



Standards

der SAG Baumstatik e.V.

für die Anwendung der

Zugversuchsmethode

(SAG Standards für Zugversuche, deutsche Fassung)

SAG Baumstatik e.V.

Berengariastr. 9

D-82131 Gauting,

www.sag-baumstatik.org

Vorbemerkung

Diese Standards wurden aus dem englischen Original in die deutsche Sprache übersetzt. Sollten unterschiedliche Auslegungen des Textes möglich sein, so gilt stets die jeweils gültige englische Fassung.

1. Einführung

1.1 Hintergrund

1.1.1 Diese Standards wurden von Mitgliedern der SAG Baumstatik-Gruppe entwickelt, um den Ablauf der Prüfung und die Bewertung der strukturellen Integrität eines Baumes gemäß der von Sinn und Wessolly in den späten 1980er Jahren vorgeschlagenen Verfahren zu beschreiben. Seit über 30 Jahren wird diese Methode von Baumsachverständigen angewandt und weiterentwickelt.

1.1.2 Diese Standards legen das gemeinsame Verständnis der Mitglieder der SAG Baumstatik Gruppe darüber dar, wie der Zugversuch korrekt angewendet werden soll, um eine zuverlässige Bewertung der Stand- und Bruchsicherheit der Bäume zu erreichen. Da diese Standards von einer privaten Vereinigung erstellt wurden, kommt ihnen im rechtlichen Sinne nicht ein gleichwertiger Status zu wie den Richtlinien, die von einem Branchenverband mit der Absicht herausgegeben werden, den aktuellen Stand der Technik festzulegen.

1.1.3 Dennoch können in der Baumpflege tätige Personen, Sachverständige, kommunale Behörden oder andere Organisationen diese Standards als Referenz für ihre eigene Tätigkeit als Sachverständige, als fachliche Grundlage für Ausschreibungsunterlagen oder als Leitfaden bei der Überprüfung von Arbeiten verwenden, die in ihrem Auftrag durchgeführt wurden.

1.1.4 Diese Standards stellen das gemeinsame technische Verständnis und die gutachterliche Erfahrung der weltweit größten Gruppe von Baumsachverständigen dar, die diese Methode anwenden, weiterentwickeln, auf ihre Zuverlässigkeit hin prüfen und ihre Verwendung als Grundlage von Entscheidungen zum Management von Bäumen propagieren.

1.2 Zweck

1.2.1 Standards sind notwendig geworden, weil die Anwendung dieser Methode inzwischen immer stärker verbreitet ist, sie von einer Reihe von Gruppen und Einzelpersonen übernommen wurde und sich geografisch weiter verbreitet hat. Ziel der Standards ist es, eine gemeinsame Grundlage zu schaffen und diese Gruppen zusammenzubringen, um die Methode durch den Austausch von Erfahrungen und Wissen zu verbessern.

1.2.2 Diese Standards zielen darauf ab:

- sicherzustellen, dass die Methode so angewandt wird, dass sie hinsichtlich der Sicherheitsbewertung von Bäumen als zulässig und belastbar angesehen werden kann, damit Baumbesitzer sich auf die Empfehlungen verlassen können, die aus den Messdaten abgeleitet wurden
- die anerkannte und nachvollziehbare Methode, die mit Kompetenz und Erfahrung angewandt wird, von unzuverlässigen Ansätzen und ungeprüften Abweichungen vom Modell abzugrenzen, die ohne jegliche Grundlage oder belastbare Nachweise Gültigkeit beanspruchen
- eine Anleitung für Organisationen bereitzustellen, die beabsichtigen, Spezifikationen zur Durchführung von Zugversuchen durch Baumsachverständige für Ausschreibungen zu erstellen
- einen fachlichen Rahmen bereitzustellen, auf den sich Einzelpersonen oder Organisationen beziehen können, wenn sie die Zuverlässigkeit von Pflegeempfehlungen beurteilen wollen, die aus Zugversuchen abgeleitet wurden. Insbesondere sollen für diejenigen, die keine Erfahrung mit der Methode haben, die Grundsätze der Untersuchung von Bäumen mit der Zugversuchsmethode dargelegt werden. Dabei soll geklärt werden, was genau im Rahmen der Methode erforderlich und in welchem Umfang zu leisten ist

1.3 inkludierender Ansatz

1.3.1 Die Standards zielen zwar darauf ab, unzuverlässige, nicht angemessene und nicht fachgerechte Ansätze für Zugversuche zu identifizieren, die die strengen Kriterien für die Gültigkeit der Ergebnisse nicht erfüllen, ist es weder die Absicht der Standards, vernünftige alternative Ansätze auszuschließen noch Innovation oder Entwicklung zu behindern oder zu unterdrücken.

1.3.2 Folglich sollen die Formulierungen in diesem Dokument relevante ingenieurwissenschaftliche Ansätze für die Baumuntersuchung einschließen und alle Dienstleister, Unternehmen, Hersteller oder Softwareentwickler berücksichtigen, die den in diesem Dokument vorgeschlagenen Kriterien gerecht werden.

1.3.3 Wenn der Begriff "**muss**" bzw. „**darf nicht**“ verwendet wird, bedeutet dies, dass die Anforderung verpflichtend ist.

1.3.4 Wenn der Begriff "**soll**" verwendet wird, ist damit gemeint, dass die Anforderung empfohlen wird.

1.3.5 Der Begriff "**kann**" bedeutet, dass der Vorschlag eine Möglichkeit darstellt, die aber erstrebenswert ist.

1.3.6 Der normative Inhalt wird in normaler Schrift dargestellt.

1.3.7 Begründungen für normative Aussagen, die der weiteren Erläuterung und Klarstellung dienen, sind kursiv dargestellt.

1.3.8 Beispiele zur weiteren Veranschaulichung der Hintergründe wurden im Text eingerahmt.

2. Kompetenz und Qualifikationen

2.1 Allgemeine Anforderungen

2.1.1 Um mit Hilfe der Zugversuchsmethode eine angemessene Beurteilung der Stand- und Bruchsischerheit zu erhalten, ist ein umfassendes Verständnis des angewandten Modells erforderlich. Außerdem werden eine ganze Reihe von Kenntnissen in anderen Disziplinen über die unmittelbare Baumpflege hinaus benötigt sowie eine besondere Beachtung kleiner Details, um belastbare Ergebnisse zu erzielen.

2.1.2 Wenn die Auswertung des Zugversuchs relevante Ergebnisse liefern soll, ist die Erfassung korrekter und verwertbarer Daten während der Prüfung wesentlich. Um sicherzustellen, dass fehlerhafte Daten als solche erkannt werden, **muss** ein gewisses Maß an Erfahrung und Verständnis vorhanden sein.

2.1.3 Die Auswertung der bei einem Zugversuch erfassten Daten beinhaltet die Berücksichtigung einer komplexen Kombination von Faktoren innerhalb eines Modells und erfordert daher ein hohes Maß an Interpretation. Die Bewertung der Stand- und Bruchsischerheit eines Baumes unter Anwendung der Grundsätze der Statik **soll** nicht als einfacher oder formelhafter Lösungsweg betrachtet werden.

2.1.4 Eine Person, die Untersuchungen an Bäumen mit der Zugversuchsmethode anbietet, ist verpflichtet, sich über die neuesten Forschungsergebnisse auf dem Laufenden zu halten. Sie **muss** ihren Kenntnisstand so weit wie möglich regelmäßig überprüfen und auffrischen, um sicherzustellen, dass alle Änderungen und Fortschritte bei der Anwendung der Methode korrekt berücksichtigt werden.

2.1.5 *Um über wichtige Entwicklungen, Fortschritte oder Probleme im Zusammenhang mit der Methode auf dem Laufenden zu bleiben, **kann** man sich mit anderen Anwendern austauschen, insbesondere indem man Mitglied einer Organisation oder Gruppe von Anwendern, Forschern oder Spezialisten wird. Durch die Einbeziehung der aktuellsten Erkenntnisse über die Methode wird sichergestellt, dass die Bewertungen so zutreffend, belastbar und angemessen wie möglich sind.*

2.2 Erfahrung, Ausbildung und Qualifikationen

2.2.1 Es wird erwartet, dass eine Person, die an der Planung und Durchführung eines Zugversuchs und der Auswertung der Daten beteiligt ist, über ein hohes Grund- oder Hintergrundwissen auf dem Gebiet der Baumpflege verfügt, das durch ein Maß an Berufserfahrung in diesem Arbeitsfeld ergänzt wird.

2.2.2 Es wird vorgeschlagen, dass ein Anwender über mindestens drei Jahre praktische Erfahrung in der visuellen Bewertung von Bäumen verfügt, wobei seine Erfahrung die Beurteilung struktureller Probleme, des physiologischen Zustands des Baumes und der Wahrscheinlichkeit eines Versagens umfasst und daraus Empfehlungen zum weiteren Umgang mit den Bäumen abgeleitet wurden. Dabei wird vorausgesetzt, dass in diesem Zeitraum mindestens 100 Einzelbaumbewertungen oder Gutachten erstellt wurden.

2.2.3 Formale Qualifikationen sind nicht unbedingt erforderlich und garantieren auch nicht, dass eine Untersuchung und Auswertung mit einer bestimmten Qualität durchgeführt werden. Eine

akademische Ausbildung zeigt aber, dass ein Anwender wahrscheinlich Fähigkeiten zum kritischen Denken und zur wissenschaftlichen Arbeit entwickelt hat, die Grund zu der Annahme geben, dass er in der Lage ist, die der Methode zugrundeliegenden Konzepte zu verstehen und in angemessener Weise anzuwenden.

2.2.4 Folgende Qualifikationen werden als geeignet für die Bewertung von Bäumen mit Hilfe der Zugversuchsmethode angesehen:

- ein Bachelor-Hochschulabschluss in einem einschlägigen Fach (z.B. Arboristik, Forstwirtschaft, Landschaftsarchitektur, Agrarwissenschaften, Biologie) mit mindestens zwei Kursen mit direktem Bezug zu städtischen Bäumen oder
- eine Qualifikation der Stufe 6 gemäß dem Europäischen Qualifikationsrahmen in Arboristik, Gartenbau oder Forstwirtschaft oder einer verwandten Disziplin oder
- zertifizierter/qualifizierter Kenntnisstand im Bereich städtischer Bäume (z.B. European Arboricultural Council - European Tree Technician, International Society of Arboriculture - Board Certified Master Arborist)

2.3 Hintergrundwissen

2.3.1 Eine Person, die einen Zugversuch durchführt und die erhobenen Daten auswertet, **soll** über ein umfassendes Verständnis der folgenden Bereiche verfügen, die für Beurteilung und Management von Bäumen relevant sind, bei denen ein strukturelles Problem festgestellt wurde:

- Bodenkunde, insbesondere Bodenmechanik
- Allgemeine Botanik, Dendrologie, Baumphysiologie und Ökophysiologie
- Pflanzenanatomie, Baumarchitektur/Morphologie, physikalische/strukturelle/mechanische Schadsymptome
- Pflanzenpathologie, Bestimmung und Physiologie holzeretzender Pilzarten, Muster/Mechanismen des Holzabbaus
- Meteorologie, insbesondere das Verhalten von Wind und die Häufigkeit von Extremereignissen
- Die Bedeutung der Untersuchung der Verkehrssicherheit für das Risikomanagement bei Bäumen
- Baumpflege, Schnittmaßnahmen, Grundsätze der visuellen Beurteilung von Bäumen
- Gutachtenserstattung, Umgang mit Kunden

2.4 Spezifische Ausbildung

2.4.1 Zusätzlich zu einer soliden und breiten Grundlage an baumpflegerischem Wissen **muss** eine spezifische Ausbildung in Bezug auf die Baumstatik sowie die Anforderung und Abläufe bei der Durchführung von Zugversuchen absolviert werden. Die folgenden Bereiche **müssen** in jedem Ausbildungsprogramm abgedeckt werden:

- Biomechanik der Bäume, Modelle für das Baumversagen
- Die Wechselwirkung zwischen Wind und Bäumen
- eingehende gerätegestützte Untersuchung von Bäumen
- Aufbringen einer Prüflast und Datenerfassung in einem Zugversuch
- Auswertung der im Zugversuch erfassten Daten
- Interpretation der Ergebnisse, Empfehlung von Sicherungsmaßnahmen und zum weiteren Umgang mit dem Baum
- Unfallverhütung, Einhaltung von Sicherheitsbereichen

2.4.2 Während die spezifische Ausbildung für die Durchführung eines Zugversuchs und die Auswertung und Interpretation der bei einem Zugversuch erfassten Daten durch Teilnahme an einer speziellen Schulung erworben werden **muss, soll** das während dieser Ausbildung erworbene Wissen durch fortlaufende Anleitung, Supervision oder Mentoring durch einen erfahrenen Anwender der Baumstatik ergänzt und gestärkt werden. Vor der eigenständigen Durchführung von Auswertungen **sollen** mindestens 10 Zugversuche von einem Mentor oder erfahrenem Anwender beaufsichtigt werden. Die entsprechende Auswertung und Interpretation **soll** in Supervision durchgeführt werden.

