

Bruchsicherheit von Weihnachtsbäumen

Alle Jahre wieder...

werden auf Marktplätzen, vor markanten Gebäuden und Kirchen Weihnachtsbäume aufgestellt. Meist werden dazu Fichten, manchmal auch Tannen oder Douglasien, in selteneren Fällen auch Kiefern verwendet.

Die Bäume werden oft gestiftet und nach gestalterischen Aspekten, wie Nadeldichte und Kronenform ausgewählt. Die Bruchsicherheit des Baumstammes wird bei der Fällung vor Ort nur insofern berücksichtigt, dass visuell erkennbar gesunde Bäume ausgewählt werden, deren Stamm äußerlich fehlerfrei ist.

Anschließend wird der Weihnachtsbaum in ein Stahlrohr gestellt, das wiederum in ein Betonfundament eingegossen ist, und dann mit Kanthölzern eingekeilt. Die Dimensionierung des Betonfundamentes sowie die Wandstärke des Stahlrohrs wurden, wie eine kurze selbst durchgeführte Umfrage unter 10 Gemeinden im Münchener Umland ergeben hat, nur in einem Fall individuell von einem Baustatiker berechnet.

In den meisten Fällen wurden die Fundamente auf Basis allgemeiner bautechnischer Erfahrungswerte dimensioniert. Bis heute ist dem Verfasser auch kein Fall bekannt, in dem ein Schadensfall durch Versagen eines Betonfundamentes aufgetreten wäre.

Immer wieder kommt es jedoch vor, dass die Stämme von Weihnachtsbäumen bei Sturmböen abbrechen und zu teils schweren Personenschäden und Sachschäden führen.

Lebende Bäume passen sich an die Standortbedingungen an und reagieren auf Veränderungen.

Bäume benötigen für ihr Wachstum Sonnenlicht als Energiequelle und wachsen dem Licht entgegen (phototropes Wachstum). In dicht bestockten Wäldern wachsen die Stämme bedrängt durch die benachbarten Konkurrenz bäume zu großer Höhe auf und vernachlässigen dabei ihr Dickenwachstum. Die meist pinselartige Krone wird bei Sturmböen seitlich durch die Nachbarbäume gehalten, die seitliche Schwingbreite ist damit erheblich reduziert. Somit werden auch geringere Biegebelastungen auf den Stamm übertragen, der Bestand stützt sich also gegenseitig.

Klassische Weihnachtsbäume werden nicht aus dichten Beständen entnommen, da sich nur solche Individuen eigenen, die über eine gleichmäßig entwickelte, rundherum dicht beästete Krone verfügen. Ein gleichmäßiger, konischer Kronenaufbau entsteht nur dort, wo ausreichend Platz vorhanden ist.

Dadurch sind die Stämme von Bäumen aus „extra weitem Abstand“ zu Nachbarbäumen dicker und geeigneter. Trotz ausreichendem seitlichen Abstand zum Nachbarbaum ist zu berücksichtigen, dass auch ein klassischer Weihnachtsbaum dennoch sehr geschützt im Bestand steht und deshalb nicht so einen dicken Stamm ausbilden muss, wie ein Baum, der auf freiem Feld gewachsen ist.

Baumstatik

Alle natürlichen Konstruktionen, zu denen auch Bäume zählen, unterliegen den physikalischen Naturgesetzen. Überbeanspruchung führt zu Versagen.

