

Befestigung von Bauwerken in Bäumen mit Baumankern und doppelter Umreifung

Befestigung von Bauwerken in Bäumen mit Baumankern und doppelter Umreifung

Kletterwälder, Baumplattformen und Wohneinheiten über der Oberfläche in Kombination mit Bäumen sprechen menschliche Emotionen an, welche man mit Kindheitstraum, Naturerlebnis, Reiz des Außergewöhnlichen oder einem Nervenkitzel assoziieren kann. Aus Sicht der Tragwerksplanung muss die Erstellung solcher Bauwerke allerdings sicher *und* unter Beachtung biologischer Aspekte ausgeführt werden. Denn der Stamm eines Baums ist ein Teil seines Organismus und wird für den Metabolismus benötigt. Durch die Anlagerung von Jahresringen unterliegt er weiterhin einem jährlichen Dickenwachstum. Der vorliegende Aufsatz beschreibt anhand eines konkreten Projekts, wie es durch spezielle Baumanker und eine doppelte Umreifung gelingt, eine zentralsymmetrische Konstruktion mit ca. 20 m² öffentlicher Nutzfläche dauerhaft und artgerecht an einem einzelnen Baum zu befestigen. Im vorliegenden Fall überschreitet die kalkulierte Vertikallast aus dem Bauwerk (Eigengewicht, Nutzlast, Schnee) das Eigengewicht des Tragbaums, was auf die Leistungsfähigkeit der Konstruktion hinweist. Durch die Erhaltung der Baumvitalität nimmt die Tragfähigkeit der Verankerung mit jeder Wachstumsperiode zu, was hier ebenfalls thematisiert wird. Weitere Projekte mit ähnlicher Befestigungstechnik zeigen, dass unterschiedliche Baumarten die vorgeschlagene Verankerung gut vertragen und sich daraus technische sowie wirtschaftliche Vorteile ableiten.

Stichworte Verankerungstechnik; Baumanker; Umreifung; Tree Engineering; Baumhäuser

Fixing structures in trees under usage of tree anchors and double strapping technique

Climbing forests, tree platforms and living units above the surface in combination with trees appeal to human emotions, which can be associated with childhood dreams, the experience of nature, the appeal of the unusual or a thrill. From the point of view of structural design, however, the construction must be carried out safely and with due regard for biological aspects. After all, the trunk of a tree is part of its organism and is needed for metabolism. Through the accumulation of annual rings, it continues to be subject to annual growth in thickness. This article describes, on the basis of a concrete project, how special tree anchors and double strapping technique can be used to fix a central symmetrical construction providing a public usable area of approx. 20 m² to a single tree in a permanent and species-appropriate manner. In this case, the calculated vertical load of the structure (dead loads, traffic loads and snow loads) exceeds the dead weight of the supporting tree, which indicates the performance of the structure. By maintaining the tree's vitality, the load-bearing capacity of the anchorage increases with each growth period, which is also addressed here. Other projects with similar anchoring techniques show that different tree species tolerate the proposed anchoring well, resulting in technical and economic advantages.

Keywords anchoring technology; tree anchors; strapping; tree engineering; tree houses

1 Einleitung und Motivation

Der Aufsatz beschäftigt sich mit Bauwerken, welche sich von spielerischen Baumhäusern in vielen Gesichtspunkten abheben. Dies betrifft z. B. Baukosten, Bauvolumen, Lasten, Nutzungsdauer und im Besonderen deren rechtliche Einordnung. Sind diese Bauwerke als bauliche Anlagen und im Weiteren als Gebäude im Sinne des Bauordnungsrechts aufzufassen, müssen diese – dem Gefahrenabwehrrecht folgend – Anforderungen aus dem Gesetz, der Bauordnung, erfüllen. (Anm.: In NRW haben sich Verwaltungsgerichte mit der Frage befassen müssen, ob Baumhäuser der Legaldefinition dem Begriff „bauliche Anlage“ nach Landesbauordnung unterfallen. Dabei wurde u. a. die Frage, ob Tragbäume eine Verbindung mit dem Boden herstellen, in Streitbefangenen Fällen mit Ja beantwortet. Hierzu gibt es z. B. Beschlüsse der Verwaltungsgerichte Aachen (Beschluss vom 14.9.2018 – 5 L 1377/18) und Köln (Beschluss vom 13.9.2018 – L 2056/18). Zitat aus dem Beschluss des VG Aachen: „Die erforderliche Verbindung zum Erdboden wird durch ein Drittobjekt,

dem Baum, auf dem sich das Baumhaus befindet, vermittelt.“) Zu den Anforderungen gehören u. a. die Gewährleistung der Standsicherheit, des Brandschutzes, aber auch des Schall- und Wärmeschutzes und der Verkehrssicherheit. Auch die verwendeten Baumaterialien müssen Beschaffenheitsanforderungen erfüllen. Da der Baum in bedeutender Weise zur Standsicherheit eines Baumhauses beiträgt, also Tragwirkung für das Ganze übernimmt, muss auch der Baum als Teil des Ganzen bewertet werden.

Da Bäume sehr individuell sind und keiner technischen Regelung unterliegen, wie sie z. B. für seriengefertigte Bauprodukte existieren, ist deren Eignung als Tragbäume für die Übernahme zusätzlicher Lasten aus einem in ihnen zu errichtenden Bauwerk zwingend festzustellen. Die Tragfähigkeit eines Baums hängt u. a. von der Art, der individuellen Genetik, dem Standort, der Morphologie, seiner Vorgeschichte sowie seiner Vitalität ab. Dies impliziert, dass eine eingehende Untersuchung durch Baumsachverständige, welche über eine Regelkontrolle [1–3]

hinausgeht, sowohl vor als auch in regelmäßigen Abständen nach der Baumaßnahme notwendig ist, um Gefahren abzuwehren. Bei dieser eingehenden Untersuchung müssen die tragenden Strukturen der betroffenen Bäume mit geeigneten Methoden (z. B. Bohrwiderstandsmessung, Fraktometermessung, Schalltomografie etc.) untersucht und in einem Baumgutachten dokumentiert werden. Dieses Baumgutachten sollte bereits in Kombination mit einer Vorstatik die Tragfähigkeit des Baums (Widerstandseite) [4–7] mit den zusätzlichen Lasteinträgen durch das Bauwerk (Lastseite) vergleichen. Auf dieser Basis können ggf. Entscheidungen über bauvorbereitende Maßnahmen, wie z. B. Rückschnitt, Kronensicherung, Abstützung, Abspannung etc., getroffen werden.