2.4.3 Der Nutzen von Supervision und Mentoring erhöht sich, wenn während dieser Konsolidierungsphase Zugversuche an unterschiedlichen Bäumen unter verschiedenen Bedingungen und an unterschiedlichen Standorten durchgeführt werden und dabei Untersuchung von Wurzel- und Stammdefekten an einer Reihe von verschiedenen Baumarten und in verschiedenen Altersstadien mit unterschiedlicher morphologischer Komplexität erfolgen. Falls eine solche Vielfalt nicht erreicht wurde, **sollen** mehr als 10 begleitete Baumuntersuchungen oder ein längerer Zeitraum für das Mentoring vorgesehen werden.

2.5 Arbeiten im Team – Ausbildungsniveaus von Technikern und Gutachter

2.5.1 Eine Baumbegutachtung durch einen Zugversuch **kann** von einem Team durchgeführt werden, das aus einem oder mehreren Gutachtern und einem oder mehreren durchführenden Technikern besteht, die mit einzelnen Teilen der Ausführung betraut sind.

2.5.2 Selbstverständlich **sollen**, falls Teile der Durchführung einem bestimmten Teammitglied zugewiesen werden, für diese Person die in diesen Standards empfohlenen Voraussetzungen die Schulungselemente und Mentoringphasen in Bezug auf die jeweils übernommenen Aufgaben nachweisbar und angemessen sein.

So **kann** beispielsweise ein Baumpfleger damit beauftragt werden, Sicherheitsbereiche festzulegen, die Maßnahmen zur Verkehrssicherung zu ergreifen, den Zugapparat aufzubauen und die Prüflast einzubringen, während ein Techniker oder Gutachter mit mehr Erfahrung und einer höheren Qualifikation den Zugversuch beaufsichtigen, die Instrumente positionieren und die Prüfdaten erfassen **soll**.

2.5.3 Es ist zwar nicht unbedingt erforderlich, dass ein Techniker, der mit der Leitung eines Zugversuchs und der Erfassung von Zugversuchsdaten betraut ist, über die Fähigkeiten und das Verständnis verfügt, die für eine abschließende Auswertung erforderlich sind, jedoch **soll** der betreuende Gutachter sicherstellen, dass dieser Mangel an Fachwissen die Datenerfassung oder Interpretation der Ergebnisse nicht beeinträchtigt.

2.5.4 *Ein umfassendes Verständnis der Auswertung kann Entscheidungsprozesse, die im Zuge der Datenerhebung vor Ort zu führen sind, positiv beeinflussen.*

3. Der Zugversuch

3.1 Anwendbarkeit

3.1.1 Die Zugversuchsmethode ist für bestimmte Bäume nicht geeignet, daher **soll** vor der Auftragserteilung geklärt werden, ob dieser Ansatz zielführend ist. Es **muss** möglich sein, die Daten, die während eines Zugversuchs erfasst würden, mit einer der Sicherheitserwartung des Baumeigentümers angemessenen Zuverlässigkeit auszuwerten und hinsichtlich einer benötigten Maßnahmenempfehlung zu interpretieren. Die Eignung des Zugverfahrens **soll** anhand der folgenden Kriterien beurteilt werden:

3.1.2 Die Aufbringung einer angemessenen Prüflast **muss** am Standort des Baums mit seiner Umgebung (im Bezug zu benachbarten Strukturen, Bäumen und der Topografie, sowie im Hinblick auf die Intensität und die Art der Nutzung der Umgebung durch Menschen oder Verkehr) physisch und logistisch möglich sein.

3.1.3 Die Aufbringung einer Prüflast **muss** für die Struktur und Morphologie des zu prüfenden Baums unbedenklich sein, so dass eine ausreichend große Last zerstörungsfrei eingeleitet werden kann.

3.1.4 Die aufgebrachte Last und die Reaktion des Baums auf diese Last **müssen** den Randbedingungen und Begrenzungen des Modells entsprechen, das zur Auswertung der erfassten Daten verwendet wird.

3.1.5 Die Untersuchung **soll** bezüglich der entstehenden Kosten im Verhältnis zur Qualität der Empfehlungen, die sich aus der Beurteilung ergeben, bewertet werden. Der Baumeigentümer **soll** dahingehend beraten werden, ob ein Zugversuch ein angemessenes Preis-Leistungs-Verhältnis bietet.

3.1.6 *Es ist wichtig, dass die Durchführbarkeit und Eignung eines Zugversuchs in einem frühen Stadium geprüft werden, noch bevor ein Auftrag erteilt wird, um zu vermeiden, dass der betreffende Baum beschädigt wird oder ein unnötiges bzw. inakzeptables Risiko für die Öffentlichkeit entsteht, und sichergestellt wird, dass die Daten eine zuverlässige Beurteilung des Zustands des Baums erlauben, die in einem angemessenen Verhältnis zu den Kosten der Untersuchung steht.*

Beispielsweise werden Umstände, die nur eine geringe Belastung des Baumes zulassen und entsprechend unzureichende Reaktionen des Baums zur Folge haben, wahrscheinlich keine schlüssige oder nur eine vorsichtige Beurteilung zulassen. In diesem Fall könnten die Kosten für die Durchführung eines Zugversuchs im Verhältnis zur Qualität des Ergebnisses nicht gerechtfertigt sein.

3.2 Prüflast im Zugversuch

3.2.1 Während des Zugversuchs wird eine statische Last auf den Baum ausgeübt, um ein Biegemoment auf den Stamm und ein Drehmoment an der Stammbasis zu erzeugen. Die Höhe der aufgebrachten Last und die Stärke der erzeugten Reaktionen des Baumes werden während des Zugversuchs überwacht und aufgezeichnet.

3.2.2 Die Prüflast **muss** mit einer Vorrichtung aufgebracht werden, die in der Lage ist, eine steigende Last mit gleichmäßiger, langsamer und kontrollierter Geschwindigkeit aufzubringen, bis ein gewünschter Höchstwert erreicht ist. Die Höchstlast, die während einer Prüfung aufgebracht wird, **soll** durch das Ausmaß der Reaktion des Baums bestimmt werden und **muss** innerhalb der sicheren Betriebsgrenzen

der Bauteile liegen, aus denen sich die Vorrichtung zusammensetzt. Festgelegte Schwellenwerte für die Stammbiegung sowie die Stammfuß- bzw. Wurzelballenneigung **dürfen** während der Prüfung **nicht** überschritten werden, um sicherzustellen, dass der zu prüfende Baum nicht beschädigt wird und die Prüfung als zerstörungsfrei gelten kann. Die Prüflast **darf nicht** durch ruckartige Stoßbelastung aufgebracht werden.

3.2.3 Ruckartige Belastungen können während des Zugversuchs nicht so gehandhabt werden, dass sichergestellt wird, dass die Spitzenbelastungen innerhalb des sicheren Arbeitsbereichs der verwendeten Ausrüstung bleiben, und dass davon ausgegangen werden kann, dass kritische Werte oder Schwellenwerte sowohl für die Stammbiegung als auch für die Stammfuß- bzw. Wurzelballenneigung nicht überschritten werden. Daten, die während einer ruckartigen Stoßbelastung erfasst wurden, lassen keinerlei belastbare Auswertung zu.

3.2.4 Die Prüflast **soll** in einer Höhe von der Hälfte bis zu zwei Dritteln der Baumhöhe aufgebracht werden, um eine Reaktion zu erzielen, die derjenigen während eines Windereignisses, hinsichtlich der Stammbiegung, so nahe wie möglich kommt.

3.2.5 Bei der Installation des Prüflastsystems in der Baumkrone **soll** der Zustand aller Teile des Baums begutachtet werden, die Kräften ausgesetzt werden, und nicht nur die Abschnitte, für die der Zugversuch und die Auswertung vorgesehen sind.

3.2.6 Die Aufbringung einer Last während des Zugversuchs kann dazu führen, dass Teile der Krone brechen, bevor die überwachten Teile des Baums die Schwellenwerte erreichen, auch wenn die zu überprüfenden Teile die am stärksten ausgeprägten Mängel aufweisen.

3.2.7 Hohlräume, schwache Zwiesel, Zwiesel mit eingeschlossener Rinde oder Kronenteile mit kleinem Durchmesser **müssen** innerhalb ihrer Grenzen belastet werden. Es **muss** eine visuelle Beurteilung durchgeführt werden, um festzustellen, ob die Kronenteile, die während eines Zugversuchs belastet werden, ausreichende Sicherheitsreserven für die zu erwartenden Belastungen aufweisen. Bei dieser Beurteilung **soll** ein vorsichtiger Ansatz gewählt werden. An allen Stellen der Baumkrone, an denen erwartet wird, dass die zu erwartende Prüflast die entsprechende Tragfähigkeit des Teils übersteigen könnte, **sollen** Messgeräte angebracht und die gemessene Reaktion während der Lasteinleitung überwacht werden. So **soll** die maximale Prüflast ermittelt werden, die während des Zugversuchs und auch für nachfolgende Prüfungen in der gleichen Lastrichtung zugelassen werden kann.

3.2.8 Die maximale Prüflast, die während einer Reihe von Zugversuchen auf einen zu prüfenden Baum im Hinblick auf die Reaktion der zu untersuchenden Teile des Stamms oder der Stammbasis sicher aufgebracht werden kann, **soll** während des ersten Versuchsdurchgangs ermittelt werden.

Um beispielsweise sicherzustellen, dass der Baum nicht überlastet wird, **sollen** die Instrumente an den erwarteten schwächsten Punkten angebracht werden. Die maximalen Reaktionen, die dort während des ersten Belastungsgangs erreicht werden, **sollen** weit unter den Grenzwerten liegen, um mit einer ausreichenden Sicherheitsreserve eine Überlastung zu vermeiden, falls die schwächste Position doch erst während der nachfolgenden Lastgänge entdeckt wird. Wenn bei jeder Prüfung mehrere Instrumente zur Verfügung stehen, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass der schwächste Punkt während der ersten Prüfung erkannt wird. Dies verringert die Wahrscheinlichkeit, dass die Grenzwerte an den Stellen überschritten werden, die erst bei den folgenden Lasteinleitungen überprüft werden.

3.2.9 Das Widerlager **muss** ausreichend schwer oder fest verankert sein, damit die zu erwartende Prüflast sicher aufgebracht werden kann. Wenn ein Baum als Widerlager verwendet wird, **soll** die Last so nahe wie möglich am Boden eingeleitet werden, um das auf den Ankerbaum wirkende Moment zu minimieren. Bäume mit dünner oder brüchiger Rinde **sollen**, insbesondere im Frühjahr, geschützt werden, um sicherzustellen, dass sie beim Aufbringen der Prüflast nicht beschädigt werden.

3.3 Lastrichtung

3.3.1 Eine Prüflast **soll** in der schwächsten Richtung in Bezug auf die Wuchsform des Stamms, den dort zu beurteilenden Schaden bzw. Defekt oder in Bezug auf vermutete Einschränkungen der Wurzelentwicklung, vorhandene Wurzeldurchtrennungen, Abgrabungen oder ein vermutetes Fortschreiten von Fäule aufgebracht werden. Es **soll** jedoch berücksichtigt werden, dass eine Beurteilung der schwächsten Richtung in Bezug auf die Tragfähigkeit möglicherweise nicht den niedrigsten Sicherheitsfaktor für den betreffenden Baum ergibt. Daher **soll** auch die Richtung beachtet werden, in der die größte natürliche Windbelastung zu erwarten ist, entweder im Hinblick auf die Windgeschwindigkeit, Aspekte der Exposition und des Schutzes oder in Bezug auf die tatsächliche Kronengröße und -form.

3.3.2 Das Hauptziel des Zugversuchs besteht darin, den niedrigsten Sicherheitsfaktor zu ermitteln und nicht einfach den schwächsten Bereich des betreffenden Baums zu lokalisieren. Der wahrscheinlichste Punkt des Versagens entspricht nicht immer dem Bereich des größten Tragfähigkeitsverlustes.

3.3.3 Mit Ausnahme bestimmter Sonderfälle **sollen** die Prüfkraften immer in zwei senkrecht zueinanderstehenden Richtungen aufgebracht werden, um eine vollständige Bewertung der Struktur bei Windbelastung im Verhältnis zur Tragfähigkeit sicherzustellen. Ausnahmen können dann gegeben sein, wenn der Zweck einer Untersuchung darin besteht, die Stabilität nach einer Grabung nahe am Baum zu beurteilen, oder wenn erkennbare Abschirmungseffekte eine natürliche Windbelastung nur aus einer Richtung zulassen, oder wenn eine Belastung im Zugversuch physisch nur in einer Richtung möglich ist. Unter diesen Umständen **sollen** die sich daraus ergebenden Einschränkungen dem Kunden oder Baumeigentümer deutlich mitgeteilt werden.

3.4 Vorrichtung zur Einleitung der Prüflast (Zugapparat)

3.4.1 Die Prüflast **muss** mit einer Vorrichtung oder Maschine aufgebracht werden, die in der Lage ist, die für den Zugversuch erforderliche langsame, stetige und kontrollierte Laststeigerung zu bewirken.