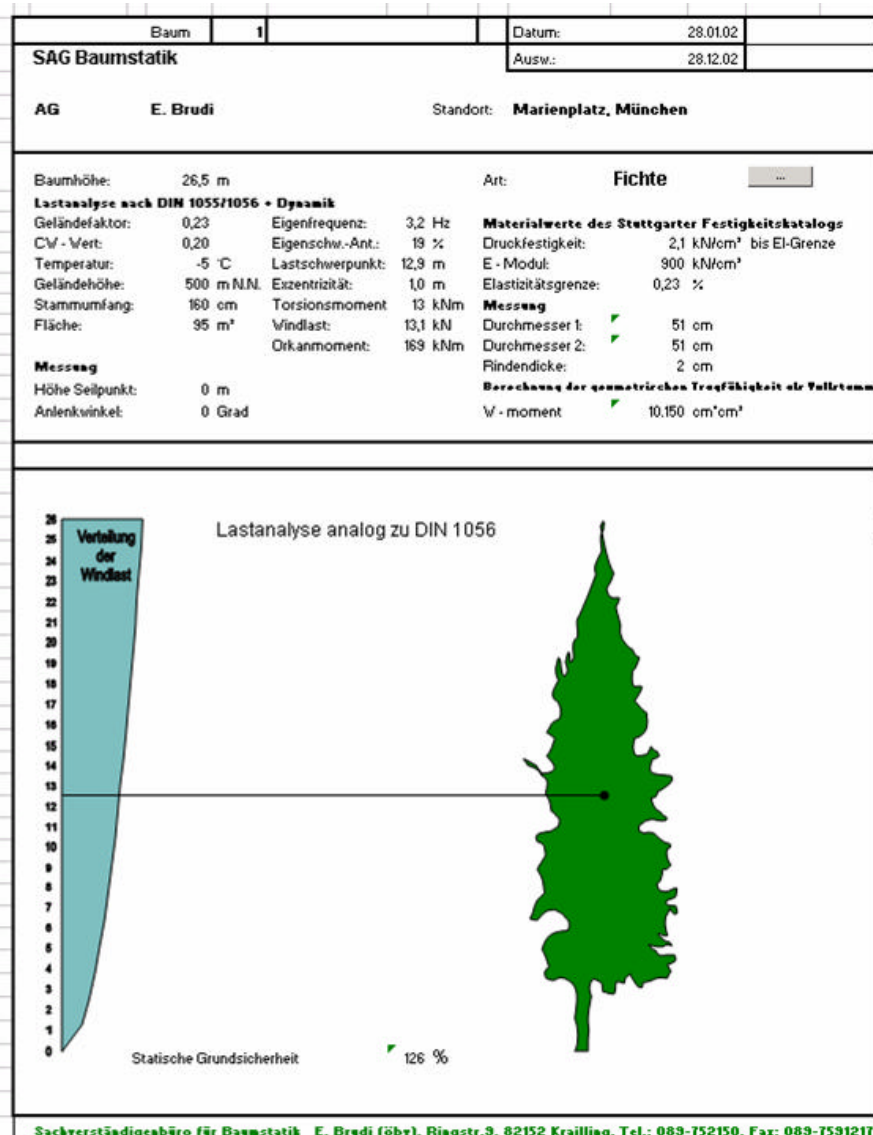
Im Falle von Weihnachtsbäumen sind zwei Versagensarten möglich:

1. Das Abbrechen des Baumstammes
2. Das Versagen der Bodenverankerung.

(Dem Verfasser sind nur Versagensfälle bei Weihnachtsbäumen bekannt, die im Zusammenhang mit Stammbruch bei Sturmböen in Orkanstärke (ab Windstärke 10) stehen.)

Windböen können v.a. entlang der glatten Fassaden von mehrstöckigen Gebäuden ebenso hohe oder sogar höhere Windgeschwindigkeiten erreichen wie auf freiem Feld. Das bedeutet für die Praxis, dass eine Fichte, die aus einem geschützten Bestand entnommen wurde und unter Vernachlässigung des Stammdurchmessers zu großer Höhe aufgewachsen ist, grundsätzlich statisch eher ausgereizt ist und kaum „Sicherheitspolster“ aufweist. Im Gegensatz dazu verfügen weniger hohe Einzelbäume aus freiem Stand oft über dickere Stammdurchmesser und sind somit sicherer.