Wird die Vitalität eines Tragbaums durch die Baumaßnahme gefährdet, kann dies erhebliche negative Folgen haben. Der vorliegende Aufsatz befasst sich daher u. a. mit der Frage, wie und in welcher Intensität es möglich ist, Bauwerke im Baum zu errichten, ohne dessen Vitalität zu gefährden. In diesem Kontext werden Aspekte der Biologie, Morphologie, Mechanik, Statik und Dynamik von Bäumen für Anwendungen im Ingenieurbau unter dem Fach Tree Engineering versammelt. Neben primären Zielen, wie Nachweise zur Standfestigkeit und Verankerung technischer Elemente, verfolgt dieses Fach auch einige Ziele der Baubotanik, wie sie in [8] beschrieben sind. Allerdings beeinflusst die Baubotanik das Wachstum von Pflanzen durch technische Konstruktionselemente gezielt und bereits in der juvenilen Phase, sodass definierte Verbundstrukturen im Sinne von Bauwerken entstehen. Im Tree Engineering liegt der Fokus auf technischen Verbindungen zum Baum, welche das natürliche Wachstum so gering wie möglich beeinflussen und in einer fortgeschrittenen Wachstumsphase hinzugefügt werden.

Wie jedes Bauwerk unterliegen Tragkonstruktionen in Kombination mit Bäumen dem Grundsatz der Gefahren-

abwehr. Dazu gehören auch Kletteranlagen, Plattformen und Wohnkörper im Baumbestand. Für Wohnkörper soll der Begriff „Baumhaus“ einer logischen Definition unterzogen werden, welche universell übertragbar ist: Werden lediglich Tragbäume zur Gründung eines Wohnkörpers genutzt, stellen diese faktisch die tragende Verbindung zur Erdoberfläche her und es liegt nach Auffassung der Autoren ein Baumhaus vor. Es sind dann keine Maßnahmen zur künstlichen Fundamentierung notwendig, womit sich das Baumhaus von aufgeständerten Wohnkörpern mittels künstlicher Stützen und Fundamente signifikant unterscheidet. Mischformen werden hier als hybride Baumhäuser bezeichnet, da sie zumindest teilweise die Tragkraft vitaler Bäume nutzen.

Aufständigung und hybride Bauweise in unmittelbarer Nähe zu Baumbestand bergen die Gefahr, dass das Wurzelwerk verletzt und der Boden durch Maschineneinsatz verdichtet wird. Beides kann kurz- oder langfristig zum Totalausfall des begleitenden Baumbestands führen [1, 9–11].

2 Vorgeschichte des Bauwerks und Schäden durch nicht fachgerechte Verankerung

Nach der Gründung des Nationalparks Schwarzwald am 1. Januar 2014 wurden sämtliche Anlagen und Bauwerke des Parks einer Gefährdungsbeurteilung unterzogen. Es wurde u. a. festgestellt, dass die Aussichtsplattform Adlerhorst inakzeptable Risiken bez. Stabilität der Konstruktion aufwies. Bei der eingehenden Untersuchung wurden massive Verletzungen an vier Tragbäumen aus Rotbuche (*Fagus sylvatica*) in Kombination mit gebrochenen Stabdübeln festgestellt (Bild 1). Daher wurde die Anlage zurückgebaut und die Errichtung einer neuen Plattform mit dem Namen Adlerhorst 2 beschlossen. Nun sollte auf die Befestigung mit an den Baum geklemmten Trägern ver-



Bild 1 Schadensmerkmale durch Befestigung mittels Balkenzange
Damage characteristics due to fastening by means of beam tongs



Bild 2 Schadensmerkmale durch Missachtung der Baumbiologie an div. Tragbäumen durch Balkenzange (a), Schlinge (b) und Umwicklung (c)
Damage characteristics due to disregard of tree biology on various supporting trees by beam tongs (a), slings (b) and wrapping (c)

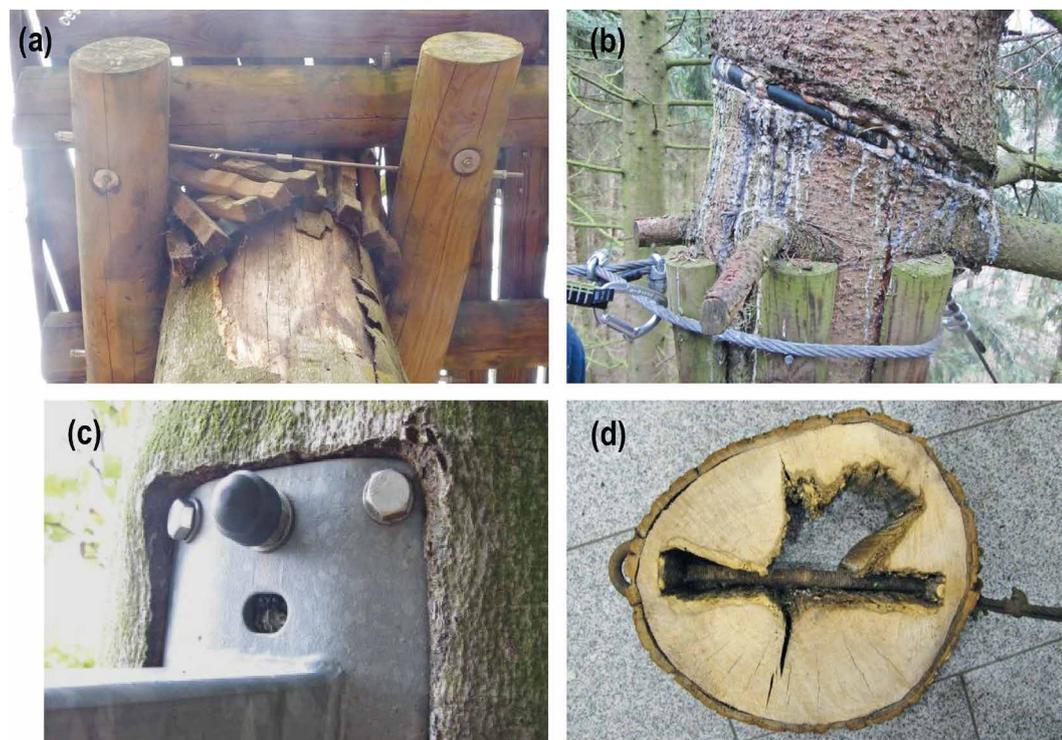


Bild 3 Weitere Beispiele für nicht fachgerechte Verankerung an Tragbäumen durch Balkenzange (a), Schlinge (b), großflächiges Anschlusselement (c) und Verwendung von korrosiven Stählen (d)
Further examples of improper anchoring on trees under usage of beam tongs (a), slings (b), large-scaled contact plate (c), and corrosive steel bolt (d)

mieden werden, was oft als Balkenzange bezeichnet wird und in den Bildern 1, 2a zu sehen ist.