3.4.2 Die Komponenten der Ausrüstung, die innerhalb des Systems zur Aufbringung einer Prüflast auf den zu prüfenden Baum verwendet werden, **müssen** für die Größenordnung der aufgebrachten Lasten geeignet sein und **müssen** den einschlägigen nationalen Rechtsvorschriften in Bezug auf Arbeitslasten, Nachverfolgbarkeit, Prüfung, Wartung und Inspektion entsprechen. Ein System zum Aufbringen einer Last während eines Zugversuchs **muss** so dimensioniert sein, dass die erforderlichen Lasten innerhalb der sicheren Betriebsgrenzen oder der Betriebslastgrenze des schwächsten Bauteils des Systems liegen.

Beispielsweise wird eine Prüflast üblicherweise über ein System auf einen Baum aufgebracht, das aus einer handgeführten Stahlseilwinde, einem Stahlseil, einem Seil mit geringer Dehnung, Schlingen, Schäkeln und Karabinern besteht. Wenn Karabiner in einem System enthalten sind, **muss** besonders darauf geachtet werden, dass sie unter Last korrekt ausgerichtet sind. Zudem **soll** darauf geachtet werden, dass sie ausreichend dimensioniert sind und eine angemessene Sicherheitsreserve aufweisen, um das Risiko eines Unfalls zu minimieren.

3.5 Gefahrenbereich/ Sicherheitsaspekte

3.5.1 Vor der Durchführung eines Zugversuchs **muss** eine Risikobewertung durchgeführt werden. Die Risikobewertung **soll** die Anforderungen der einschlägigen nationalen Leitlinien in Bezug auf Unfallverhütung und Arbeitssicherheit berücksichtigen. Ein geeigneter Gefahrenbereich **soll** festgelegt werden, um für die Dauer des Zugversuchs die Risiken für die Öffentlichkeit angemessen zu kontrollieren.

3.5.2 Wenn die Tragfähigkeit des verwendeten Ankerpunktes im betreffenden Baum und potenzielle Schwachstellen in den Teilen der Krone, die belastet werden könnten (auch wenn sie nicht Gegenstand der Untersuchung sind), korrekt berücksichtigt werden, wenn außerdem der Zugapparat bzw. das Seilsystem korrekt bemessen sind und ordnungsgemäß gewartet wurden, kann die Wahrscheinlichkeit eines maßgeblichen Versagens der Ausrüstung oder von Teilen des betreffenden Baums während eines Zugversuchs als gering angesehen werden. Der Gefahrenbereich **soll** so gewählt werden, dass die Öffentlichkeit während des Zugversuchs ferngehalten wird. In erster Linie können Probleme entstehen, wenn kleine Kronenteile oder Totholz sich aus der betreffenden Baumkrone lösen, sowie mit Stolpergefahren, die von Seilen und Stahlkabeln entweder am Boden liegend oder in etwas angehobenem und gespanntem Zustand ausgehen.

3.5.3 Die Festlegung des Gefahrenbereichs **soll** sich an den einschlägigen nationalen Richtlinien und Normen orientieren. Die Aufbringung einer Prüflast ist nur für kurze Zeit erforderlich, so dass flexible Absicherungen als angemessen erachtet werden **können**, um Störungen während der Untersuchung eines Baums mit Hilfe von Zugversuchen zu minimieren.

Beispielsweise **kann** der Zugang für Fußgänger durch physische Barrieren oder durch die Verwendung von Schildern in Kombination mit Personal geregelt werden. Die Nutzung von Fußwegen und Durchgängen **kann** während der Aufbringung der jeweiligen Prüflast kurzzeitig eingeschränkt werden. In ähnlicher Weise **können** verkehrsrechtliche Vorgaben entweder eine vollständige Straßensperrung und eine Umleitung erfordern, oder aber **können** für die kurze Abfolge von Lastgängen jeweils nur eine vorübergehende Sperrung zulassen, um die Auswirkungen der Untersuchung auf den Verkehrsfluss zu verringern.

3.5.4 Die Installation des Zugseils im Baum **kann** entweder durch kletternde Baumpfleger oder von einer Hubarbeitsbühne aus erfolgen. In beiden Fällen gelten die einschlägigen nationalen Rechtsvorschriften für die erforderliche Zertifizierung des Personals sowie für die Wartung und Prüfung der Geräte und/oder Anlagen. Die üblichen Anforderungen an eine geeignete und angemessene persönliche Schutzausrüstung sowie der Nachweis einschlägiger Erfahrung **sollen** ebenfalls berücksichtigt werden.

3.6 Technische Anforderungen an Instrumente und Sensoren

3.6.1 Bei einem Zugversuch wird eine Last aufgebracht, um ein Biegemoment im Stamm und ein Kippmoment an der Basis des Baums zu erzeugen. Die Reaktionen des zu prüfenden Baums auf die Prüflast sind gering. Die Instrumente, die zur Messung dieser Reaktionen während einer Prüfung eingesetzt werden, **müssen** daher über Sensoren verfügen, deren Messgenauigkeit ausreicht, um diese Reaktionen zu erfassen, so dass eine Auswertung im Rahmen des entsprechenden Modells möglich ist.

3.6.2 Damit eine Auswertung als belastbar angesehen werden kann, werden die folgenden Genauigkeiten als erforderlich angesehen:

- Kraftmesser/Dynamometer - 0,2 kN
- Dehnungsmesser/Elastometer - $5 \mu\epsilon$ ($1/1000 \text{ mm} = 1 \mu\text{m}$ auf 200 mm Grundlänge)
- Neigungsmesser/Inclinometer - $0,002^\circ$ ($1/500^\circ$)

3.6.3 Die erforderliche Genauigkeit für den in einem Dehnungsmessgerät eingebauten Sensor hängt vom Abstand zwischen den Stiften, Nägeln oder Schrauben ab, mit denen das Messinstrument am Stamm des Baums befestigt wird. Die technischen Anforderungen an den Sensor werden daher durch die Konstruktion des Messinstruments bestimmt. Eine Vergrößerung des Abstands zwischen den Messpunkten könnte die Verwendung eines Sensors mit geringerer Genauigkeit ermöglichen, hat aber die unerwünschte Folge, dass die Wahrscheinlichkeit steigt, dass die gemessene Reaktion während der Belastung verzerrt wird (z.B. durch die Astigkeit des Stammes, Verdickungen oder eine starke lokale Krümmung des Stammes). In der Folge verringert sich die Anzahl der geeigneten Messpositionen für die Aufzeichnung der Stammbiegung bei den meisten Bäumen.

3.6.4 Um einen zerstörungsfreien Zugversuch durchführen zu können, **müssen** die Geräte oder die Software, die zur Überwachung und/oder Aufzeichnung der Versuchsdaten eingesetzt werden, die Reaktionen des zu prüfenden Baums und die aufgebrachte Kraft mit einer angemessenen Auflösung darstellen, um die Untersuchung beenden zu können, bevor kritische Werte erreicht werden.

3.6.5 Um die erfassten Daten mit ausreichender Sicherheit auswerten zu können, **muss** eine Datenabtastrate erreicht werden, die der Genauigkeit der Instrumente, der Dauer der Datenerfassung und der Stärke der erzielten Reaktion angemessen ist.

3.6.6 *Wenn eine enge Korrelation zwischen den aufgebrachten Lasten und den gemessenen Reaktionen des Baums hergestellt werden kann, steigt das berechtigte Vertrauen in die Verwertbarkeit der Messdaten. Ebenso kann die Zuverlässigkeit der Extrapolation der Daten im Zuge der Auswertung umso höher eingeschätzt werden, je stärker die während der Untersuchung erzielten Reaktionen des Baums sind.*

Beispielsweise wird die Belastbarkeit der Extrapolation unweigerlich verringert, wenn die aufgezeichneten Daten durch Windeinwirkung erheblich beeinflusst werden, oder wenn die Reaktion des Baums gering ist und weit von der bei der Bemessungswindlast zu erwartenden Reaktion abweicht. Gleiches gilt, wenn während des Zugversuchs nur sehr wenige Datenpunkte erfasst werden.

3.6.7 Es ist wichtig, dass die verwendeten Messinstrumente robust genug für den Einsatz im Freien sind und regelmäßig kalibriert werden, um sicherzustellen, dass Genauigkeit und Präzision zuverlässig

bleiben. Die Geräte **sollen** vom Hersteller oder von einem kompetenten, geschulten oder zertifizierten Techniker gewartet und kalibriert werden. Je nach Häufigkeit der Verwendung der Prüfgeräte wird eine Wartung und Kalibrierung im Jahresturnus als angemessenes Intervall vorgeschlagen.

3.7 Datenerhebung

3.7.1 Um eine zuverlässige und umfassende Bewertung eines Baums zu erhalten, **sollen** die Instrumente an ausreichend vielen Stellen am Stamm und am Stammfuß angebracht werden, um sicherzustellen, dass die Positionen mit dem größten Tragfähigkeitsverlust und den niedrigsten Sicherheitsfaktoren während der Untersuchung erfasst werden. Je komplexer die Baumgestalt ist oder je weniger Informationen über die Art der Schäden am Holzkörper vorliegen, desto mehr Positionen wären bei einer Untersuchung im Zugversuch angemessen. Die Zuverlässigkeit einer Beurteilung wird in der Regel mit der Anzahl der durchgeführten Messungen (innerhalb von Grenzen) zunehmen.

3.7.2 Damit ein Zugversuch als zuverlässig angesehen werden kann, **sollen** mindestens zwei Lastgänge durchgeführt werden, um zwei Sätze von Messwerten zu Vergleichszwecken zu erhalten. Um die Vertrauenswürdigkeit der Beurteilung eines Baums zu erhöhen, **sollen** die Instrumente an mindestens zwei Stellen an der Stammbasis (bei der Untersuchung von Schäden im Wurzelbereich) und an mindestens vier Stellen am Stamm (bei der Untersuchung eines Stammdefekts) angebracht werden.

Beispielsweise lässt sich durch zwei aufeinanderfolgende Lastgänge die Auswirkung des Windes auf die gemessenen Daten überprüfen oder feststellen, ob bei einem zweiten Lastgang andere Werte in Bezug auf die Neigung gemessen wurden. Auch lässt sich auf diese Weise das korrekte Funktionieren der Instrumente überprüfen.

3.7.3 Um eine zuverlässige Bewertung zu ermöglichen, ist eine ausreichend hohe Prüflast erforderlich, so dass verwertbare Reaktionen hinsichtlich der Biegung des Stammes und der Neigung des Stammfußes oder des Wurzelballens auftreten.

3.7.4 Bei der Stammbiegung sind im Allgemeinen Dehnungsreaktionen von mehr als 150-200 $\mu\epsilon$ (0,015-0,020 %) erforderlich, das entspricht 30-40 μm auf einer Grundlänge von 200 mm.

3.7.5 Hinsichtlich der Stammfuß- oder Wurzelballenneigung ist Vorsicht geboten, wenn im Zugversuch Reaktionen von weniger als 0,05° erreicht werden. Bei solch geringen Neigungswerten ist die Zuverlässigkeit der Extrapolation geringer. Das **muss** bei der Abschätzung der Standsicherheit berücksichtigt werden.

3.7.6 Die Instrumente **müssen** so am Baum positioniert werden, dass sie die entsprechenden Größen am Baum messen, die für die Auswertung in dem angewandten Modell benötigt werden. Werden Dehnungsmessgeräte zur Messung der durch die Stammbiegung verursachten Längsstauchung und -dehnung verwendet, **müssen** die Geräte an der Randfaser parallel zur Faserrichtung positioniert werden, damit die Auswertung mit Bezug zur Elastizitätsgrenze zuverlässig ist. Dehnungsmessgeräte **müssen** außerdem so am Stamm montiert werden, dass sie sich in der Achse der Lastrichtung befinden, damit sichergestellt ist, dass sie die größte hervorgerufene Reaktion hinsichtlich der Stammbiegung erfassen. Bei der Messung der Neigung der Stammbasis oder des Wurzelballens **müssen** die Neigungsmesser in Bodennähe und zwischen den Wurzelanläufen angebracht werden, um zu verhindern, dass die

gemessenen Reaktionen durch den Einfluss der Durchbiegung des Stammes, eine Verflachung seines Querschnitts oder die Rotation einzelner Wurzeln verfälscht werden.

3.7.7 Bei der Dehnungsmessung erhält man in der Regel ein vollständigeres Bild des Baumzustandes, wenn die Biegeaktion sowohl auf der Druck- als auch auf der Zugseite des Stammes gemessen wird.

3.7.8 *Auffallend unterschiedliche Biegeaktionen auf der Zug- und Druckseite eines Stammes könnten auf das Vorhandensein eines außermittigen Hohlraums hinweisen und könnten somit Auswirkungen darauf haben, wie die daraus resultierenden Sicherheitsfaktoren festgelegt werden.*

3.8 Wetterbedingungen

3.8.1 Extreme Witterungsbedingungen während der Baumprüfung können zu Problemen mit der Qualität und Zuverlässigkeit der erfassten Daten und der Logistik der Durchführung der Messung führen oder die Auswertung der Daten erschweren.