Abb. 1 Windlastanalyse an einer 18 m hohen Fichte



Die 26,5 m hohe Fichte vom Dezember 2002 am Marienplatz in München wird bei Orkanböen von 117 km/h unter Berücksichtigung der Flexibilität der Äste und des Stammes einem Winddruck von ca. 1,7 to in 13 m Höhe ausgesetzt.

Das Orkanmoment beträgt demnach 169 kNm (Kraft mal Hebelarm).

Da der lastabtragende Stammquerschnitt nur 51 cm (minus 2 cm Rindendicke) beträgt, ist der Baum statisch ausgereizt.

Die Bruchsicherheit des Baumes beträgt 126 %; d.h. dieser Weihnachtsbaum verfügt bei Orkanböen noch über ein geringfügiges Sicherheitspolster von 26%.

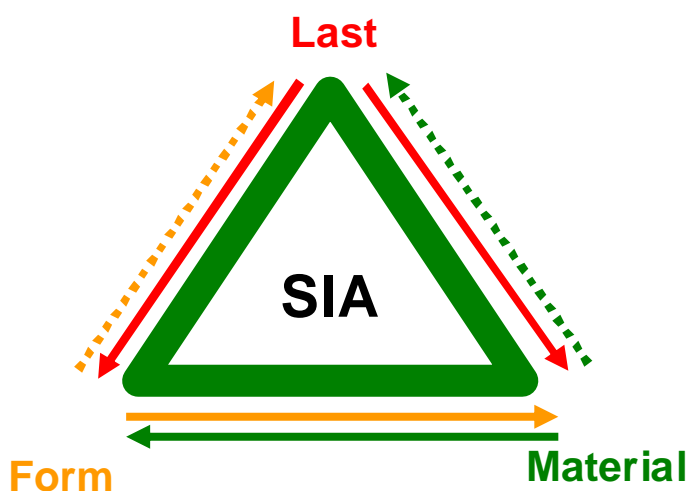
Wie bei baustatischen Sicherheitsanalysen auch, muss die „Baumstatik“ den klassischen ingenieurstechnischen Konventionen folgen, d.h. erst unter Einbeziehung der Faktoren Windlast, Widerstandsmoment und Druckfestigkeit grünen Holzes kann eine seriöse Sicherheitsanalyse eines (Weihnachts-) Baumes durchgeführt werden.

An der Universität Stuttgart, im Sonderforschungsbereich „Natürliche Konstruktionen“ wurde von 1983 bis 1988 ein Diagnoseverfahren entwickelt, das eine Bruchsicherheitsaussage von lebenden Bäumen ermöglicht.

Nach mittlerweile über 4.000 Feldversuchen und einer intensiven Auswertung der Daten wurde eine vereinfachte Berechnungsmethode für die Praxis entwickelt (SIA-Methode), die eine Sicherheitsaussage direkt vor Ort, also z.B. vor der Entnahme eines Weihnachtsbaumes ermöglicht.

Die von WESSOLLY entwickelte SIA-Methode (statisch integrierte Abschätzung) integriert konsequent die drei Grundsäulen der Statik (Windlast, lastabtragende Geometrie und Materialeigenschaften). Die SIA-Methode wird bereits seit Mitte der neunziger Jahre von vielen Baumsachverständigen zur Beurteilung der Bruchsicherheit von Bäumen verwendet. Sie ist demnach auch für die Auswahl von sicheren Weihnachtsbäumen geeignet.

Abb. 2 Dreieck der Statik.



Wechselbeziehungen der drei Faktoren Material, Last, und Form.

Der einwirkenden Last muss ein ausreichend dimensionierter Körper entgegenwirken.

Ist das Material minderwertig oder schwach, muss der Körper massiver sein.