In der eingehenden Untersuchung am Adlerhorst wurde festgestellt, dass sich die vier Tragbäume im Windgeschehen oft gegenläufig bewegen und die Kopplung durch Balkenzangen zu Zwängung, Materialermüdung und Materialabrieb führte. Dadurch lockerten sich die Balkenzangen, was den Rindenmantel der Tragbäume bei windinduzierten Bewegungen zunehmend verletzte. So konnten sich Viren und Bakterien als Ursache für Fäulnis sowie Pilze etablieren, was durch Staunässe zwischen Balkenzange und Schaft begünstigt wurde.

In Bild 2a ist zu sehen, wie die Balkenzange einer anderen Plattform das Dickenwachstum des Stamms gestört hat. Im Bereich der Zwängung weicht der Stammquerschnitt von der natürlichen Form deutlich ab. Jede Art der Zwängung, welche den jährlichen Zuwachs durch neue Jahresringe beeinträchtigt, stellt eine Gefahr für die Vitalität des Baums dar, da sowohl der Saftfluss in der

Bastschicht (Phloem) als auch die Mechanik des Holzkörpers gestört werden (Bild 2).

Immer wieder finden großflächige Adapterelemente wie in Bild 3c Verwendung, welche mit Schrauben am Schaft befestigt werden. Diese sollen Kontaktspannungen auf den Borkenmantel verringern. Allerdings wird auch hier das Dickenwachstum des Schafts unterbunden und der Baum versucht den Metallkörper zu überwachsen, was man auch als Überwallung bezeichnet. Diese Überwallung dauert aufgrund der großflächigen Geometrie viele Jahre, weshalb Viren und Bakterien einen langen Angriffszeitraum haben, bevor sich der Stamm mit durchgängiger Borke wieder luftdicht verschließt. Solche Anschlusselemente bestehen zudem oft aus korrosiven Stählen und sind verzinkt, was den Stoffwechsel des Tragbaums stört und zum Zerfall der Holzmatrix führen kann (Bild 3d).

Die Vermeidung schädigender Einflüsse am Tragbaum ist als allgemeine Anforderung an die Bauausführung zu ver-

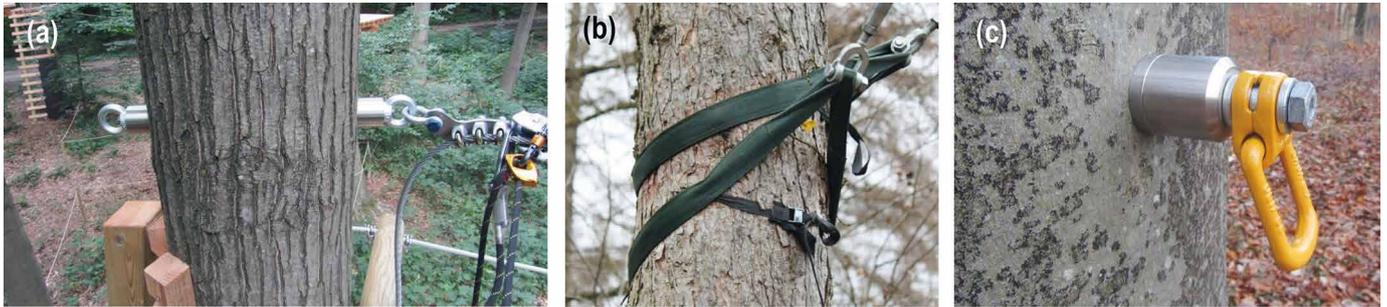


Bild 4 Beispiele für fachgerechte Verankerung am Schaft von Bäumen: a) durchgehende Ankerstange, b) offene Schlinge, c) Baumanker
Examples of professional anchoring on the shaft of trees: a) continuous anchor rod, b) open loop, c) tree anchor

stehen. So ist der Schutz baulicher Anlagen gegen schädliche physikalische oder biologische Einflüsse durch Wasser, Feuchtigkeit, pflanzliche und tierische Schädlinge in den Landesbauordnungen festgeschrieben (z. B. LBO BW §14 Abs. 2 oder BauO NRW §13). Die Schäden in Bild 1 sind schlussendlich auf physikalische und biologische Einflüsse rückführbar.

Beispiele für baumschonende und fachgerechte Anschlagstechniken sind in Bild 4 zu sehen. Das natürliche Dickenwachstum des Tragbaums sowie die physiologische Verträglichkeit der verwendeten Materialien wird dabei berücksichtigt.

3 Der Baumanker als Implantat

Im Folgenden wird speziell auf Anker eingegangen, welche wie ein Implantat zwischen dem Gewebe des Baums und weiteren technischen Bauteilen vermitteln (Bild 5). Tragelemente wie Seile, Pfosten oder Umreifungen können daran dauerhaft und kraftschlüssig befestigt werden.

Das Design und der Einbau solcher Anker entsprechen zahlreichen Vorgaben eines Implantats:

- Die Verschraubung des Verankerungsabschnitts im Schaft des Baums verhindert die Abstoßung des Umwallungsabschnitts, welcher somit von jährlichen Reaktionsholzschichten umwachsen wird (Prinzip der Umwallung).
- Durch den schlanken Verankerungsabschnitt werden die Leitungsbahnen in der Wachstumsschicht (Kambium) sowie im Splintholz (Xylem) so wenig wie möglich unterbrochen (minimalinvasiver Eingriff).
- Die Bastschicht (Phloem) wird bei der Herstellung der Planfläche weitgehend erhalten.
- Die Einbringung des Baumankers geschieht unter Hygienemaßnahmen bez. Viren und Bakterien und wird luftdicht unter Einsatz von Baumharz durchgeführt.
- Der Baumanker aus austenitischem Edelstahl ist auch unter Einwirkung von Pflanzensäften korrosionsbeständig.
- Die Umwallung wirkt der Materialermüdung im Verankerungsabschnitt entgegen.