3.8.2 **Wind:** Starke Windböen während der Messung können unabhängig von der aufgetragenen Last Reaktionen im Baum in Form von Stammbiegung und Stammfuß- oder Wurzelballenneigung hervorrufen. Sie können auch die Kräfte verändern, die auf das Lastseil einwirken und vom Kraftmesser gemessen werden. Die vom Wind beeinflussten Daten können zwar interpretiert und ausgewertet werden, doch ist die Belastbarkeit des Ergebnisses und der daraus abgeleiteten Empfehlungen vermindert.

3.8.3 Welche Windgeschwindigkeiten sich negativ auf die Zugversuchsdaten auswirken können, hängt von der Höhe des Baums, der Schlankheit seines Stammes und dem Grad der Abschirmung ab, den benachbarte Strukturen bewirken.

3.8.4 **Niedrige Temperaturen:** Bei Temperaturen, die über einen längeren Zeitraum unter dem Gefrierpunkt liegen, **muss** davon ausgegangen werden, dass die Reaktion des Baums auf die aufgetragene Prüflast verzerrt wird. Unter diesen Bedingungen wird von der Durchführung eines Zugversuchs abgeraten.

3.8.5 Wenn das in einem Baumstamm vorhandene Wasser gefroren ist, stimmt der Elastizitätsmodul des Holzes nicht mit den Materialeigenschaften der Baumart überein, mit denen die Daten bei der Auswertung verglichen werden. Unter diesen Bedingungen **muss** davon ausgegangen werden, dass bei der Auswertung höhere Sicherheitsfaktoren ermittelt werden als für den betreffenden Baum angemessen wären.

3.8.6 Aus ähnlichen Gründen fällt bei gefrorenem Boden die Neigungsreaktion des Wurzelballens unter der aufgetragenen Prüflast geringer aus als bei Temperaturen über dem Gefrierpunkt. Die Auswertung der Daten nach der Verallgemeinerten Kippkurve würde in diesem Fall höhere Sicherheitsfaktoren ergeben es als für den betreffenden Baum angemessen wäre. Gefrorener Boden ruft eine künstliche, vorübergehende Versteifung des Wurzelsystems hervor.

3.8.7 **Hohe Temperaturen:** Elektronische Messgeräte sind im Allgemeinen empfindlich gegenüber Temperaturschwankungen. Extreme Hitze kann eine Notabschaltung von Geräten auslösen, um Hardware und Sensoren zu schützen. Erhebliche Temperaturschwankungen können bei einigen Sensoren zu Abweichungen der Messdaten von den wahren Werten führen. Dies ist im Allgemeinen kein Problem für den Zugversuch, da die Datenerfassung nur über einen kurzen Zeitraum erfolgt. Es ist jedoch ratsam,

die Geräte an heißen Tagen nicht der prallen Sonne auszusetzen, um mögliche Verzerrungen der Messungen zu vermeiden.

3.8.8 Bodenfeuchtigkeit: Die Reaktion eines Baums auf eine Prüflast, die bei wassergesättigtem Boden aufgebracht wird, führt wahrscheinlich zu einer stärkeren Reaktion als üblich, so dass ein entsprechend niedrigerer Sicherheitsfaktor ermittelt wird. Die Umstände, die der Beurteilung eines Baumes zugrunde gelegt werden, **sollen** vorsichtig dahingehend überprüft werden, ob sie als eine sinnvolle Annahme gewertet werden können. Die Wassersättigung des Bodens **kann** dabei als vergleichsweise seltenes Ereignis angesehen werden.

3.8.9 Bei Bäumen, die sich in dauerhaft gesättigten Böden oder an überfluteten Standorten entwickelt haben, könnte das im Modell zugrunde gelegte Kippverhalten für eine Beurteilung der Standsicherheit möglicherweise nicht geeignet sein. Dies **soll** vorsichtig abgewogen werden, wenn solche Bäume mit Hilfe von Zugversuchen untersucht werden sollen.

3.9 Nachfolgende Tests/Nachuntersuchungen

3.9.1 Die während des Zugversuchs erhobenen Daten stellen den Baumzustand zum Zeitpunkt der Prüfung dar. Insbesondere wenn Bäume Prozesse der Holzzersetzung im Baum stattfinden, **muss** davon ausgegangen werden, dass sich der Baumzustand ändert und eine Nachuntersuchung angebracht sein **kann**.

3.9.2 Falls bei einer Nachuntersuchung ein Vergleich der Messwerte mit der Erstbeurteilung angestrebt wird, **soll** generell versucht werden, soweit als möglich die Belastungsrichtungen und Positionen der Messinstrumente zu reproduzieren. Damit kann eine Beurteilung der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Holzabbaus oder der Entwicklung des Kompensationswachstums erfolgen.

3.9.3 Weil eine Wiederholung des Zugversuchs zwar wünschenswert, aber eine exakte Kopie nicht erreichbar ist, **muss** ein geringes Maß an Variabilität zwischen den Messungen berücksichtigt werden, wenn Rückschlüsse aus dem Ergebnis gezogen werden.

3.9.4 Die Verwendung der gleichen Nagel- oder Stiftpositionen an einem Stamm für mehr als eine Lastanwendung **soll** vermieden werden.

3.9.5 Infolge der Biegung des Stammes während eines Zugversuchs können sich die Nägel oder Stifte lockern oder die Löcher im Stamm für nachfolgende Prüfungen am selben Tag vergrößert werden. Durch Wundholzbildung kann es zu Veränderungen an den Nagelpositionen kommen, die die Messergebnisse in den folgenden Jahren beeinflussen können.

3.10 Untersuchungsprotokolle und Arbeitsabläufe

3.10.1 Bei einem Zugversuch werden große Mengen an Daten mit empfindlichen Instrumenten aufgezeichnet. Es ist wichtig, dass robuste Arbeitsabläufe entwickelt und eingehalten werden, damit die Testdaten nach Abschluss der Untersuchung nachvollzogen werden können, zum einen bevor Empfehlungen an den Baumeigentümer gegeben werden, und zum anderen nachträglich durch Dritte.

3.10.2 *Ein erfolgreicher und belastbarer Zugversuch erfordert ein hohes Maß an Sorgfalt und Detailgenauigkeit und bietet zahlreiche Möglichkeiten Fehler zu machen. Ein definierter Arbeitsablauf erleichtert es, fehlerhafte Daten zu untersuchen, nachzuvollziehen, zu überprüfen oder zu erklären, falls bei der Auswertung unerwartete Ergebnisse erzielt werden.*

3.10.3 Die Position und die Ausrichtung der Messinstrumente **sollen** entweder in einem Formular beschrieben, über eine Software erfasst oder durch eine Reihe von Fotos dokumentiert werden, damit die jeweils von den Instrumenten erfassten Daten miteinander verglichen und in Beziehung gesetzt werden können.

So kann beispielsweise die an Wurzelanläufen gemessene Neigung durch die individuelle Reaktion der Wurzeln überlagert werden, die manchmal eine leichte Drehung um ihre Achse beinhaltet. Dies kann starke seitliche Neigungswerte hervorrufen, die teils sogar die Änderung der Stammfuß- oder Wurzelneigung in Lastrichtung übersteigen. Solche nicht repräsentativen Werte **müssen** anhand der Dokumentation des Zugversuchs erkennbar sein, um sie von den Daten korrekt positionierter Instrumente unterscheiden zu können.

Außerdem kann es bei extrem ausgehöhlten Bäumen schwierig sein, die Reaktion des Wurzelsystems an der Stammbasis zu messen. Die Auslenkung infolge der Querschnittsverflachung des Stammes kann die Neigung des Wurzelballens an bestimmten Stellen übersteigen, so dass negative Neigungswerte auftreten. Diese **müssen** von negativen Neigungsdaten unterschieden werden, die entstanden sind, weil ein Instrument in einer Ausrichtung platziert wurde, für die negative Messwerte zu erwarten sind. In diesen seltenen Fällen **müssen** auch die Auswirkungen der Querschnittsverflachung auf die Beurteilung der Bruchsicherheit berücksichtigt werden (vgl. 5.3.15).

4. Windlastanalyse

4.1 Definieren eines Lastszenarios

4.1.1 Ein wesentlicher Bestandteil jeder Beurteilung eines Bauwerks nach den Grundsätzen der Statik ist die Festlegung einer Last, für die das Bauwerk ausgelegt ist. Jede Beurteilung der Stand- und Bruchsicherheit eines Baumes nach baumstatischen Grundsätzen **soll** daher mit Bezug auf ein als Referenz gewähltes oder als Grenzwert eingestuftes Windereignis durchgeführt werden, das dazu dient, das berücksichtigte Lastszenario zu definieren.

4.1.2 Der Zweck einer Windlastanalyse besteht darin, eine Bemessungswindlast abzuschätzen und als Moment auszudrücken, mit der die Biegebelastbarkeit des Stammes und die Verankerungskraft des Wurzelballens in Verhältnis gesetzt wird, um die Stand- und Bruchsicherheit des Baums zu beurteilen. Eine Windlastanalyse besteht aus drei Komponenten:

- das ausgewählte regionale Sturmereignis
- der Einfluss der lokalen Topographie und der angrenzenden Strukturen (Gebäude und andere Bäume) auf die Windgeschwindigkeiten im Baumumfeld
- die Wechselwirkung zwischen der entstehenden Windeinwirkung und dem betroffenen Baum

4.2 Auswahl einer Bemessungswindgeschwindigkeit

4.2.1 Sturmereignisse werden durch die Intensität und die Häufigkeit beschrieben, mit der sie in einer bestimmten Region auftreten. Folglich **soll** die Wahl eines Windereignisses als Referenz- oder Grenzwert für die Beurteilung der Stand- und Bruchsicherheit eines Baumes als Entscheidung betrachtet werden, die auf einer Risikoabschätzung beruht. Für keinen Baum kann garantiert werden, dass er allen möglichen Windereignissen standhält.

4.2.2 Ein Baum **soll** daher in Bezug auf ein Windereignis bewertet werden, das zwar eine relativ geringe Eintrittswahrscheinlichkeit innerhalb eines beliebigen Jahres hat, für das es aber als vernünftig und angemessen angesehen werden kann, seine Managementpläne danach auszurichten. Das Windereignis, auf das sich die Baumbewertung bezieht, **muss** klar beschrieben werden, damit ein Dritter das Ausmaß des mit der Bewertung verbundenen Risikos bestimmen kann.

So **kann** beispielsweise ein Sturmereignis, bei dem die Wahrscheinlichkeit, dass die Windgeschwindigkeiten in einem Jahr überschritten werden, bei 2 % liegt (oftmals als das 50-jährliche Sturmereignis beschrieben), als geeignete Grundlage für den Umgang mit Risiken durch Bäumen angesehen werden. Umgekehrt sind Wirbelstürme, Tornados und Fallböen wohl keine als Referenz für Untersuchungen zur Verkehrssicherheit geeigneten Ereignisse, da die meisten Bäume unter diesen Umständen versagen können.

4.2.3 Die Einstellung zum Risiko ist unterschiedlich. Wenn ein geringeres Risiko angestrebt oder gefordert wird, **kann** es sinnvoll sein, den betreffenden Baum in Bezug auf ein Ereignis mit geringerer jährlicher Häufigkeit zu bewerten; ein selteneres Ereignis mit entsprechend höheren Windgeschwindigkeiten. Dies kann der Fall sein aufgrund von:

- nationalen Richtlinien oder nationaler Gesetzgebung
- erheblichen oder unannehmbaren Folgen eines Baumversagens
- Vorgaben oder Haltung des Baubesitzers in Bezug auf von ihm als akzeptabel erachtete Risiken
- besonders hohen Erwartungen an die Belastbarkeit der Ergebnisse der Untersuchung

So kann beispielsweise ein Stromausfall während eines Sturms erhebliche soziale und wirtschaftliche Auswirkungen haben, so dass der Schutz gefährdeter Gesellschaftsgruppen von den Behörden durch die Verhängung hoher Geldstrafen für Stromausfälle abgesichert sein kann. Als Reaktion darauf kann die von den Energieversorgern vorgenommene Risikobewertung zu einer strengeren Bewertung führen, als dies normalerweise als zumutbar angesehen werden würde. Unter diesen Umständen **kann** es eventuell angemessen sein, Bäume in Bezug zu einem Sturmereignis zu bewerten, das statistisch nur einmal in 100 Jahren zu erwarten wäre.

4.2.4 *Unabhängig von dem als Referenz oder Grenzwert gewählten Windereignis **soll** die Quelle oder die Begründung für dessen Wahl und den Ansatz der entsprechenden Windgeschwindigkeit in der Windlastanalyse klar beschrieben werden, damit die Risikoabschätzung und die daraus abgeleiteten Empfehlungen nachvollzogen werden können.*

4.2.5 Es gibt verschiedene Quellen und Ansätze, die bei der Auswahl eines Windereignisses als Referenz oder Grenzwert herangezogen werden können.