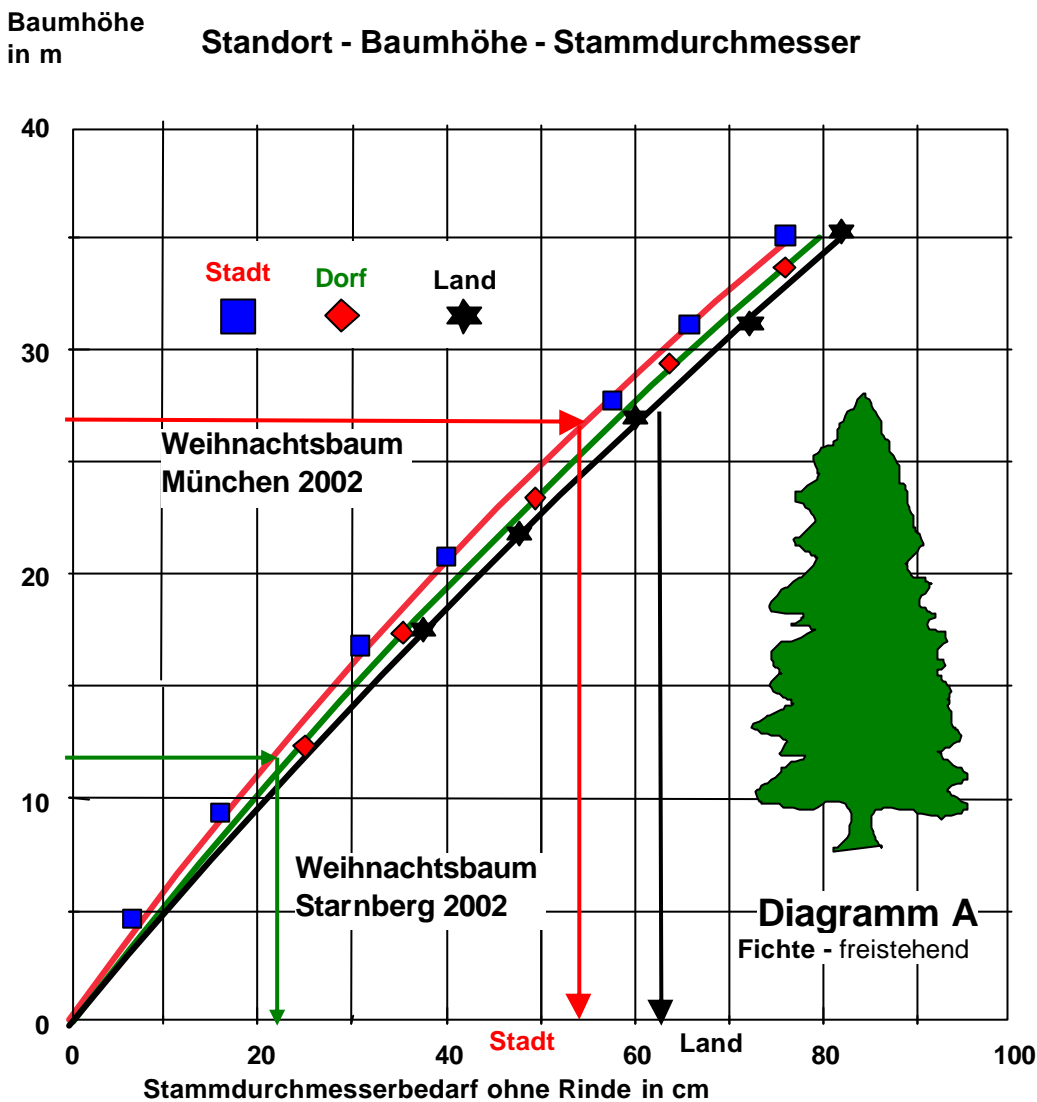
Weihnachtsbäume und Anwendung der SIA-Methode

Die SIA Methode wird mit Hilfe eines Maßbandes oder einer Messkluppe, mit einem Inclinometer zur Bestimmung der Baumhöhe (eines noch stehenden Baumes) und den SIA-Diagrammen durchgeführt.

In einem ersten Schritt werden Stammdicke und Baumhöhe gemessen.