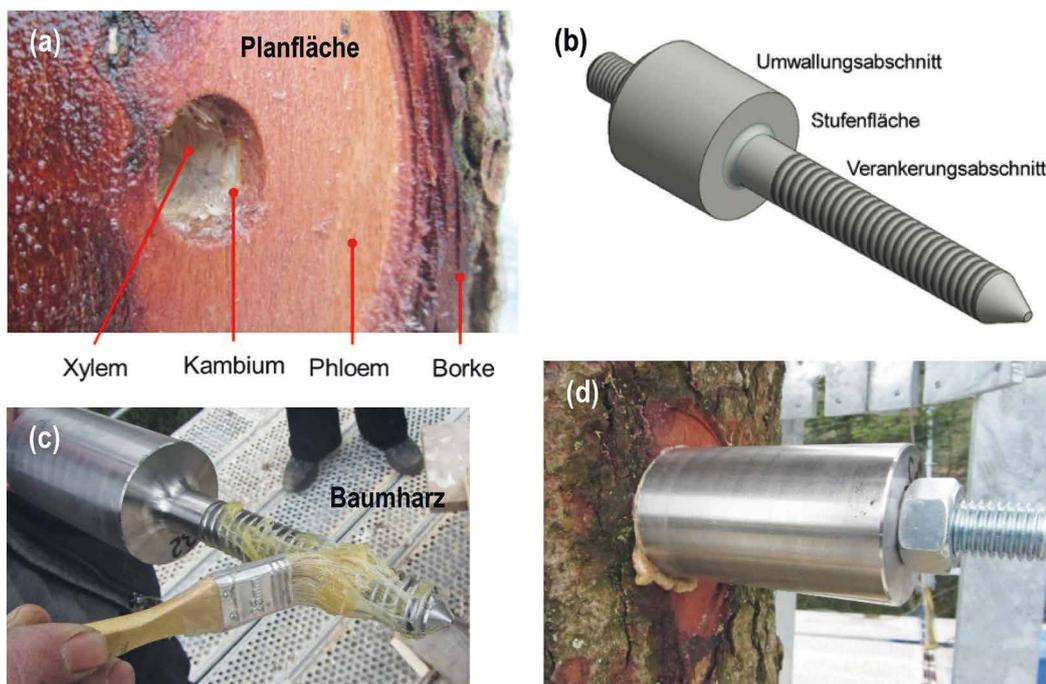


Bild 5 Freigelegte Gewebeschichten (a), schematischer Aufbau (b), Einsatz von Baumharz zur Vermeidung von Gasblasen (c) sowie Einbringung und Abdichtung des Baumankers (d)
Exposed layers of tissue (a), schematic structure (b), use of tree resin to avoid gas bubbles (c) and insertion and sealing of the tree anchor (d)

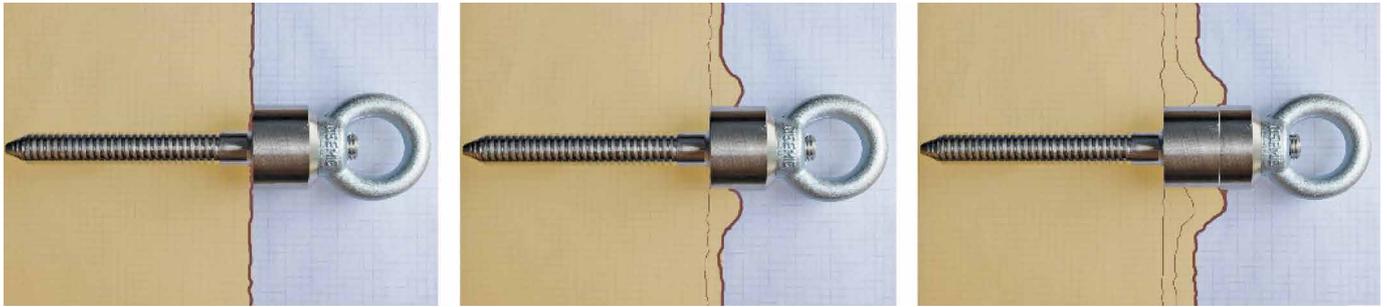


Bild 6 Umwallung und Verlängerung des Baumankers für die dauerhafte Nutzung
Wallowing and extension of the tree anchor for permanent usage



Bild 7 Die Umwallung des Ankers (a) ist ein Vorgang, welcher im Baum genetisch veranlagt ist; der Baum bildet hochfestes Reaktionsholz, um bei abgestorbenen Ästen einen „Abschiedskragen“ zu bilden (b) oder um Wunden zu verschließen (c)
The wallowing around the anchor (a) is a process that is genetically predisposed in the tree; the tree forms high-strength reaction wood to form a „parting collar“ around dead branches (b) or to close wounds (c)

- Die horizontale Ausrichtung und die zylindrische Form des Umwallungsabschnitts leiten sich aus der Geometrie natürlicher Äste ab und beugen Staunässe vor.
- Der Baumanker kann nach der vollständigen Umwallung des dafür vorgesehenen Abschnitts verlängert werden, was den Austausch und damit verbundene Verletzungen im Gewebe erspart.

Solche Baumanker unterscheiden sich also grundsätzlich von einer Schraube dadurch, dass die Umwallung vorgesehen ist und das Design dieses natürlichen Prozesses unterstützt (Bild 6).

Bei der Dimensionierung des Baumankers werden im Gegensatz zu einer Schraube (Rapidbefestigung) die biologischen Eigenschaften der umgebenden Matrix mittel- bis langfristig berücksichtigt (Entwicklungsbefestigung). Der vitale Baum umwallt den Baumanker wie einen abgestorbenen Ast mit einem sog. Abschiedskragen (Bild 7). Reaktionsholz presst sich dabei auf die Oberfläche des Baumankers, was die Kontaktfläche wie einen Wundverschluss abdichtet und den Baumanker klemmt. Zudem schiebt das Reaktionsholz den Anker von der Mittelachse des Schafts weg, was durch die Verschraubung im Verankerungsabschnitt jedoch verhindert wird.

Durch die Umwallung kann der Baumanker zunehmend höhere Querbelastung ertragen, was den Wert der Verankerung steigert, jedoch je nach Baumart und Standort-

bedingungen etwa zwei bis vier Jahre dauert. Für einen Neubau werden Baumanker selten mit solch einem zeitlichen Vorlauf eingebracht, sodass zunächst nur der Verankerungsabschnitt zur Kraftübertragung verfügbar ist. Die Umwallung wirkt aber der Materialermüdung langfristig sowohl im Anker als auch in der Holzmatrix entgegen und baut zusätzliche Lastkapazitäten z. B. für eine Erweiterung des Wohnkörpers auf.