4.3 Quelle 1. Technische Normen

4.3.1 Richtwerte für Stärke und Häufigkeit von Windereignissen für eine Region in einem Jahreszeitraum, die von Ingenieuren für baustatische Berechnungen heranzuziehen sind, finden sich in nationalen technischen Normen, die Architekten und Ingenieuren, die mit der Planung und Dimensionierung von Bauwerken betraut sind, als Informationsquelle und Anleitung dienen.

4.3.2 In diesen Normen werden die Angaben zur Windgeschwindigkeit häufig in Form von Windzonen oder anderen räumlichen Bezügen mit den entsprechenden mittleren Windgeschwindigkeiten im Sturm dargestellt, die von Ingenieuren bei der Bemessung von Gebäuden zu berücksichtigen sind.

Zum Beispiel können Angaben zu den Windzonen oder den zu verwendenden design-Windgeschwindigkeiten den nationalen Anhängen zu EN 1991-1-4:2005 Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4 Allgemeine Einwirkungen - Windeinwirkungen entnommen werden. Windzonen werden allgemein in ISO 4354:2009 Windeinwirkungen auf Bauwerke eingeführt. DIN 1055-4:2005-03 Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 4: Windlasten enthält die gleichen Windzonen wie der neuere Anhang zum Eurocode.

4.3.3 Eurocodes und ISO-Normen bieten einen Rahmen für die Auswahl geeigneter Windgeschwindigkeiten und deren Anpassungen, die in die Windlastberechnungen einfließen. Sie können bei der Festlegung bestimmter Faktoren (z.B. Geländekategorien) herangezogen werden, die in eine für die Baumuntersuchung geeignete Windlastanalyse einfließen können.

4.4 Quelle 2. Lokale und saisonale meteorologische Daten

4.4.1 Die nationalen technischen Normen, die bezüglich der Windzonen als Informationsquelle herangezogen werden können, wurden für die Konstruktion von menschengemachten Bauwerken ausgelegt. Jeder Windzone wird eine Bemessungswindgeschwindigkeit zugeordnet, die während eines Sturms in unterschiedlichen Regionen mit einer bestimmten jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit auftritt.

4.4.2 Die in den technischen Normen dargestellten Windzonen decken in der Regel große Gebiete ab. Zonen, die Regionen enthalten, in denen Sturmereignisse typischerweise häufiger auftreten, sind oft auch durch ein höheres Maß an Unterschieden innerhalb der Zone gekennzeichnet. Die diesen Zonen zugewiesenen Designwindgeschwindigkeiten entsprechen Sturmereignissen mit einer Intensität, die nur für bestimmte kleine Gebiete innerhalb der Zone relevant sind. Die Beibehaltung eines angestrebten Sicherheitsfaktor bei der Gebäudeplanung führt lediglich zu erhöhten Baukosten. Die Auswirkungen auf die Bewertung natürlicher Strukturen können ein größeres Problem darstellen. In diesen Windzonen mit höheren Design-Windgeschwindigkeiten entsprechen die in eine Windlastanalyse einbezogenen Sturmereignisse für einen großen Teil der von einer Zone abgedeckten Region einem unrealistisch seltenen Windereignis.

4.4.3 Wenn zuverlässige regionale oder lokale, amtliche meteorologische Daten verfügbar sind, **können** Anpassungen in der Windlastanalyse vorgenommen werden, um die Windgeschwindigkeiten, die an einem bestimmten Ort innerhalb einer Windzone tatsächlich auftreten, angemessener widerzuspiegeln. Meteorologische Daten **müssen** in einer ausreichenden Auflösung vorliegen, um eine genaue Schätzung der durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten und Spitzenböen zu ermöglichen, die während eines Sturmereignisses in der Region typisch sind. Die Daten **müssen** einen ausreichend langen historischen Zeitraum abdecken, um die Wiederkehrperioden von Stürmen abzuschätzen. Ein einfacher Verweis auf die maximale Windgeschwindigkeit, die an einer bestimmten Wetterstation aufgezeichnet wurde, wäre im Allgemeinen kein geeigneter Bezugswert für die Beurteilung der Verkehrssicherheit im Rahmen des üblichen Risikomanagements.

4.4.4 In küstennahen Zonen treten die maximalen Windgeschwindigkeiten, die für die Einteilung der Windzonen Verwendung finden, in der Regel in den Wintermonaten auf, während sich die Windwiderstandsbeiwerte für Laubbäume zwischen den unbelaubten und den belaubten Phasen deutlich unterscheiden. Die Auswertung eines Laubbaums in Bezug auf ein Sturmereignis, das höchstwahrscheinlich nicht während der Vegetationsperiode auftritt, wäre daher nicht angemessen und würde die tatsächlich zu erwartende Windeinwirkung überschätzen. Eine solche Analyse würde bedeuten, dass ein Laubbaum so zu beurteilen sei, als müsste er einem Wintersturm im belaubten Zustand standhalten.

4.4.5 Wenn zuverlässige offizielle regionale oder lokale meteorologische Daten verfügbar sind, **kann** eine saisonale Anpassung in der Windlastanalyse berücksichtigt werden, um die tatsächlichen Windgeschwindigkeiten, die in einer Windzone während der belaubten Zeit eines Laubbaums auftreten können, angemessener abzubilden.

4.4.6 Bei solchen saisonalen Anpassungen **soll** die Länge der Vegetationsperiode, insbesondere im Hinblick auf den möglichen Einfluss des Klimawandels, berücksichtigt werden, um sicherzustellen, dass angemessene Daten zur Windgeschwindigkeit in die Bewertung einfließen.

4.5 Quelle 3. Die Beaufort-Skala

4.5.1 Wenn die nationalen Windzonenangaben als zu streng angesehen werden oder keine zuverlässigen lokalen meteorologischen Daten verfügbar sind, **soll** ein geeignetes Windereignis anhand der Beaufort-Skala definiert werden. Die Beaufort-Skala teilt Windereignisse in Klassen ein, die auf visuellen Beobachtungen und Beschreibungen beruhen, die ursprünglich bei Beobachtungen auf See gemacht wurden.

4.5.2 Ein geeigneter Referenzwert für die Bewertung von Bäumen auf der Grundlage der visuellen Beobachtungen auf der Beaufort-Skala **kann** ein Sturm der Stärke 9 sein, der auf der Beaufort-Skala als ein Sturm beschrieben wird, bei dem erstmals strukturelle Schäden auftreten. Ein Windereignis der Stärke 9 entspricht einem Sturm mit mittleren Windgeschwindigkeiten im Bereich von 41-47 Knoten, 76-87 km/h oder 21-24 m/s.

4.5.3 Ein Sturm der Stärke 10, schwerer Sturm, wird als ein Windereignis beschrieben, bei dem Bäume gebrochen oder entwurzelt werden. Im Hinblick auf das Risikomanagement könnte es daher als unangemessen angesehen werden, von jedem Baum zu erwarten, dass er einem Sturm dieser Stärke standhält.

4.5.4 An Land wird einem Sturm der Stärke 9 auf der Beaufort-Skala eine mittlere Windgeschwindigkeit von 22,5 m/s und begleitenden Spitzenböen mit 32,6 m/s in Standardexposition (offene Landschaft, Messhöhe in 10 m über Gelände) zugeordnet. In der Vergangenheit wurde diese Böenwindgeschwindigkeit als äquivalent zur Untergrenze der Stufe 12 auf der Beaufort-Skala aufgefasst und als Orkanstärke bezeichnet. Die Bezugnahme auf ein Ereignis der Stärke 12 auf der Beaufort-Skala ohne Angabe der zugehörigen mittleren Windgeschwindigkeiten und Spitzenböen kann als irreführend angesehen werden.

4.5.5 Es ist wichtig, die Auswahl des Windereignisses, das als Referenz oder Grenzwert der Auswertung zugrunde gelegt wurde, transparent und eindeutig zu formulieren, damit die Analyse von Dritten beurteilt werden kann und so überprüfbar wird, ob die Grundlagen, auf denen die daraus resultierenden Entscheidungen getroffen wurden, nachvollziehbar und angemessen sind.

4.6 Der Einfluss des Geländes und der Topographie

4.6.1 Wenn ein regionales Sturmereignis eine Landmasse überströmt, beeinflussen die Unebenheiten der Topographie zusammen mit den Hindernissen in der Landschaft (künstliche Strukturen und Bäume) die Windgeschwindigkeit und die Struktur des Windes im lokalen Maßstab. Mit zunehmender Rauigkeit der Oberflächenschicht sinkt die durchschnittliche Windgeschwindigkeit in einer definierten Höhe über dem Boden (gemessen in 10 m Höhe gemäß internationaler Konvention), aber die Häufigkeit und Intensität der Böen nehmen zu.

4.6.2 Das Modell, das der Windlastanalyse zugrunde liegt, **muss** die Auswirkungen der Rauigkeit des Geländes in einem angemessenen Bereich um den Standort des Baums berücksichtigen und **muss** den Einfluss dieser Geländerauigkeit auf die Struktur des Windes wiedergeben, um sicherzustellen, dass geeignete Windprofile in das Modell übernommen werden.

So werden beispielsweise Gelände- oder Rauigkeitskategorien und entsprechende Anpassungsfaktoren in internationalen Normen und den entsprechenden nationalen Anhängen für den Entwurf von Bauwerken beschrieben.

4.6.3 Die Faktoren, die bei der Windlastanalyse verwendet werden um den Einfluss der jeweiligen Geländekategorie auf das Windprofil abzubilden, **müssen** in der Beurteilung klar dargestellt werden, damit das Ergebnis der Untersuchungen durch einen Dritten überprüft werden kann.

4.6.4 Werden bei der Bewertung von Bäumen - wegen spezieller Umstände - diese Faktoren adaptiert, **muss** eine klare Begründung für die gewählte Vorgehensweise vorgelegt werden.

4.7 Der Einfluss der unmittelbaren Umgebung

4.7.1 Vom Menschen geschaffene Strukturen und die Vegetation in der unmittelbaren Umgebung des Baums können die auf den Baum wirkende Windlast beeinflussen, indem sie den Baum abschirmen oder die Windgeschwindigkeit bzw. die Böigkeit des Windes in unmittelbarer Nähe des Baums erhöhen.

4.7.2 Das Modell, das zur Abschätzung der Bemessungswindlast verwendet wird, **muss** den Einfluss von Strukturen und Bäumen in unmittelbarer Nähe des betroffenen Baums gemäß den folgenden Szenarien berücksichtigen:

- Der Grad der Exposition oder Abschirmung, durch den der auf die betreffende Baumkrone ausgeübte frontale Winddruck verändert wird
- Eine Verringerung der Windeinwirkung auf die betreffende Baumkrone, die durch das Vorhandensein von Nachbarbäumen neben der betreffenden Baumkrone (Reibungswiderstand beim Umströmen der Krone) und/oder von Bäumen im Lee ausgelöst wird (Sogwirkung hinter der Baumkrone)
- eine Erhöhung der Windgeschwindigkeiten und/oder Böigkeit des Windes, die von Baukörpern in unmittelbarer Nähe der betroffenen Baumkronen ausgeht
- Änderungen der Windgeschwindigkeiten durch steile Hänge oder plötzliche Geländesprünge in der Nähe des betroffenen Baums.

4.7.3 Kürzlich stattgefundenen Veränderungen in der Umgebung **sollen** ebenfalls zur Kenntnis genommen und bei der Bewertung berücksichtigt werden. Auf diese Veränderungen **kann** im Gutachten Bezug genommen werden, um ansonsten überraschende oder ungewöhnliche Ergebnisse zu erklären. Wenn künftige Änderungen, wie z.B. der geplante Bau oder Abriss eines Gebäudes oder die vorgesehene Fällung eines nahe gelegenen Baumes, bekannt sind, **muss** die künftig veränderte Umgebung in die Auswertung einbezogen werden, um einen zuverlässigen Sicherheitsfaktor angeben zu können.

4.8 Die Wechselwirkung zwischen Baum und Wind

4.8.1 Bäume interagieren mit der lokalen Struktur des Windes. Sie nehmen die Energie des Windes in Form von Winddruck, Reibung und Sog auf, die auf die Baumkrone einwirken. Über die Kronenstruktur leiten sie diese Windenergie in den Boden ab. Dabei wird ein Teil der Energie umgewandelt und abgebaut. Das an der Basis eines Baums ausgeübte Moment, das ein entscheidendes Element der

Untersuchung nach den Grundsätzen der Statik ist, hängt von der Stärke und Struktur des Windes sowie von der Wechselwirkung des Baums mit diesen Einwirkungen ab.

So variiert beispielsweise das Ausmaß der von einer Baumkrone aufgenommenen Windenergie erheblich, je nachdem ob der Baum belaubt ist oder nicht.