Anschließend wird eine vereinfachte Lastanalyse durchgeführt, die bei Fichten, Tannen und Douglasien pauschal möglich ist, da diese Baumarten im Wesentlichen eine konische, spitz nach oben zulaufende Kronenform aufweisen.

Abb. 3 vereinfachte Lastanalyse an Weihnachtsbäumen in Starnberg und München



Mit Hilfe des A-Diagramms wird der erforderliche Stammdurchmesser ermittelt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Rinde nicht an der Lastabtragung beteiligt ist und ihre Dicke vom gemessenen Stammdurchmesser abzuziehen ist.

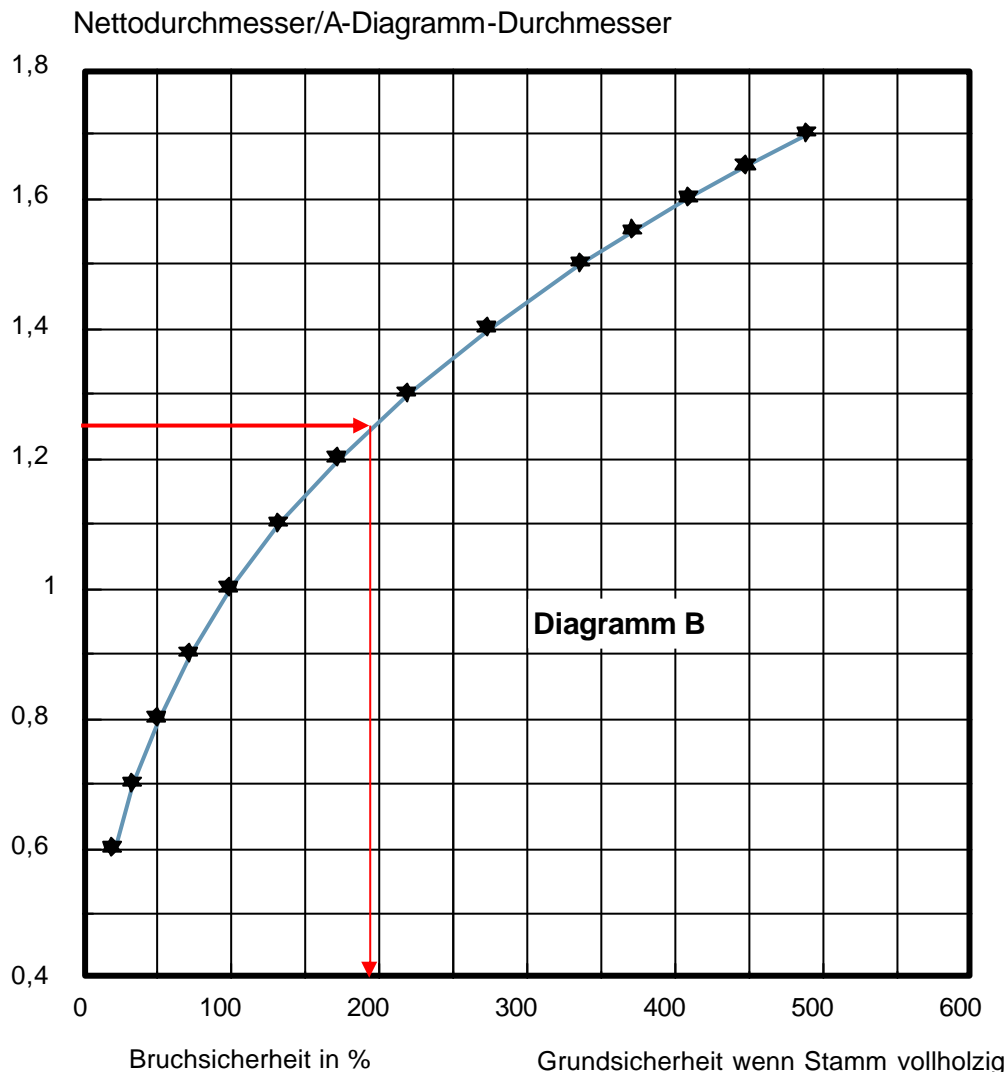
In den drei Kurven des Diagramms A sind bereits eine vereinfachte Lastanalyse und die Materialeigenschaften von grünem Holz enthalten. In der Lastanalyse wurde von einem Winddruck ausgegangen, der bei 117 km/h (= Windstärke 12 Bft) entsteht.