Die Einbringung solcher Implantate in die Holzmatrix stellt eine invasive Maßnahme dar, was auch kritisiert wird [1]. Die Bohrung des Sacklochs durchtrennt Leitungsbahnen des Phloems sowie des Xylems und dringt dabei in das Kernholz ein. Dadurch werden natürliche Abschottungsbarrieren gegen das Eindringen von Viren und Bakterien durchdrungen, weshalb Hygienemaßnahmen sowie der luftdichte Abschluss bei Einbringung des Implantats unerlässlich sind. Der Quotient aus unterbrochenen Leitungsbahnen in Relation zum intakten Gewebe des Phloems kann über die Summe der Sacklochdurchmesser d_i sowie den Durchmesser D des Schafts leicht ermittelt werden:

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\pi D}$$

Für das Bauwerk im nachfolgenden Abschnitt erreicht dieser Quotient den – den Verfassern bekannten – höchsten Wert von 9,5% pro Umreifung. Obwohl im Abstand von 1 m eine zweite Umreifung mit ähnlichem Quotien-



Bild 8 Weißtanne mit Baumplattform Adlerhorst 2 (a) sowie entkoppeltem Steg auf Stelzen (b)
Silver fir with tree platform Eagle's Nest 2 (a) and decoupled footbridge on stilts (b)

ten an diesem Baum vorliegt, konnten in den vergangenen vier Jahren keine signifikanten Merkmale von Vitalitätsverlust nach FFL Baumkontrollrichtlinie [2] und Visual Tree Assessment [12] beobachtet werden. Beide Richtlinien bewerten den visuell wahrnehmbaren biologischen Zustand von Bäumen. So werden u. a. der jährliche Zuwachs an Triebspitzen, die Umwallung von Wundstellen und die Belaubung der Krone untersucht. Die Ergebnisse der o. g. Baumkontrollen sprechen dafür, dass die Vorteile dieser Befestigungstechnik den Eingriff in die Baummatrix, welcher ja durchaus einen Nachteil darstellt, überwiegen. Allerdings sind die in Bild 7 gezeigten Reparaturmechanismen (Umwallung, Wundverschluss) des Tragbaums dafür essenziell. Die Erfahrungswerte der Autoren basieren lediglich auf Tragbäumen mit „guter“ bis „sehr guter“ Vitalität gem. [13]. Weist ein Baum schon vor der Bebauung Merkmale von Vitalitätsverlust auf, z. B. durch Teilkronenausfall, partiell abgestorbene Rinde oder ausbleibenden Wundverschluss an natürlichen Schadstellen, gelten obige Aussagen nicht und es wird von einer Bebauung abgeraten.

4 Die doppelte Umreifung am Adlerhorst 2

Als Ersatz für die rückgebaute Aussichtsplattform Adlerhorst wurde in einer benachbarten forstlichen Abteilung ein neuer Standort für das Projekt Adlerhorst 2 gefunden. Maßgebend für diese Präferenz war das Angebot an tragfähigen Rotbuchen (*Fagus sylvatica*) und Weißtannen (*Abies alba*). Schlussendlich fiel die Wahl auf eine mächtige, etwa 150 Jahre alte Weißtanne, welche eingehend untersucht und vermessen wurde. Der Schaft weist eine bemerkenswerte Neigung von ca. 3° gegen die Vertikale auf (Bild 8b).

Da Holzdichte und Festigkeit von lokalen Wachstumsparametern abhängen [5], wurden umliegende Referenzbäume derselben Art zur Gewinnung von Bohrkernen genutzt, um den ausgewählten Tragbaum zu schonen. Die Überprüfung der Bohrkern mithilfe eines Fraktometer-II-Messgeräts ergab eine gemittelte Druckfestigkeit in Faserrichtung von 24,7 N/mm², welche u. a. für lokale Spannungsnachweise der Befestigung herangezogen wurde.

Das architektonische Konzept des Adlerhorst 2 stellt den Blick in das Kronendach des Walds in den Vordergrund. Der Titel gab weiterhin vor, dass es sich um ein rundes, nestartiges Bauwerk aus überwiegend natürlichen Rohstoffen sowie hoher Aufenthaltsqualität (Schutz vor Wind, Emotion der Geborgenheit) handeln sollte (Bild 8).

Das Bauwerk besteht aus einer Plattform am Tragbaum sowie einem geraden Steg als Zuwegung. Der kontinuierlich sanft ansteigende Steg wird über A-Ständer aus Holz gestützt und mittels Schraubfundamenten im Waldboden gegründet. Wie erwähnt, gefährdet die Erstellung von Fundamenten in der Nähe des Tragbaums dessen Wurzelwerk. Deshalb wurde in dem betreffenden Baumschutzgutachten die Gründung mittels Betonfundamenten untersagt. Der Einsatz von Schraubfundamenten stellt einen geringeren Eingriff in den sensiblen Waldboden dar.

Die kreisförmige Plattform besitzt eine Grundfläche von ca. 20 m² und liegt ca. 7 m über dem flach abfallenden Gelände. Auf der Plattform befinden sich umlaufende Sitzflächen für die gleichzeitige Benutzung von bis zu 20 Personen. Die angesetzte Verkehrslast von 4 kN/m² deckt die gleichzeitige Nutzung durch eine höhere Personenzahl ab. Die Plattform ist mit einer hohen Brüstung