4.8.2 Das Modell **muss** die Eigenschaften des Baums berücksichtigen, die Einfluss darauf haben, ob bei dieser Wechselwirkung Energie aufgenommen oder abgegeben wird. Die Faktoren, die derartige Eigenschaften des betreffenden Baums beschreiben und in das Modell einfließen **müssen**, sind:

- die Abmessungen des Baums und der Baumkrone - die Baumhöhe, die Kronenform und die Kronenausdehnung
- die aerodynamischen Widerstandseigenschaften der zu untersuchenden Baumart
- die Morphologie der Krone, die Abmessungen des Stammes und die Materialeigenschaften der Baumart, die die Eigenfrequenz und die Dämpfungseigenschaften der Struktur bestimmen

4.8.3 Während es sich bei der Last, die im Rahmen eines Zugversuchs auf den Baum einwirkt, um eine einfache statische Belastung handelt, **muss** das in der Windlastanalyse verwendete Modell die dynamischen Lasten, denen der Baum während eines Windereignisses ausgesetzt ist, einbeziehen und darstellen, um auf diese Weise eine geeignete Bemessungswindlast zu ermitteln, nach der der Baum beurteilt wird.

4.8.4 *Unter der Voraussetzung, dass dynamische Elemente korrekt in das Windlastanalysemodell einbezogen werden, kann die resultierende Bemessungswindlast als äquivalente statische Last verstanden werden. Auf diese Weise kann die Auswertung dem Anspruch gerecht werden, die komplexe dynamische Interaktion zwischen Baum und Wind in den Ergebnissen abzubilden.*

4.8.5 Geeignete Richtwerte für eine Abschätzung des Windwiderstandsbeiwerts für verbreitete Stadtbaumarten sind in einer begrenzten Anzahl von Quellen (z.B. Stuttgarter Festigkeitskatalog) verfügbar. Der in das Modell der Windlastanalyse einfließende Wert des Windwiderstandsbeiwerts **soll** angepasst werden, wenn Baumkronen von der üblichen Form abweichen und dadurch deren Eigenschaften in Bezug auf die Anpassungsfähigkeit im Wind („streamlining“) und die Kronendurchlässigkeit verändert sind:

- Kronenform oder Verzweigungsmuster
- Kronendichte, Blattgröße und/oder Blattflächenindex
- Rückschnitt, Beschädigung oder Schädlingsbefall, die das Verzweigungsmuster oder die Kronendichte beeinflussen
- als Referenz oder Grenzwert herangezogene Windereignisse, bei denen die mittlere Windgeschwindigkeit unter 20 m/s liegt (*entsprechende Windwiderstandsbeiwerte steigen bei niedrigen Windgeschwindigkeiten an*)

4.8.6 Bei asymmetrischen Baumkronen oder geneigten Bäumen **soll** das Modell der Windlastanalyse ein Torsionsmoment in Bezug auf den Stammfuß des Baums berücksichtigen, falls dieses im Verhältnis zur Höhe der Bemessungswindlast von Bedeutung ist.

4.8.7 *Ein geringes Maß an Rotation der Baumkrone während eines Windereignisses ist geeignet, die auftretenden Biegemomente zu reduzieren, weil sie als Element der Dämpfungseigenschaften der Krone dazu beiträgt Windenergie abzubauen. Umgekehrt könnte ein hohes Maß an Rotation in der Krone vielleicht dazu führen, dass ein Versagen durch Torsion vor einem Biegebruch auftritt. Oder die Kombination von Torsion und Biegung könnte vielleicht die Festigkeitseigenschaften verändern, die ansonsten für eine zuverlässige Beurteilung herangezogen werden. (Es ist anzumerken, dass das Auftreten dieser beiden Phänomene bislang noch nicht durch experimentelle Daten belegt wurde.) Torsionsmomente können derzeit nicht formell ausgewertet werden, aber der Ansatz eines höheren Sollwertes für den Sicherheitsfaktor gegenüber einem primären Druckversagen **kann** unter diesen Umständen für ausreichende Sicherheit bei der Bewertung sorgen.*

4.8.8 Ist eine Baumkrone stark asymmetrisch oder weist der Baum eine maßgebliche Neigung auf, **muss** das Eigengewicht der Krone geschätzt werden und dessen Einfluss auf die Belastung zusätzlich zu dem Moment am Stammfuß berücksichtigt werden, das gemäß der Windlastanalyse für das als Referenz oder Grenzwert angenommenen Windereignis zu erwarten ist. Dies gilt nur dann, wenn der einseitige Überhang der Krone bzw. die Neigung mit der beim Zugversuch gewählten Lastrichtung und der Windrichtung übereinstimmen und insoweit davon ausgegangen wird, dass das Eigengewicht einen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis hat.

5. Auswertung

5.1 Auswertung des Baums anhand von Modellen

5.1.1 Der Zweck des Zugversuchs ist es, eine Einschätzung der Stand- und Bruchsicherheit eines Baums im Zusammenhang mit einem bestimmten Windereignis zu ermöglichen, das als Referenz oder Grenzwert für die Untersuchung gewählt wurde. Der Auswertevorgang führt die Daten des Zugversuchs und die Ergebnisse der Windlastanalyse als Elemente der Auswertung zusammen, um eine Aussage über den strukturellen Zustand des Baumes zu ermöglichen.

5.1.2 Beim Zugversuch wird eine Prüflast aufgebracht, die ein Moment erzeugt, das sich typischerweise von dem Moment unterscheidet, dem der Baum während des Referenzwindereignisses ausgesetzt wäre. Die Reaktionen des untersuchten Baumes, die während des Zugversuchs aufgezeichnet wurden, **müssen** daher hochgerechnet werden, um den Bezug zu den während des Referenzwindereignisses zu erwartenden Belastungen herzustellen, bevor eine zuverlässige Aussage über die Wahrscheinlichkeit getroffen werden kann, dass der Baum überlastet wird bzw. dass der Stamm oder die Wurzeln während des Referenzwindereignisses kritischen Verformungen ausgesetzt werden.

5.1.3 Während des Zugversuchs wird eine statische Last auf den betreffenden Baum ausgeübt. Die Wechselwirkung zwischen Wind und Bäumen ist jedoch dynamisch. Die Auswertung der Reaktionen des zu prüfenden Baums auf die während des Zugversuchs aufgebrauchte Prüflast **muss** daher in Bezug zu einer äquivalenten statischen Last durchgeführt werden, die im Zuge der Windlastanalyse unter Verwendung eines Modells hergeleitet wurde, das eine Abschätzung des Einflusses dynamischer Effekte enthält.

5.1.4 Die während des Zugversuchs erfassten Daten **müssen** im Rahmen eines oder mehrerer Modelle ausgewertet werden. Die zur Auswertung der Daten verwendeten Modelle **müssen** klar beschrieben und kommuniziert werden.

5.1.5 *Eine eindeutige Definition der Modelle kann dazu beitragen, dass der Auswertevorgang von einer dritten Partei überprüft werden.*

So **kann** beispielsweise die Bruchsicherheit eines Stammes nach der Balkentheorie und die Standsicherheit eines Baums in Bezug auf die Verallgemeinerte Kippkurve ausgewertet werden. In ähnlicher Weise **können** die Einwirkungen, denen der Baum während des Referenzwindereignisses voraussichtlich ausgesetzt wäre, durch eine Bemessungswindlast dargestellt werden, die mit Hilfe von rechnerischen Modellen der Windlastanalyse ermittelt wird.

5.1.6 Die Modelle, die für die Auswertung der Zugversuchsdaten gewählt werden, **müssen** plausibel und angemessen sein. Das Vertrauen in die Zuverlässigkeit und Eignung der Modelle **soll** sichergestellt werden indem:

- die Modelle in einer angesehenen Veröffentlichung beschrieben oder vorgestellt wurden oder
- die Modelle wissenschaftlich überprüft wurden oder
- die Modelle empirisch getestet wurden, so dass die Erfahrung gezeigt hat, dass sie Gültigkeit haben.

5.1.7 Die Stand- und Bruchsicherheit **soll** in Form eines Sicherheitsfaktors und/oder einer Sicherheitsreserve gemäß den technischen Konventionen beschrieben werden.

5.2 Die Grundsicherheit

5.2.1 Vor der Auswertung der Daten, die beim Aufbringen der Prüflast aufgezeichnet wurden (Daten, die die Reaktion des Baums auf eine definierte Last beschreiben), **soll** die Grundsicherheit des Baumes ermittelt werden.

5.2.2 Die Grundsicherheit stellt das Verhältnis zwischen dem Referenzwindereignis, d.h. der Wechselwirkung zwischen den entstehenden Windkräften und der Krone des betreffenden Baumes, und der Tragfähigkeit des fehlerfreien Stammes dar, unter Annahme der für die zu beurteilende Baumart angemessenen Materialeigenschaften. Die Grundsicherheit kann als theoretischer oder idealisierter Sicherheitsfaktor bezeichnet werden, der die eigenen Sicherheitsreserven zum Ausdruck bringt, über die ein Baum aufgrund seiner bisherigen Entwicklung verfügt.

5.2.3 Die Grundsicherheit dient als Vergleichsmaßstab, mit dem die Sicherheitsfaktoren für Stand- und Bruchsicherheit im Rahmen der Auswertung verglichen werden **sollen**.

5.3 Die Ermittlung der Bruchsicherheit von Stämmen

5.3.1 Beim Zugversuch wird eine Last in den zu prüfenden Baum eingeleitet und gleichzeitig die Reaktion auf das resultierende Moment als Verformung des Stammes aufgezeichnet. In der Regel wird dazu die Dehnung oder Stauchung gemessen, die durch eine Biegung des Stammes verursacht wird, aber es könnten auch die Durchbiegung oder die Krümmung des Stammes gemessen werden.

5.3.2 Die aufgezeichneten Reaktionen des Stammes auf die Belastung im Zugversuch **müssen** im Rahmen eines Modells hochgerechnet werden, um die entsprechende Reaktion in Bezug auf das Referenzwindereignis abschätzen zu können. Als Grenzwert zur Abschätzung des Versagens **muss** die Verformung des Stammes auf eine kritische Verformung bezogen werden, um die Bruchsicherheit des Stammes zu ermitteln.

5.3.3 Der Grenzwert für das Versagen des Stammes **soll** an der Proportionalitätsgrenze und nicht beim endgültigen Bruch liegen. Die kritische Verformung, die den Grenzwert für das Versagen definiert, **soll** so gewählt werden, dass dauerhafte Änderungen der Materialeigenschaften oder dauerhafte Änderungen der Stammform vermieden werden.

5.3.4 *Die Festlegung eines Grenzwertes an der Proportionalitätsgrenze bietet die Gewissheit, dass ausreichende Sicherheitsreserven vorhanden sind, damit während des Referenzwindereignisses keine Schäden am Stamm auftreten und die zu erwartenden Windeinwirkungen nur reversible elastische Verformungen im Stamm hervorrufen. Verformungen, die die Proportionalitätsgrenze überschreiten, würden die Tragfähigkeit des Stammes vermindern, so dass sich bei einer nachfolgenden Belastung während desselben Sturmereignisses negative Folgen ergeben könnten. Ein Ausknicken der Fasern, das jenseits der Proportionalitätsgrenze eintritt, kann aber natürlich durch zukünftiges Wachstum kompensiert werden, vorausgesetzt die Belastungen liegen in der Folgezeit unter dem kritischen Niveau.*

5.3.5 Die Materialkennwerte, auf die bei der Bewertung Bezug genommen wird, **müssen** sich auf grünes Holz beziehen oder gleichwertig sein. Grünes Holz ist definiert als Holz mit einem Feuchtegehalt, der am oder über dem Fasersättigungspunkt liegt.

5.3.6 Die Materialkennwerte, auf die bei der Bewertung Bezug genommen wird, **sollen** im Allgemeinen durch Materialprüfungen ermittelt werden, die an der gleichen Baumart wie der zu untersuchende Baum durchgeführt wurden.

5.3.7 Bei der Auswahl von Referenzwerten zur Beschreibung der Materialkennwerte von grünem Holz **muss** die Variabilität der Materialkennwerte sowohl innerhalb eines Baumes als auch zwischen einzelnen Bäumen derselben Art berücksichtigt werden. Angesichts der inhärenten Variabilität der Materialkennwerte von grünem Holz **soll** ein geeigneter, repräsentativer Referenzwert für die Bewertung gewählt werden.

5.3.8 Die Prüfprotokolle, die bei der Entwicklung der Bezugsquelle für Materialkennwerte verwendet wurden, **müssen** verstanden worden sein und berücksichtigt werden, um sicherzustellen, dass geeignete Materialkennwerte als Grenzwerte innerhalb des Modells verwendet werden.

5.3.9 *Die Auswirkungen, die kleine Stichprobengrößen, die Abmessungen der Prüfkörper, die Entnahme der Prüfkörper aus einer begrenzten Anzahl von Einzelbäumen, Bruchversuche an stehenden Bäumen und die Wahl des Prüfverfahrens (z.B. Dreipunkt-Biegetest- oder axiale Druckprüfungen) auf das Ergebnis haben können, **sollen** bedacht werden, um sicherzustellen, dass entsprechend angepasste Werte als Referenz bei der Auswertung verwendet werden.*

5.3.10 Die Materialkennwerte, die für die Auswertung der Zugversuche gewählt werden, **müssen** plausibel und angemessen sein. Das Vertrauen in die Zuverlässigkeit und Eignung der der Materialkennwerte **soll** sichergestellt werden, indem:

- die Materialkennwerte in einer angesehenen Publikation vorgestellt wurden oder
- die Materialkennwerte wissenschaftlich überprüft wurden oder
- die Materialkennwerte wurden empirisch getestet, so dass die Erfahrung gezeigt hat, dass sie Gültigkeit haben.