An diesem Beispiel wird erkennbar, dass eine 26,5 m hohe Fichte in einer geschützten Umgebung einen Stammdurchmesser von ca. 54 cm benötigt. An einem windexponierten Standort, z.B. auf freiem Feld, dagegen steigt der Stammdurchmesserbedarf bereits auf 63 cm.

Hier zeigt sich auch der Einfluss der Kronenbreite auf die Windlast. Die Krone des Weihnachtsbaumes (2002) auf dem Münchener Marienplatz ist etwas schmaler und bedingt einen geringeren Winddruck, was wiederum die Bruchsicherheit erhöht.

Der nur 12 m hohe Weihnachtsbaum in Starnberg benötigt nur einen Nettostammdurchmesser von 22 cm.

Abb. 4 Diagramm B. Ermittlung der Bruchsicherheit in % durch Vergleich von gemessenem und benötigtem Durchmesser bei einer Windgeschwindigkeit von 117 km/h



Der gemessene Stammdurchmesser des Weihnachtsbaumes 2002 auf dem Hauptplatz in Starnberg beträgt 28,5 cm. Die Rindendicke wird auf 0,5 cm geschätzt; somit beträgt der Nettostammdurchmesser 27,5 cm.

Gemäß Diagramm A benötigt eine 12 m hohe Fichte einen Stammdurchmesser von 22 cm;

Da der Stamm mit 27,5 cm Durchmesser etwas dicker als benötigt ist, verfügt er über Sicherheitsreserven. Wie groß diese Reserven bzw. Defizite sind, kann mit Hilfe von Diagramm B ermittelt werden.

Gemessener Stammdurchmesser (27,5 cm) / erforderlicher Stammdurchmesser (22 cm) = 1,25 – dieser Wert führt im Diagramm B zu einem Sicherheitswert von 195%.

Demnach weist die Fichte in Starnberg mit rund 195 % ein ausreichend großes Sicherheitspolster auf. Im Gegensatz dazu weist der Stamm der Fichte von München nur 52 cm Stammdurchmesser auf und verfügt somit über keinerlei Sicherheitsreserven; dieser Weihnachtsbaum ist statisch ausgereizt.

Tipps bei der Auswahl und dem Aufstellen von Weihnachtsbäumen

Als Praktiker vor Ort kann bei der Auswahl eines geeigneten Weihnachtsbaumes folgende Tabelle verwendet werden.

Da die Borke bzw. Rinde keine Lasten aufnehmen kann, ist immer der Nettostammdurchmesser, also die lastabtragende Holzsäule zu berechnen. Da bei einer Stammumfangmessung oder bei einer Stammdurchmesserbestimmung mit Hilfe eines Maßbandes oder einer Messkluppe auf beiden Seiten des Nettodurchmessers über die Rinde gemessen wird, ist die geschätzte oder gemessene Rindendicke zweimal abzuziehen.

Tab. 1.:

Erforderliche Stammdurchmesser für Fichte (*Picea abies*) und Tanne (*Abies alba*)
Tannenholz weist geringere Festigkeiten als Fichtenholz auf, deshalb ist bei der Baumartenwahl darauf zu achten, dass die Stammdicke ausreichend dimensioniert ist.

Baumhöhe in m	Nettostammdurchmesserbedarf* bei	
	Fichte in cm	bei Tanne in cm
10	18	24
11	20	27
12	22	29
13	24	32
14	26	35
15	28	37
16	30	41
17	33	44
18	35	47
19	37	50
20	40	52
21	42	55
22	44	58
23	46	61
24	49	64
25	51	68
26	54	70
27	56	74
28	58	76

* Nettostammdurchmesser = gemessener Stammdurchmesser - 2* Rindendicke

Bodenverankerung

Im Einzelfall ist zu überprüfen, ob eine fachlich fundierte Statik für das Fundament erforderlich ist, oder Erfahrungswerte des Bauamtes oder des Bauhofs ausreichen.