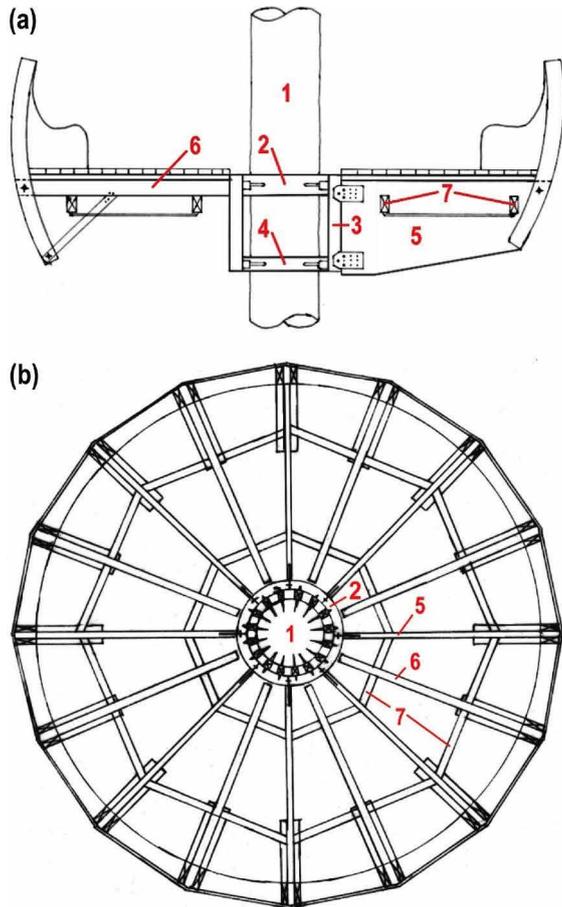


Bild 9 Schnitt (a) und Aufsicht (b) des Tragwerks am Schaft der Weißtanne (1) über die doppelte Umreifung, bestehend aus oberem Ring (2), Fahnenblech (3) und unterem Ring (4); an die Umreifung schließen Schwertscheiben (5) als Hauptträger sowie Balken (6) als Nebenträger an, welche über ein inneres und äußeres Oktagon aus Balken (7) gekoppelt sind

Section (a) and top view (b) of the supporting structure on the shaft of the silver fir (1) over the double strapping, consisting of upper ring (2), flag plate (3) and lower ring (4); attached to the strapping are sword plates (5) as main girders and beams (6) as secondary girders, which are coupled via an inner and outer octagon of beams (7)

umrandet, welche auf Geländerpfosten zurückgreift (Bild 9).

Zur Vermeidung von Zwängung sind Steg und Plattform weitgehend entkoppelt. Im Windgeschehen bewegt sich die Plattform translatorisch horizontal als auch rotatorisch um die Achse des Baums. Diese Bewegungen sind bei entsprechenden Windverhältnissen für die Besucher spürbar. Die Drehbewegung der Plattform tordiert den Schaft des Baums und wird durch spezielle Dämpfungsfedern (Ruckdämpfer) zwischen Plattform und Steg gedämpft sowie limitiert (Bild 10).

Diese Maßnahme verhindert zudem die Anregung der Torsionsschwingung im Resonanzbereich durch Besucher. Aufgrund der geringen Rollschubfestigkeit der Holzmatrix stellt Torsion um die Längsachse des Tragbaums ein Risiko dar, welches begrenzt werden muss. Auch an unbebauten Bäumen können Schadensmerkmale durch Torsion um die Längsachse häufig beobachtet werden [1, 11, 14], weshalb dieser Aspekt hier hervorgehoben wird.



Bild 10 Dämpfungsfeder mit Verformungsbegrenzung zwischen Plattform und Steg
Damping spring with deformation limitation between platform and footbridge

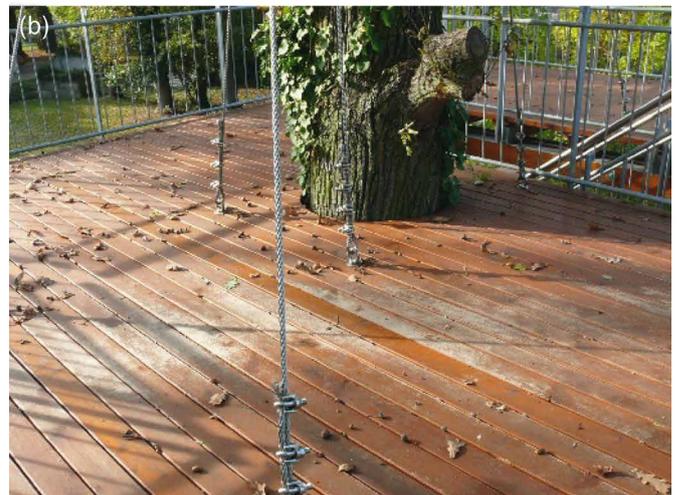
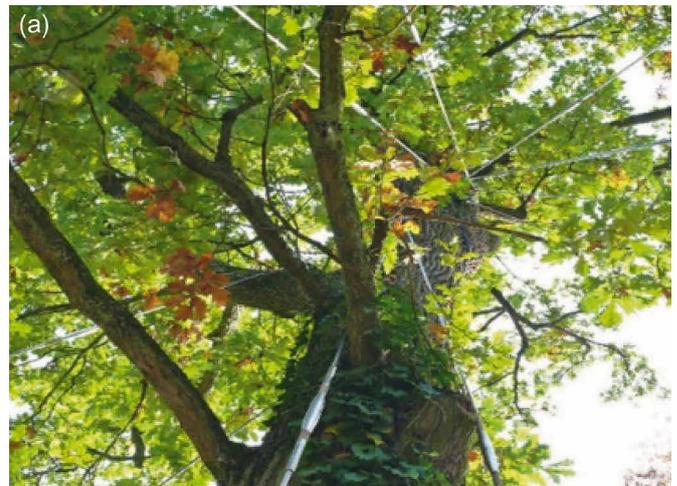


Bild 11 Abhängung einer Plattform mit Seilen für ein privates Bauprojekt in Süddeutschland: a) Blick zur Krone und b) auf die Plattform
Suspension of a platform with ropes for a private construction project in southern Germany: a) view to the crown and b) to the platform

Die Abhängung der Plattform mit Seilen, wie sie in Bild 11 zu sehen sind, hätten beim Adlerhorst 2 den Verkehrsraum zu sehr gestört. Selbst eine Seilführung zum äußeren Umfang der Plattform war für den freien Blick in die Krone unerwünscht. Eine Abstreifung der Plattform in Richtung des Stammfußes wurde ebenfalls diskutiert.



Bild 12 Doppelte Umreifung, bestehend aus oberem Ring (2), Fahnenblech (3), unterem Ring (4) und Schwertscheiben (5)
Double strapping, consisting of upper ring (2), flag sheet (3), lower ring (4) and sword discs (5)

Aber um die Erscheinung eines Nests zu betonen, wurde schlussendlich die tragende Konstruktion der Plattform auf die Höhe des Nestbodens beschränkt. Diese Vorgabe führte zur Konstruktion der doppelten Umreifung (Bild 12). Die beiden Ringe besitzen einen vertikalen Abstand von 1 m und sind mit Fahnenblechen verbunden. An die Fahnenbleche schließen ca. 2,8 m lange, radial auskragende Schwertscheiben aus Furnierschichtholz an. Diese Hauptträger sind an der Oberseite durch Zugdiagonalen untereinander ausgesteift.