5.3.11 Wenn Referenzwerte für die Materialeigenschaften im Zuge der Auswertung geändert oder Materialkennwerte einer anderen Art herangezogen werden, **muss** dies in angemessener Weise begründet werden.

5.3.12 Die Werte, auf die bei einer Auswertung Bezug genommen wird, **sollen** und in den folgenden Fällen aus einer geeigneten alternativen Quelle ausgewählt, angepasst oder überdacht werden, wenn:

- die Materialkennwerte für die zu prüfende Baumart nicht verfügbar sind
- es angebracht ist, Vorspannungen im Stamm zu berücksichtigen
- Reaktionen in Teilen des Baums gemessen werden, für die im Allgemeinen keine Materialkennwerte zur Verfügung stehen, wie z.B. Zwieselbereiche oder Wurzeln

5.3.13 Es **sollen** Kontrollwerte verwendet werden, die geeignet sind um zu überprüfen, ob die Materialkennwerte, auf die bei der Auswertung Bezug genommen wird, für den untersuchten Baum angemessen sind. Die Kontrollwerte **sollen** angegeben werden. *Die Angabe von Kontrollwerten kann dazu beitragen, dass eine dritte Partei überprüfen kann, ob in der Auswertung auf geeignete Materialkennwerte Bezug genommen wurde.*

Geeignete Kontrollwerte können z.B. Schätzungen der Reststeifigkeit und/oder Messungen der Krümmung oder Durchbiegung des Stammes sein.
--

5.3.14 Kontrollwerte **sollen nicht** als unmittelbarer Maßstab für die Auswertung verwendet werden. Bei Kontrollwerten wäre davon auszugehen, dass sie weniger zuverlässig sind, weil sie auf Eigenschaften beruhen, die eine größere Variabilität aufweisen, so dass die aus ihnen gezogenen Schlussfolgerungen mit einer größeren Unsicherheit behaftet sind.

So hängt beispielsweise die Schätzung des Hohlungsgrades, der aus Messungen der Reststeifigkeit abgeleitet wird, von einer genauen Erfassung der Geometrie des Stammquerschnitts ab. Dieser Kontrollwert ist bei einer komplexen Form des Stammes, wie sie typischerweise an der Basis von Bäumen mit Wurzelanläufen zu finden ist, im Allgemeinen nicht mehr repräsentativ. Die Reststeifigkeit wird auch durch Risse und andere Eigenschaften des Stammes beeinflusst, die nicht mit einer Aushöhlung zusammenhängen. Schätzungen des Hohlungsgrades, die aus Messungen der Reststeifigkeit abgeleitet werden, sind daher mit Vorsicht zu betrachten.

5.3.15 Die Auswertung **muss** in umfassender Kenntnis der Grenzen der angewandten Modelle vorgenommen werden. Wurde festgestellt, dass ein Modell den spezifischen Gegebenheiten des betreffenden Baums nicht gerecht wird, **dürfen** die Ergebnisse der Auswertung **nicht** verwendet werden, **müssen** deutlich mit Einschränkungen versehen werden oder **sollen** entsprechend geändert und angepasst werden, wobei der dafür gewählte Ansatz angemessen und klar zu begründen ist. Maßnahmenempfehlungen, die sich auf Ergebnisse stützen, bei denen ein Modell nicht den Gegebenheiten des Baums gerecht wird, **müssen** mit entsprechenden Vorbehalten versehen werden, und der Grad der Unsicherheit solcher Empfehlungen **muss** klar dargelegt werden.

Die Balkentheorie geht beispielsweise davon aus, dass das Primärversagen für einen Baum, der einer Biegebelastung ausgesetzt ist, durch Stauchung auf der Druckseite erfolgt. Sehr hohle, dünnschalige Stämme (z.B. mit einem t/R -Verhältnis unter 0,1 und einer beträchtlichen Längsausdehnung der Höhlung) könnten durch Abflachung des Querschnitts und/oder Längsrisse versagen, bevor die Druckseite versagt. Eine Auswertung, die das Druckversagen als Primärversagen betrachtet, könnte unter diesen besonderen Umständen das Versagenspotenzial des betreffenden Baums unterschätzen.

5.3.16 Ein Mindestwert des errechneten Sicherheitsfaktors ist erforderlich, um ausreichende Belastbarkeit für das Ergebnis der Auswertung zu gewährleisten. Wenn berechtigte Zweifel daran bestehen, wie gut das Modell den spezifischen Umständen des zu prüfenden Baums gerecht wird, **sollen** die Ergebnisse entweder verworfen oder **soll** der als Sollwert angestrebte Mindestwert des Sicherheitsfaktors angepasst werden, um die Unsicherheit im Ergebnis widerzuspiegeln.

5.4 Die Ermittlung der Standsicherheit

5.4.1 Beim Zugversuch wird eine Last in den zu prüfenden Baum eingeleitet und gleichzeitig die Reaktion auf das daraus resultierende Moment an der Stammbasis in Form einer Neigung aufgezeichnet. So wird die Steifigkeit der Verankerung gemessen, die von den tragenden Wurzeln zusammen mit dem Boden im stammnahen Bereich erzeugt wird.

5.4.2 Die an der Stammbasis aufgezeichneten Reaktionen auf die aufgebrachte Prüflast **müssen** im Rahmen eines Modells hochgerechnet werden, um die entsprechende Reaktion in Bezug auf das Referenzwindereignis abschätzen zu können. Die Neigung der Stammbasis **muss** in Bezug auf das typische Kippverhalten eines Baumes ausgewertet werden.

Die Neigung der Stammbasis **kann** z.B. anhand des Verhältnisses der eingeleiteten Last zur erzeugten Neigung ausgewertet werden, das in der Verallgemeinerten Kippkurve vorgeschlagen wird.

5.4.3 Wenn der Baum nur in einer Lastrichtung geprüft wird, **soll** auch die Neigung der Stammbasis senkrecht zur Richtung der eingeleiteten Zuglast aufgezeichnet werden. Sind diese Daten verfügbar, dann **sollen** sie als Referenz bei der Überprüfung der Verwertbarkeit der Ergebnisse aus nur einer Lastrichtung berücksichtigt werden.

5.4.4 *Während bestimmte Abgrabungen oder Wurzelschäden offensichtlich eine bestimmte Lastrichtung nahelegen, können tatsächlich aber unbekannte Faktoren dazu führen, dass der betreffende Baum in einer anderen Richtung weniger belastbar ist oder geringere Sicherheitsfaktoren aufweist.*

5.4.5 Bei einem Zugversuch **soll** eine ausreichende Last aufgebracht werden, um sicherzustellen, dass bei der Untersuchung der Verankerungssteifigkeit und Standsicherheit ein Mindestmaß an Neigung am Stammfuß erreicht wird, das sicherstellt, dass die Daten mit einem angemessenen Maß an Zuverlässigkeit ausgewertet werden können.

5.4.6 *Liegt die während des Zugversuchs erreichte Stammfußneigung bei maximaler Belastung unter 0,05°, so verringert sich die Zuverlässigkeit des Ergebnisses der Auswertung. Geringe Zugprüfungslasten - oder vielmehr geringe Reaktionen auf Prüflasten - verringern die Verlässlichkeit der Hochrechnung der gemessenen Werte in Bezug auf das Referenzwindereignis.*

5.4.7 Bei der Auswertung **muss** ein geeignetes Modell angewandt werden, um die Bandbreite der Umstände zu berücksichtigen, in denen sich ein Baum entwickeln kann, damit die Ergebnisse für den untersuchten Baum als ausreichend zuverlässig angesehen werden können. Steht kein Modell zur Verfügung, das den konkreten Umständen gerecht wird, **sollen** solche Bäume weder geprüft noch ausgewertet werden.

So muss beispielsweise ein Modell zur Beschreibung von Bäumen zur Verfügung stehen, die in wassergesättigten oder vollständig gesättigten Böden gewachsen sind und sich dort entwickelt haben, damit solche Bäume anhand der Daten aus einem Zugversuch beurteilt werden können.

5.4.8 Die Auswertung muss in umfassender Kenntnis der Grenzen der angewandten Modelle vorgenommen werden. Wurde festgestellt, dass ein Modell den spezifischen Gegebenheiten des betreffenden Baums nicht gerecht wird, dürfen die Ergebnisse der Auswertung nicht verwendet werden, müssen deutlich mit Einschränkungen versehen werden oder sollen entsprechend geändert und angepasst werden, wobei der dafür gewählte Ansatz angemessen und klar zu begründen ist. Maßnahmenempfehlungen, die sich auf Ergebnisse stützen, bei denen ein Modell nicht den Gegebenheiten des Baums gerecht wird, müssen mit entsprechenden Vorbehalten versehen werden, und der Grad der Unsicherheit solcher Empfehlungen muss klar dargelegt werden.

Beispielsweise wird davon ausgegangen, dass ein Modell zur zuverlässigen Beurteilung der Standsicherheit eine Mindestbodentiefe erfordert, Situationen nicht abdeckt, in denen der Boden nach einem außergewöhnlichen Ereignis vollständig wassergesättigt ist, und nicht zur Beurteilung von Bäumen geeignet ist, die überhaupt keine statisch wirksamen Wurzeln haben.

5.4.9 *Ein Mindestwert des errechneten Sicherheitsfaktors ist erforderlich, um ausreichende Belastbarkeit für das Ergebnis der Auswertung zu gewährleisten. Wenn berechtigte Zweifel daran bestehen, wie gut das Modell den spezifischen Umständen des zu prüfenden Baums gerecht wird, **sollen** die*

*Ergebnisse entweder verworfen oder **soll** der erforderliche Mindestsicherheitsfaktor angepasst werden, um die Unsicherheit im Ergebnis widerzuspiegeln.*

5.5 Interpretation, absolute und relative Sicherheitsfaktoren

5.5.1 Die Sicherheitsfaktoren, die bei der Auswertung der aus einem Zugversuch gewonnenen Daten sowohl für Stand- als auch die Bruchsicherheit ermittelt wurden, **sollen** miteinander und mit der Grundsicherheit bzw. dem theoretischen oder idealisierten Sicherheitsfaktor des untersuchten Baums verglichen werden, um sicherzustellen, dass eine vollständige und angemessene Beurteilung der Sicherheit und Stabilität des Baums sowohl in absoluter als auch in relativer Hinsicht erfolgt.

5.5.2 *Der Vergleich der Auswertung der Zugversuchsdaten mit der Grundsicherheit bzw. dem theoretischen oder idealisierten Sicherheitsfaktor für den untersuchten Baum dient als Kontrolle, um erstens zu beurteilen, ob die Windlastanalyse die tatsächlichen Standortbedingungen, denen der Baum ausgesetzt ist, angemessen abbildet und zweitens, ob die gewählten Materialkennwerte für die Baumart eine vernünftige Annahme darstellen.*

5.5.3 Unabhängig von den absoluten Sicherheitswerten gibt ein signifikanter Unterschied im Vergleich zwischen den einzelnen Sicherheitsfaktoren Aufschluss über den Grad des Tragfähigkeitsverlustes (oder der Steifigkeit) in einem Bereich der Struktur.

Wenn beispielsweise die Grundsicherheit und die Bruchsicherheit weitgehend übereinstimmen, die Werte der Standsicherheit jedoch deutlich niedriger sind, ist dies ein deutlicher Hinweis darauf, dass die Verankerung der Wurzeln durch einen bestimmten Einfluss vermindert wurde. Ähnlich verhält es sich, wenn die Bruchsicherheit an einigen Stellen des Stammes im Verhältnis zur Grundsicherheit, zur Bruchsicherheit in anderen Bereichen und zur Standsicherheit niedrig sind. Dann ist dies ein Hinweis dafür, dass die schwächsten Bereiche während der Zugversuche erfasst wurden und demnach bei der Auswertung ausreichend berücksichtigt wurden.

5.5.4 *Die Unterscheidung zwischen dem Grad des Tragfähigkeitsverlustes und einem absoluten Sicherheitsfaktor ist bei diesem Vergleich von entscheidender Bedeutung, um zu sinnvollen Empfehlungen im weiteren Umgang mit dem Gehölz zu kommen. Diese Betrachtung macht bewusst, inwieweit die Sicherheitsreserven eines Baumes ausgereizt sind, liefert Ansatzpunkte für eine Überprüfung, ob das verwendete Modell den gegebenen Umständen gerecht wird und gibt auch Hinweise darauf, wie schnell sich die Situation hinsichtlich der Stand- und Bruchsicherheit ändern könnte.*

5.6 Prognose - Sicherheitsfaktoren und Baumbiologie

5.6.1 Der aus den Zugversuchen errechnete Sicherheitsfaktor ist zunächst nur für den Zeitpunkt der Durchführung der Untersuchung relevant. Die Sicherheitsfaktoren **müssen** letztlich im Zusammenhang mit dem physiologischen Zustand des Baums und der voraussichtlichen Wechselwirkung zwischen dem Baum und den Organismen bewertet werden, die vermutlich den Holzabbau verursachen, soweit dies Gegenstand der Untersuchung war.