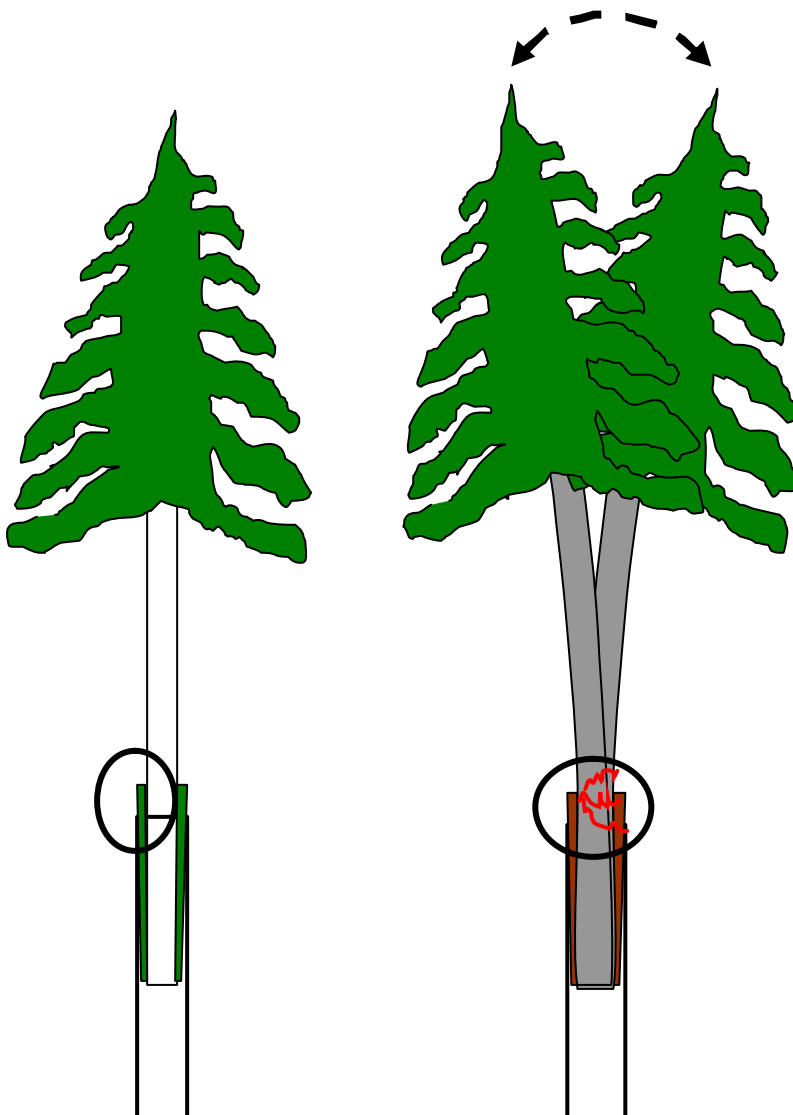
Dem Kontaktbereich von Baumstamm und Bodenverankerung ist besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Scharfe Metallkanten, die das weiche grüne Holz von Nadelbäumen bei Biegung verletzen, d.h. die spannungsbelasteten Randfasern bei Sturmböen zum Einknicken bringen und so genannte „Kerbspannungen“ verursachen können, führen zu einem schnellen Versagen bei Sturm als weiche und gepolsterte Übergänge.

Abb. 5



Der Baumstamm wurde in der Bodenhülse mit Holzplanken eingekleimt. Abgerundete oder gebrochene Kanten an den Keilhölzern würden bei Biegung weniger Kerbspannungen auf den Stamm übertragen.

