z. B. Siewniak und Kusche 1994, Wessolly und Erb 1998), welche dann aufgrund des intakten Restholzquerschnitts den Dimensionen eines intakten Baumes mit gleicher Holzquerschnittsfläche, Kronenschwerpunkt und Kronendimension entsprechen würden. Schnittmaßnahmen am Baum sollten in begründeten Fällen jedoch nur die letzte Konsequenz sein.

Über den Komplex Baumsicherheit und insbesondere über die Beziehungen zwischen intakter Holzquerschnittsfläche, Defektmuster, Baumform und Belastbarkeit zur Wahrung der gewöhnlichen (und anderen) Bruchsicherheiten, die an unsere Bäume entsprechend ihres Verkehrsstandortes gestellt werden, liegen kaum gesicherte und verwertbare Erkenntnisse vor. Auch über die notwendigen Maßnahmen und Handlungsempfehlungen am defekten Baum zur Wiederherstellung seiner Bruchsicherheit bis zur wieder gewöhnlichen Belastbarkeit gibt es keine Untersuchungsergebnisse. Willkürliche Maßnahmen bis zur Verkappung des Baumes, vor allem bei älteren Bäumen, sind wegen des Fehlens und der Unsicherheit der jeweils erforderlichen Maßnahme die Folge. Maßnahmenempfehlungen nach „Erfahrungswerten“, wie sie z. B. von Mattheck et al. 1994 angepriesen werden, zeigen nur die Ohnmacht bei der Sicherheitsein-

schätzung von Bäumen.

Gute Ansätze zur Sicherheitseinschätzung sind aber z. B. in den Arbeiten von Wessolly & Erb 1998 und Sinn 2003 erkennbar, wobei allerdings auch bei diesen Verfahren Weiterentwicklungen notwendig erscheinen. Das Wissen über praxistaugliche zuverlässige Verfahren zur Sicherheitseinschätzung und zur -herstellung von Bäumen ist aufgrund des hohen Stellenwerts der Verkehrssicherheit und dem großen öffentlichen Interesse daran, aber auch dem hohen Stellenwert des Baumschutzes (Sicherheitsleistung, -gewehrleistung, Baumschutz/Multifunktionalität mit lebensessentiellen Leistungen etc.) eine wichtige künftige Aufgabe, die nur durch Förderung angewandter und Grundlagenforschung in Zusammenarbeit mit sachverständigen Gremien dringlich gelöst werden müssen.

5. Zusammenfassung

a) Nach den dargelegten Fakten, Argumenten und eigenen Naturbeobachtungen ist die nur bezüglich „idealer Hohlbäume mit vollen Kronen“ aufgestellte *VTA-0,32-Regel* (s. Abb. 1), welche von Mattheck als Naturkonstante und weltweite Allgemeingültigkeitsregel gewertet worden ist, wissenschaftlich *nicht haltbar* und daher zu verwerfen.

b) Die durch weltweite Studien erhobene *VTA-0,32-Graphik* (Abb. 1) ist, wie durch eigene Studien eindeutig nachgewiesen (Abb.-3) wurde, unvollständig (Fehlbereich von gebrochenen Bäumen zwischen $0,32 < t/R = 1,0$) und daher *nicht repräsentativ*. Die aus der Graphik abgeleitete *VTA-0,3-Regel* ist deshalb bedeutungslos.

c) Wieso in einer weltweiten Studie kein einziger gebrochener Baum mit $t/R > 0,32$ gefunden worden ist, wenn alljährlich unzählige Bäume mit $t/R > 0,32$ brechen, wäre als Frage mit der Bitte um Antwort an die Autoren der *VTA-0,3-Regel* zu richten.

d) Es ist klar herauszustellen, dass Bäume mit $t/R > 0,3$ bei Belastung keinesfalls allgemein bruchsicher sind, sondern lediglich ihr Bruchrisiko vermindert sich mit zunehmender Restwandstärke. Denn jeder, sogar der intakte Baum, kann durch entsprechende natürliche Belastung bekanntlich gebrochen werden. Der Baumbruch hängt also weitgehend von der Belastungsstärke ab, die in der *VTA-0,3-Regel* jedoch keinerlei Beachtung erfährt, obwohl jeder Baum unter exogenen Belastungen aufwächst und auch versagt.

e) Da nach der *VTA-0,32-Regel* die „Bruchsicherheit“ eines Baumes nur vorgegeben wird (*Scheinbruchsicherheit*), sollte ein solches *VTA-Kriterium* nicht mehr angewendet werden. Nach physikalischer Gesetzmäßigkeit toleriert die *VTA-0,3-Regel* bis zu über 30 % Festigkeits-/Sicherheitsverlust eines Baumstammes, welcher aber dann bei entsprechend höherer Belastung brechen kann. Für die Verkehrssicherheit kann dies kein Grundmaßstab sein. Es stellt sich also die Frage: Welche Sicherheit bei welcher Belastung bei welchem Defekt?

f) Die Bruchsicherheit eines Baumes sollte grundsätzlich nicht nach generellen oder willkürlichen Regeln oder jeweils einem einzelnen Parameter bestimmt werden, weil sowohl hohe Verkehrssicherheitsanforderungen/-gewährleistungen als auch hohe Baumschutzforderungen meist gleichzeitig erfüllt werden müssen, die danach aber nicht erfüllt werden können.