Die Nebenträger bestehen aus radial verlaufenden Balken, welche über ein inneres und äußeres Oktagon an die Hauptträger anschließen (Bild 9). Der Bodenbelag aus Lärchendielen sammelt vertikale Lasten und liegt auf Haupt- und Nebenträgern auf. Durch die Exzentrizität vertikaler Lasten bez. der Stammachse trägt jede Schwertscheibe ein Kräftepaar in die doppelte Umreifung ein. Sofern rotationssymmetrische Belastung vorliegt, kann sich dieses Kräftepaar über die Ringwirkung der Umreifung mit der gegenüberliegenden Schwertscheibe ins Gleichgewicht setzen, wodurch sich ein oberer Zugring und ein unterer Druckring ausbilden. Somit wird das Einspannmoment der Schwertscheiben primär über Ringkräfte der doppelten Umreifung ins Gleichgewicht gestellt, ohne die Holzmatrix zu beanspruchen. Lediglich im Fall asymmetrisch verteilter Schnee- und/oder Personenlast kommt es zur Abweichung von diesem Prinzip, da das charakteristische Gewicht der Konstruktion mit ca. 80 kN über der Nutzfläche von 20 m² im Bereich der Nutzlast von 4 kN/m² liegt.

Durch individuelle Verlängerungszylinder je Baumanker kann die Abweichung des Stammquerschnitts zur Kreisgeometrie der Umreifung kompensiert werden. Weiterhin werden die Baumanker über die Ringwirkung der Umreifung gegen den Schaft des Baums vorgespannt, indem man nach vollständiger Montage alle Verlängerungszylinder so verdreht, dass sich der Spalt in Bild 13c vergrößert. Dieses Vordrücken der Baumanker erhöht den Kraftschluss der Befestigung zum Baum hin. Gerade bei asymmetrischer Belastung der Plattform lässt sich so die Grenzfläche zwischen Stamm und Baumanker kontinu-

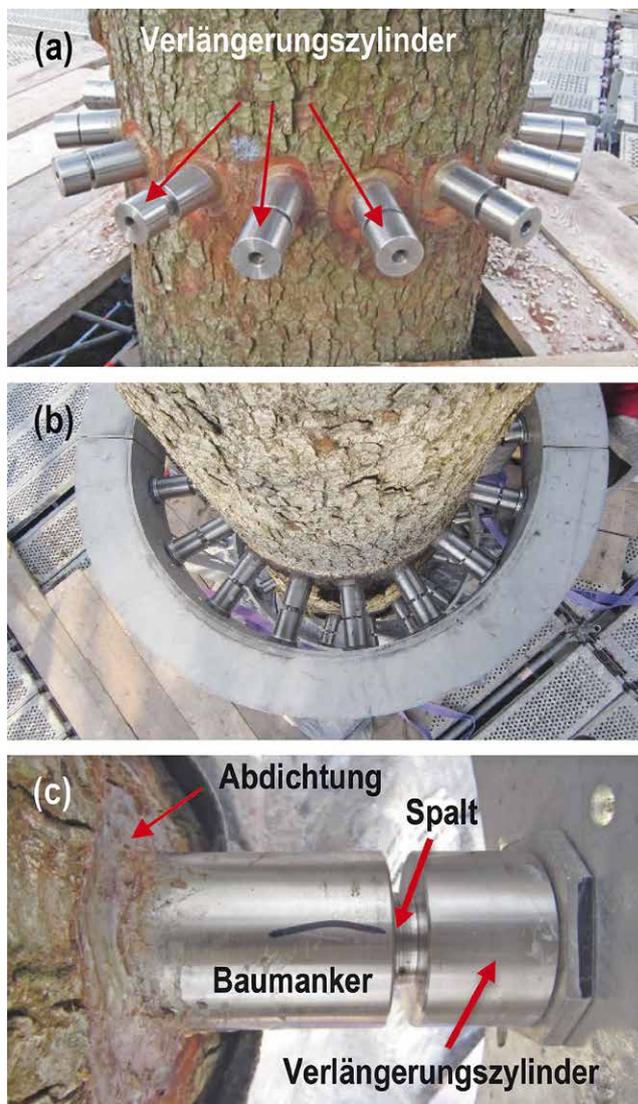


Bild 13 Baumanker mit individuellen Verlängerungszylindern vor (a) und nach (b) Montage der doppelten Umreifung, welche über das Verdrehen der Verlängerungszylinder vorgespannt wird (c)
Tree anchor with individual extension cylinders before (a) and after (b) installation of the double strapping, which is pre-tensioned by screwing back the extension cylinders (c)

ierlich geschlossen halten. Diese Grenzfläche wird durch eine Hohlkehle aus Baumharz zusätzlich luftdicht verschlossen. Hat der Baum nach ein paar Jahren mit der Umwallung des Baumankers begonnen, kann man auf solch eine zusätzliche Abdichtung verzichten.

Durch die Umwallung der Baumanker nimmt die Tragkraft der Verbindung zu, sodass mit jeder Wachstumsperiode die Beanspruchung des Verankerungsabschnitts abnimmt. Jedoch lag kurz nach Fertigstellung der Plattform noch kein Reaktionsholz vor, was für die Auslegung des Baumankers maßgebend ist. Durch die oben besprochenen Vorteile der doppelten Umreifung konnte der Kerndurchmesser des Verankerungsabschnitts und damit die Sacklochbohrung dennoch klein gehalten werden. Obwohl eine vertikale Bemessungslast von 212 kN vorliegt, genügte zur Erstellung pro Ring 16 Bohrungen mit Durchmesser 18 mm. Das Eigengewicht der Weißtanne aus Stamm, Astwerk und Krone wurde in 2016 mit



Bild 14 Bodenbelag und doppelte Umreifung während einer Bauwerksprüfung; im Normalbetrieb schützen fest installierte, engmaschige Gitterroste den Bereich zwischen Umreifung und Baum
Floor covering and double strapping during a structural inspection; in normal operation, permanently installed, close-meshed gratings protect the area between the strapping and the tree

ca. 156 kN ermittelt. Die Relation aus technischer Bemessungslast und Baueigengewicht liegt damit bei 1,36 und zeigt, wie effizient die Befestigung schon bei Erstellung im Jahr 2017 war. Mit der fortschreitenden Umwallung der Baumanker wird diese Relation noch weitaus höhere Werte annehmen, was in einem nachfolgenden Aufsatz zu gegebener Zeit diskutiert werden soll.