Abb. 6



Scharfe Kanten im Kontaktbereich von Keilhölzern und Baumstamm führen zu punktuellen Spannungsspitzen, die bei starker Biegung das Abbrechen des Stammes begünstigen.

Aus diesem Grunde sollten scharfen Kanten im Kontaktbereich etwas abgerundet werden.

Festigkeitseigenschaften und elastische Eigenschaften von grünem Holz

Die als Weihnachtsbaum verwendeten Nadelbaumarten, Fichte, Tanne, Douglasie und seltener auch Kiefern (meist im südlichen Europa) weisen Festigkeiten von 17 bis 21 N/mm² und Elastizitätsmodule von 5350 – 10.000 N/mm² auf.

Je nachgiebiger die Krone ist, desto weniger Festigkeit wird benötigt, um den einwirkenden Windlasten widerstehen zu können.

Tab. 2 Materialeigenschaften von grünem Nadelholz (Auszug aus dem Stuttgarter Festigkeitskatalog, WESSOLLY, ERB, Handbuch der Baumstatik, Patzer, 1998)

Baumart	Mittlerer E-Modul N/mm ²	Mittlere Druckfestigkeit N/mm ²	Grenz- Dehnung %
Douglasie	10000	20	0,20
Fichte	9000	21	0,23
Kiefer	5800	17	0,29
Pinie	8500	18	0,21
Serbische Fichte	9000	16	0,18

Zusammenfassung

Weihnachtsbäume sind frisch gefällte Bäume, deren grünes, wassergesättigtes Holz geringere Festigkeiten aufweist, als trockenes Bauholz. Grünes Holz ist flexibler und kann durch diese Nachgiebigkeit seine geringere Festigkeit kompensieren.

Die Bruchsicherheit von Weihnachtsbäumen hängt entscheidend von dem Verhältnis Stammdicke zu windversperrendem Kronensegel ab.

Die Bruchsicherheit von Weihnachtsbäumen kann nun mit Hilfe der in der Baumkontrolle bewährten SIA-Methode vor Ort überprüft werden.

Anhand einer Höhenmessung und der Verwendung einer Tabelle lässt sich die erforderliche Stammdicke ermittelt werden. In die SIA Tabellen sind die Wechselwirkungen der drei Sicherheitsfaktoren: Materialeigenschaften grünen Holzes, Windlast bei Orkan (hier 117 km/h) und Form (hier: Stammdurchmesser) berücksichtigt.

Vor dem Hintergrund fortschreitenden Fachwissens im Bereich der Fachdisziplin Baumpflege steht nun mit der SIA Methode ein kostenloses „tool“ zur Verfügung, das im Sinne der Sorgfaltspflicht durchaus angewendet werden sollte (auch unter: www.tree-consult.org)

Grundsätzlich gilt aber, dass gedungen gewachsene, dickstämmige Bäume dünnstämmigeren vorzuziehen sind. Sollte ein Weihnachtsbaum nicht über einen ausreichend dicken lastabtragenden Stammquerschnitt verfügen, ist der Baum entweder nicht aufzustellen oder die Sicherheit dadurch zu erhöhen, dass eine zusätzliche Sicherung aus speziell dafür konstruierten Kunstfaser - Baumkronensicherungsseilen (z.B. System cobra plus) eingebaut wird.

Die dehnungsfähigen Sicherungen werden als Verbindungen zwischen den Baumkronen und den benachbarten Gebäuden eingebaut. Auf Sturmböen reagieren dehnfähige Seile mit „weicher“ Energieaufnahme. Schlagartige Überbelastungen an den Wandbefestigungen und in den Seilen selbst treten nicht mehr auf.

Der Nachteil von Mauerrückverankerungen besteht jedoch oft darin, dass sich als Widerlager nur wenige Gebäude eignen; dies meist nicht aufgrund mangelnder Haltekräfte des Bauwerks, sondern aufgrund von Eigentumsrechten, technischen Problemen oder anderen Gründen ungeeignet.