g) Baumsicherheit kann auch wegen großer standortspezifischer und baumindividueller Belastbarkeitsunterschiede weder an einer alleinigen generellen fixen Belastungsgrenze (z. B. Windstärke) noch am alleinigen allgemeinen Grenzdefekt (z. B. $t/R = 0,32$) gemessen werden, sondern es ist dem Zeitgeist angemessen und der Technik entsprechend anzustreben, sie individuell, standortgerecht auf naturgesetzlicher, nachvollziehbarer und praktikabler Basis zu bestimmen.

h) Aufgrund der hohen Sicherheitserwartung und der Wahrung der Rechtssicherheit ist auch eine nur visuelle Verkehrssicherheitseinschätzung bzw. Baumüberprüfung (z. B. nach *VTA*) problematisch und nicht ausreichend (Problematik der versteckten Defekte): Insbesondere an den meist nichteinsehbaren Wurzelsystemen und distalen und epitonen Kronenräumen können stabilitätsrelevante Defekte vorhanden sein, so dass über dort nicht untersuchte Bäume auch guten Gewissens keine Verkehrssicherheit (Stand- und Wurzelbruch-, Kronenbruchsicherheit) ausgesprochen werden kann. Denn nach dem Motto, „was man nicht sieht und nicht geprüft hat, wäre verkehrssicher“, kann hier keine (Verkehrssicherungspflicht, hohe -erwartung) Akzeptanz finden.

i) Wegen mangelhafter Kenntnisse über die praktisch verlässliche Feststellung der Verkehrssicherheit unserer Bäume, aber dem großen

öffentlichen Interesse daran, d. h. die *hohe Sicherheitserwartung und -gewährleistung* einerseits und große Bedeutung des *Baumschutzes zur nachhaltigen Gewährleistung der für uns so lebenswichtigen multifunktionalen Leistungen der Bäume* andererseits, ist die Forschung auf dem Gebiet der Baumstatik und der Belastbarkeit der Bäume mit verschiedensten Defektmustern mit hoher Priorität voranzutreiben, um den Baumschutz zu wahren und die Bruchsicherheit von Bäumen mit hoher Genauigkeit bestimmen zu können.

6. Literatur (enge Auswahl)

- Coder, K. D., 1989: Should or shouldn't you fill tree hollows? Grounds Maintenance 24/10.
- DBU, 2003: <http://www.presseportal.de>
- DEGA, 2006: <http://www.dega.de/Artikel.dll/Search>
- Gruber, F. und H. Hagemann, 2000: Vergleich der Biegefestigkeiten an Buche, Pappel, Fichte und Douglasie mit dem Fractometer 1 und nach DIN 52 186 Prüfverfahren. Allg. Forst- u. J.-Ztg., 171/8: 137–144.
- Gruber, F., 2004: Methoden zur Baumdiagnose. Vortrag Osnabrück März 2004
- Kane, B. C. P. and H. D. P. R. III, 2003: Examining formulas that assess strength loss due to decay in trees: Woundwood toughness improvement in red maple (*Acer rubrum*). Journal of Arboriculture 29/4: 209–217
- Matheny, N. P. and J. R. Clark, 1994: A photographic Guide to the Evaluation of Hazard Trees in Urban Areas, Intern. Soc of Arboriculture, Champaign, IL 85 pp.
- Mattheck, C., 1995: Biomechanical optimum in woody stems. In: Plant stems. Ed. By B. Gartner. Academic press. San Diego, New York, Boston...
- Mattheck, C. und H. Breloer, 1993: Feldanleitung für Baumkontrollen mit Visual Tree Assessment. LÖLF-Mitteilungen 4/93
- Mattheck, C., K. Bethge and D. Erb, 1993a: Versagenskriterien für Bäume. Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH Institut für Materialforschung II, Postfach 36 40 · W-76021 Karlsruhe I
- Mattheck, C., K. Bethge and D. Erb, 1993b: Failure Criteria for Trees. Arboricultural Journal 17: 201–209
- Mattheck, C., K. Bethge und H. Breloer, 1994b: Allgemeingültigkeit der Regeln zur Bewertung von Risikobäumen. Patzer Verlag, Das Gartenamt 6/94: 407–412.
- Mattheck, C. and H. Kubler, 1997: Wood – The Internal Optimization of Trees. Springer Verlag, 129 Seiten. 2. printing of first edition
- Mattheck, C. und K. Bethge, 2004: Kritik an Statisch Integrierte Baumbeurteilung – SIB. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH Institut für Materialforschung II, Abt. Biomechanik Postfach 36 40 • D-76021 Karlsruhe. www.arboristik.de/2004/kritik_sib.htm – 16k
- Mattheck, C., K. Bethge and I. Tesari 2006: Shear effects on failure of hollow trees. Trees 20: 329-333
- Siewniak, M. und D. Kusche, 1994: Baumpflege heute. Patzer Verlag, Berlin, Hannover.
- Sinn G., 2003: Baumstatik. Thalacker Medien, Stuttgart.
- Smiley, E. T. and B. R. Fraedrich, 1992: Determining strength loss from decay. J. Arboric. 18: 201–204
- Wagener, W. W., 1963: Judging Hazard from Native Trees in California Recreational Areas: A Guide for Professional Foresters. USFS Research Paper PSW-P1. 29 pp
- Wessolly, L. und M. Erb, 1998: Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle. Berlin Patzer Verlag
- ZTV-Baumpflege 1992/2002/2006: Herausgeber FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. 2.–4. überarbeitete Auflagen, Troisdorf