5.6.2 Die vollständigste Darstellung des strukturellen Zustands eines Baumes, aus dem auch die sinnvollsten, zuverlässigsten und angemessensten Pflegeempfehlungen abgeleitet werden können, umfasst die Grundsicherheit in Relation zu den Sicherheitsfaktoren für die Stand- und Bruchsicherheit, die vorhandenen Sicherheitsreserven und den bisherigen Verlust an Tragfähigkeit ebenso wie das

Kompensationswachstum als Reaktion auf den Holzabbau in der Vergangenheit, die Vitalität des Baumes und seine voraussichtliche Fähigkeit zukünftig Kompensationswachstum zu leisten, die Wahrscheinlichkeit weiterer Fäuleausbreitung und einen Zeithorizont, innerhalb dem diese Prozesse ablaufen werden.

5.6.3 Diese Überlegungen sind geeignet, eine Empfehlung für ein angemessenes Zeitintervall bis zu einer Nachuntersuchung abzuleiten.

5.7 Auswertung von Zugversuchsdaten im Zeitverlauf

5.7.1 Die während des Zugversuchs erfassten Daten stellen die Stand- und Bruchsicherheit des betreffenden Baums zu einem bestimmten Zeitpunkt dar. Insbesondere bei der Untersuchung von Fäulnisprozessen ist es wahrscheinlich, dass sich die Situation ändert, und eine spätere Nachuntersuchung angebracht sein **kann**. Das angemessene Intervall für eine Nachuntersuchung hängt von der Art und der Auswirkung eines Schadens, dem physiologischen Zustand des Baums und dem zu erwartenden Fäulefortschritt ab. Auch Haftungsaspekte und die Einstellung des Baumeigentümers oder Kunden zu Risiken **können** eine Rolle spielen.

5.7.2 Vorsicht **soll** jedoch walten, wenn die Auswertungen zeitlich auseinanderliegender Zugversuche verglichen werden, um die Entwicklung eines strukturellen Schadens zu überwachen. Bevor eine Veränderung auf eine bestimmte Ursache zurückgeführt wird, **soll** sorgfältig abgewogen werden, welche Bedeutung den Unterschieden zwischen zwei Datensätzen in Anbetracht der zwar geringen, beim Zugversuch aber stets vorhandenen Variabilität der Daten. Eindeutige Schlussfolgerungen könnten wohl nur dann gezogen werden, wenn sich bei einer Entwicklung über mehr als zwei Jahre ein signifikanter Unterschied in den Ergebnissen für eine bestimmte Messposition in zwei aufeinanderfolgenden Untersuchungen abzeichnet. Das gilt sowohl für eine Verschlechterung der Tragfähigkeit durch die Entwicklung von Fäulnis oder durch das Absterben von Wurzeln, als auch für eine Verbesserung aufgrund der Reaktion des Baums in Form von adaptivem Wachstum oder durch Wurzelneubildung.

5.7.3 *Es gibt ein geringes, aber inhärentes Maß an Abweichungen in den Daten, die selbst bei zwei am gleichen Tag nacheinander durchgeführten Belastungszyklen erhoben werden, auch wenn die Instrumente in denselben Positionen verbleiben oder in verschiedenen, aber benachbarten Positionen angebracht werden. Bei allen Rückschlüssen auf Veränderungen der strukturellen Situation im Laufe der Zeit, die sich aus aufeinanderfolgenden Untersuchungen ergeben, **soll** dieser Faktor berücksichtigt werden.*

5.7.4 Vorsicht ist auch geboten, wenn Veränderungen der Größe der Krone und damit der entsprechenden Bemessungswindlast über eine gewisse Zeit sich durch (abnehmende) Sicherheitsfaktoren bemerkbar machen, weil dies irrtümlich auf eine Veränderung der Steifigkeit infolge der Ausbreitung von Fäulnis zurückgeführt werden könnte.

6. Darstellung im Gutachten

6.1 Allgemeine Darstellung

6.1.1 Bei der Übermittlung von Informationen über den Zugversuch ist es wichtig, dass ein sorgfältiger Ausgleich zwischen der Genauigkeit der Fachsprache zur Beschreibung der Untersuchungsmethode sowie der angewandten Modelle und der Anforderung gefunden wird, dass dem Baumeigentümer, dem Kunden und anderen interessierten Parteien die Herangehensweise, die Grundsätze und die Auswirkungen auf die weitere Pflege verständlich vermittelt werden **müssen**.

6.1.2 Diejenigen, die für Entscheidungen über das weitere Vorgehen hinsichtlich der Bäume verantwortlich sind, **müssen** Informationen erhalten, die sie verstehen können, und die Informationen **müssen** von Sachverständigen klar dargestellt, erläutert und interpretiert werden. Das gilt unabhängig davon, ob dies im Rahmen eines formellen Gutachtens oder als Teil einer weniger formalen, weniger strukturierten anderen Form der Übermittlung geschieht.

6.2 Anlass der Untersuchung und Auftragsgegenstand

6.2.1 Unabhängig von der Form der Übermittlung der Ergebnisse **sollen** die Anforderungen des Kunden oder Baumeigentümers, wie sie in der ursprünglichen Anfrage oder im Auftrag festgelegt wurden, der Übermittlung der Ergebnisse des Zugversuchs beigelegt werden.

So **soll** beispielsweise auf den Auftrag zur Überprüfung der Standsicherheit nach Ausgrabungen im Wurzelbereich oder auf die Frage nach einer Beurteilung der Auswirkungen bestimmter Fäuleprozesse verwiesen werden. Dieser Hinweis stellt das Gutachten in einen Zusammenhang mit dem Auftrag.

6.2.2 *Die Bezugnahme auf den ursprünglichen Auftragsgegenstand ermöglicht es einem Dritten zu beurteilen, ob die Untersuchungen den Anforderungen des Auftrags entsprechen.*

6.3 Bereitstellung der Ergebnisse in einem formellen Gutachten

6.3.1 Bei den meisten Einzelbaumbewertungen ist es in der Regel angebracht, die Ergebnisse, die Auswertung und die Empfehlungen, die sich aus der Durchführung eines Zugversuchs an einem Baum ergeben, in Gestalt eines formellen, strukturierten Gutachtens zusammenzustellen, zu organisieren und zu präsentieren. Dieses Gutachten **kann** dem typischen Layout eines wissenschaftlichen Berichts folgen.

6.3.2 Es wird vorgeschlagen, dass ein schriftliches Gutachten die folgenden Elemente enthalten **soll**:

- ein Deckblatt
- eine Zusammenfassung
- einen Verweis auf die Anweisung/den Auftrag/die gutachterliche Fragestellung, aus der sich der Zweck der Untersuchung ableitet
- eine Beschreibung des Sachverhalts, der durch die Anwendung der Zugversuchsmethode untersucht wird

- ein Verweis auf alle Dokumente oder Informationen, die bezüglich des Baums, des Standorts oder der Baumschäden, die vor der Ortsbesichtigung, dem Zugversuch oder der Beurteilung zur Verfügung gestellt wurden
- eine Beschreibung des Zustands des Baums (d.h. eine visuelle Beurteilung der Schäden, der Wuchsform, des physiologischen Zustands, des Entwicklungsstadiums usw., sofern dies für die durchgeführte Untersuchung relevant ist)
- eine Beschreibung des Standorts (z.B. Position, Geländekategorie, Wachstumsbedingungen für den Baum, Entwicklungsbeschränkungen, Exposition und Abschirmung usw. soweit dies hinsichtlich der Windlastanalyse relevant ist)
- eine Beschreibung der Vorgeschichte des Standorts und der bisherigen Pflegemaßnahmen am Baum (soweit zur Erklärung der Morphologie des Baums, der aktuellen Vitalität erforderlich, auch Veränderungen, die sich auf die Windbelastung auswirken, oder Veränderungen, die vermutete oder beobachtete strukturelle Schäden hervorgerufen haben usw.)
- eine kurze/zusammenfassende Beschreibung der Methode und des Modells, die für den Zugversuch und die Auswertung angewendet wurden
- eine Beschreibung der durchgeführten Zugversuche (d.h. Anzahl der durchgeführten Lastgänge, der untersuchte Lastrichtungen, aufgebrauchte Spitzenbelastung usw.)
- eine Beschreibung der für die Zugversuche und die Auswertung verwendeten Messinstrumente und Analysesoftware
- eine Darstellung der Ergebnisse der Auswertung (d.h. Grundsicherheit, ermittelte Sicherheitsfaktoren für Stand- und Bruchsicherheit sowie jeweils ein Vergleich der absoluten und relativen Werte)
- eine zusammenfassende Beschreibung der aktuellen Stand- und Bruchsicherheit, die sich aus den Ergebnissen der Zugversuche ergibt
- eine Zusammenfassung der Bedeutung der Ergebnisse mit Bezug auf die Physiologie/Biologie des Baumes und die Fäuleentwicklung einschließlich einer zeitlichen Prognose
- Schlussfolgerungen
- Empfehlungen (d.h. eine klare Aussage über Baumerhalt oder Fällung, Sicherungsmaßnahmen soweit erforderlich oder angemessen, ein Zeitintervall nachdem eventuell eine Nachuntersuchung erforderlich wird usw.)
- sonstige Erwägungen (d.h. wenn die Fällung empfohlen wird, gibt es maßgebliche Auswirkungen auf benachbarte Bäume und Gebäude?)
- Einschränkungen (d.h. bezüglich der Messinstrumente, der angewandten Modelle oder der erhobenen Daten)
- Anhänge (d.h. Verweise, Zugversuchsdaten (Tabellen/Grafiken/Berichte), Fotos, Pläne usw.)
- eine Zusammenfassung der Qualifikationen und der einschlägigen Erfahrung des Erstellers des Gutachtens sowie des Teams, das am Zugversuch und der Auswertung der Daten beteiligt war

6.3.3 Jede Möglichkeit, die Grundlagen und Ergebnisse des Zugversuchs visuell in Form von kommentierten Diagrammen oder Fotos, Grafiken oder Schaubildern darzustellen, **soll** wo immer sinnvoll genutzt werden, wenn dies zur klaren Vermittlung von Informationen beiträgt.

6.4 Vorlage von Ergebnissen ohne formelles Gutachten

6.4.1 Wenn Auftraggeber oder Baumeigentümer kein formelles schriftliches Gutachten wünschen, so **müssen** die Ergebnisse des Zugversuchs (die Testdaten) und der Auswertung (die Windlastanalyse und die Hochrechnung der Testdaten) zur Verfügung gestellt werden. Zudem **muss** zumindest eine grundlegende Zusammenfassung der Auswertung mit Empfehlungen für den weiteren Umgang mit dem betreffenden Baum vorgelegt werden.

Ein regelmäßiger Kunde, der bereits zahlreiche Zugversuche in Auftrag gegeben hat, ist möglicherweise mit den angewandten Modellen so weit vertraut, dass die Darstellung der Daten und Empfehlungen für einen bestimmten Baum in einem formellen Gutachten unnötige Kosten verursachen würde.

6.4.2 *Es ist wichtig, dass alle Empfehlungen, die basierend auf dem Ergebnis von Zugversuchen ausgesprochen werden, durch die Ergebnisse der Zugversuche und deren Auswertung gestützt werden. Sie **müssen** zur Verfügung gestellt werden, damit ein Dritter beurteilen kann, ob die Empfehlungen nachvollziehbar und angemessen sind.*

6.4.3 Auch wenn ein formelles schriftliches Gutachten nicht unbedingt erforderlich ist, **soll** der Sachverständige oder Anwender, der die Dienstleistung erbracht hat, abwägen, ob es besser wäre, die Ergebnisse und Empfehlungen durch weitere Informationen zu ergänzen.

Zum Beispiel **soll** eine Beschreibung der Methode und der Modelle, die der Auswertung zugrunde liegen, zur Verfügung gestellt werden. Auch **soll** auf den Inhalt der vorliegenden SAG Standards verwiesen werden.

6.4.4 Wird kein vollständiges und umfassendes formelles Gutachten vorgelegt, **müssen** alle relevanten Daten und alle Eingangswerte, die im Modell verwendet wurden, gespeichert werden und auf Verlangen des Kunden oder eines berechtigten Dritten in ausreichendem Detailgrad zur Verfügung stehen, dass die Ergebnisse und daraus abgeleitete Empfehlungen kritisch überprüft werden können. Dies ermöglicht eine Beurteilung, ob die erbrachte Dienstleistung als angemessen und sinnvoll eingestuft werden kann. Dazu **kann** auch der Zugang zu Fotos, Notizen, Formblättern oder andere Unterlagen zählen, die zur Erarbeitung der Ergebnisse verwendet wurden.