5 Fazit und Ausblick

Mit den vorgestellten Baumankern und der doppelten Umreifung liegt aus Sicht der Verfasser eine sichere, wirtschaftliche und baumschonende Lösung für zentralsymmetrische Bauwerke an einem einzelnen Baum vor. Alle Elemente der Befestigung können ggf. vollständig deinstalliert und einer Wiederverwendung zugeführt werden, sofern keine Korrosion oder Materialermüdung vorliegt.

Ausblickend sei gesagt, dass die Lebensdauer für den Adlerhorst 2 auf etwa 15 Jahre angesetzt ist. Erst nach diesem Zeitraum werden die Umwallungsabschnitte der Implantate voraussichtlich vollständig mit Reaktionsholz umwachsen sein und müssen dann verlängert werden. Dies ist für die vorgestellten Baumanker möglich und erfordert keinen erneuten Eingriff in die Holzmatrix. Es erfordert allerdings den vollständigen Abbau der Plattform, da der Durchmesser der Umreifung zu vergrößern ist (Bild 14).

Literatur

- [1] Wessoly, L.; Erb, M. (2014) *Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle*. Berlin: Patzer-Verlag.
- [2] Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (2020) *Baumkontrollrichtlinien – Richtlinien für Baumkontrollen zur Überprüfung der Verkehrssicherheit*. Ausgabe 2020.



Bild 15 Blick in den Adlerhorst 2 nach Fertigstellung im Jahr 2017
View of Eagle's Nest 2 after completion in 2017

Bleibt der Baum vital, nimmt sowohl die Tragkraft der Verankerung als auch die Tragkraft des Baums mit jeder Wachstumsperiode zu, sodass eine Nachfolgeplattform noch größer gestaltet werden könnte oder zusätzliche Tragreserven genießt.

Mit fachgerechten Befestigungssystemen für Tragbäume erschließt sich ein interessantes Feld des Bauingenieurwesens, welches lebende und adaptive Strukturen mit ins Tragsystem einbezieht und dadurch schätzt und schützt. Das Projekt Adlerhorst 2 (Bild 15) zeigt, wie tragkräftig und wertvoll Bäume bereits vor der Verarbeitung zu Baustoff sind. Hinzu kommt, dass diese öffentliche Plattform des Landes Baden-Württemberg einer Vielzahl von Besuchern vor Augen führt, dass die Verbindung von Natur und Technik reizvoll und vorteilhaft ist. Die Baumplattform Adlerhorst 2 benötigt weder technische Gründung noch Holzschutz für die Stützung, da sich der Tragbaum selbst gründet und sich gegen schädliche physikalische oder biologische Einflüsse durch Wasser, Feuchtigkeit, pflanzliche und tierische Schädlinge schützt.

Dank

Die Autoren danken Herrn Dipl.-Ing. Andreas Plietz, Referatsleiter Bautechnik und Bauphysik im Ministerium für Heimat, Kommunales, Bau und Gleichstellung des Landes Nordrhein-Westfalen, für seine Hinweise zur möglichen rechtlichen Einordnung von Bauwerken im Baumbestand.

- [3] Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (2013) *Baumuntersuchungsrichtlinien – Richtlinien für eingehende Untersuchungen zur Überprüfung der Verkehrssicherheit von Bäumen*. Ausgabe 2013.
- [4] Lavers, G. W. (1983) *The Strength Properties of Timber*. Building Research Establishment Report. London: HSMO.

- [5] Niklas, K. J.; Spatz, C. (2012) *Plant Physics*. Chicago: The University Chicago Press.
- [6] Mattheck, C. (2002) *Tree Mechanics*. Forschungszentrum Karlsruhe.
- [7] Dahle, G. A.; James, K. R.; Kane, B.; Grabosky, J. C.; Detter, A. (2017) *A Review of Factors That Affect the Static Load-Bearing Capacity of Urban Trees*. *Arboriculture & Urban Forestry* 43, no. 3, pp. 89–106.
- [8] Ludwig, F. (2008) *Botanische Grundlagen der Baubotanik und deren Anwendung im Entwurf* [Dissertation]. Fakultät für Architektur und Stadtplanung, Universität Stuttgart.
- [9] Bernatzky, A. (1994) *Baumkunde und Baumpflege*. Braunschweig: Bernhard Thalacker Verlag.
- [10] Fründ, H.-C.; Hemker, O. (2012) *Bodenschadverdichtung – Vermeidung, Regeneration und Überwachung*. Hochschule Osnabrück.
- [11] Sinn, G. (2003) *Baumstatik*. Braunschweig: Thalacker Verlag.
- [12] Mattheck, C. (2007) *Feldanleitung für Baumkontrollen*. Forschungszentrum Karlsruhe.
- [13] Roloff, A. (2018) *Vitalitätsbeurteilung von Bäumen – Aktueller Stand und Weiterentwicklung*. Braunschweig: Haymarket Media.
- [14] Shigo, A. (1990) *Die neue Baumbiologie und Fachbegriffe*. Braunschweig: Thalacker Verlag.

Autoren

Dipl.-Des. Martin Zeller
martin.zeller@tu-dortmund.de
TU Dortmund
Institut für Baumechanik, Statik und Dynamik
August-Schmidt-Straße 8
44227 Dortmund

Prof. Dr.-Ing. Ingo Münch (Korrespondenzautor)
ingo.muench@tu-dortmund.de
TU Dortmund
Institut für Baumechanik, Statik und Dynamik
August-Schmidt-Straße 8
44227 Dortmund

Zitieren Sie diesen Beitrag

Zeller, M.; Münch, I. (2022) *Befestigung von Bauwerken in Bäumen mit Baumankern und doppelter Umreifung*. *Bautechnik* 99, Sonderheft Holzbau, Ausgabe 1, S. 13–22.
<https://doi.org/10.1002/bate.202100078>

Dieser Aufsatz wurde in einem Peer-Review-Verfahren begutachtet.
Eingereicht: 6. September 2021; angenommen: 3. Januar 2022.

 technische universität
dortmund

 baumechanik
statik dynamik

Prof. Dr.-Ing. Ingo Münch
Institut für Baumechanik, Statik und Dynamik

Technische Universität Dortmund

Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen
August-Schmidt-Straße 8
44227 Dortmund

Tel. +49 (0)2317552536

Fax +49 (0)2317557260

bmsd.bauwesen@tu-dortmund.de

<https://bmsd.ab.tu-dortmund.de>