

Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 135 (2009)
Heft: 29-30: Baumwerke

Artikel: Verwachsene Konstruktionen
Autor: Ludwig, Ferdinand / Storz, Oliver
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-108292>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

VERWACHSENDE KONSTRUKTIONEN

Baubotanische Gebilde sind als Mischkonstruktionen technischer und pflanzlicher Elemente konzipiert. Sie vereinen Eigenschaften des Lebendigen wie des Technischen. An der Universität Stuttgart erforschen Baubotaniker diese Systeme und haben bereits Bauten wie einen Steg und eine Vogelbeobachtungsstation errichtet. Diesen Sommer wollen sie einen mehrgeschossigen Turm pflanzen. Vielleicht ermöglicht es die Baubotanik in einigen Jahren, Städte mit konstruierten Baumstrukturen auszustatten.

Der Begriff Baubotanik entstand 2005 am Institut Grundlagen Moderner Architektur und Entwerfen der Universität Stuttgart. Er steht für den Ansatz, Tragstrukturen aus lebenden Bäumen zu bilden. Sowohl in der Architektur als auch in der Gartenkunst sind Beispiele zu finden, bei denen versucht wurde, Bäume architektonisch zu formen oder gar Bauwerke aus Bäumen entstehen zu lassen (vgl. S. 23ff.). Auch die Forschung und die Praxis der Baubotanik bewegen sich in diesem Feld, sie versuchen jedoch, den Ansatz auf natur- und ingenieurwissenschaftlicher Grundlage in Richtung einer Bauweise weiterzuentwickeln und die technischen wie ästhetischen Potenziale systematisch zu erforschen.

STEG UND VOGELBEOBACHTUNGSSTATION

Das erste grössere Baubotanik-Bauwerk ist ein Steg, der im Frühjahr 2005 realisiert wurde. Die Konstruktion ist einfach: Die begehbaren Laufflächen und die Handläufe wurden konventionell aus Stahl konstruiert, während alle vertikalen lasttragenden und aussteifenden Konstruktionselemente aus Bündeln von Weidensteckhölzern gebildet wurden. Weil die verwendeten Weiden unter geeigneten Bedingungen am unteren Ende eines abgeschnittenen Triebes neue, sogenannte Adventivwurzeln bilden können, verankerte sich das Bauwerk selbsttätig im Boden, ohne dass ein klassisches Fundament nötig war. Oberirdisch trieben die Pflanzen unmittelbar nach Fertigstellung aus, und mit den ersten Blättern stellte die anfangs eher technisch anmutende Struktur ihre Lebendigkeit unter Beweis. Im Verlauf des Sommers entstanden fast blickdichte «grüne Wände», und das Bauwerk ähnelte zunehmend einem grossen Gebüsch oder einer Hecke (Abb. 1). Nur an den Stahlelementen und der geometrischen Form war es als ein artifizielles Gebilde zu erkennen. Mit dem Blattfall im Herbst dominierten wieder Technik und Geometrie. Doch auch im Winter ist offensichtlich, dass sich die Gestalt des Bauwerks durch die Wachstumsprozesse verändert, weil sich beispielsweise durch den Austrieb die ursprünglichen Proportionen verschieben (Abb. 2). Die Grundgeometrie der Tragstruktur verändert sich jedoch nicht, da Bäume nur an den Triebspitzen ein Streckungswachstum zeigen – die Stegfläche wächst nicht in die Höhe. Die einzelnen Pflanzen werden jedoch im Laufe der Zeit dicker, und insbesondere an Knotenpunkten kann es durch Verwachsen und Überwallen zu einer sichtbaren Zunahme der Tragfähigkeit kommen (Abb. 5–7/Kasten S. 21) – die anfangs jungen Ruten entwickeln sich zu einer knorrigen Verbundstruktur, deren Ausformung im Detail nicht planbar ist. Dennoch weist die Konstruktion einige «Kinderkrankheiten» auf. Beispielsweise kam es an einigen Verbindungsstellen zu Strangulationen des Safflusses, und in den Bündelstützen stehen die Pflanzen so dicht, dass es zu einem sehr ausgeprägten Konkurrenzkampf um die knappe Ressource Licht kommt: Einige wenige Pflanzen setzen sich durch und wachsen stark, viele andere bleiben in der Entwicklung zurück oder sterben sogar ab. Diese in allen



01



02



03

01–04 Der Steg wurde als Projekt im Rahmen von «Neue Kunst am Ried» 2005 als erstes Bauwerk von den Stuttgarter Baubotanikern nahe dem Bodensee realisiert. Lauffläche und Handlauf bestehen aus Stahl, alle lasttragenden und aussteifenden Elemente wurden aus Weidensteckhölzern gebildet

05–07 Eine Verbindung entsteht: Die Weiden umschliessen den Handlauf und verwachsen miteinander. Bereits nach wenigen Wochen sind Überwallungsansätze sichtbar. Bis ein Bauteil wie in Bild 07 völlig eingewachsen ist, vergehen jedoch etwa 3 bis 4 Jahre (Pläne und Fotos: Forschungsgruppe Baubotanik)



04



05



06



07

SELBSTOPTIMIERUNG

Im Gegensatz zu technischen Konstruktionen, die zusammengefügt und anschliessend belastet werden, entstehen Bäume in einem kontinuierlichen Prozess, wobei sie gleichzeitig wachsen und belastet werden. Dies gibt ihnen die Möglichkeit, sowohl ihre äussere Form als auch ihre innere Struktur an die sich verändernden Belastungen anzupassen. Bäume sind beispielsweise in der Lage, auf ihrer Oberfläche im zeitlichen Mittel eine gleichmässige Spannungsverteilung zu erreichen, indem sie dort ein verstärktes Dickenwachstum zeigen, wo die Belastungen am grössten sind. Gerät der Stamm eines Baumes beispielsweise mit einem Stein in Kontakt, so vergrössert er durch das lokal verstärkte Wachstum die Kontaktfläche, um die mechanische Spannung abzubauen, und erzeugt dadurch eine Überwallung. Der Karlsruher Materialforscher Claus Mattheck spricht in diesem Zusammenhang von dem «Axiom der konstanten Spannung» und betont, dass Bäume so in der Lage sind, das ihnen zur Verfügung stehende Baumaterial so effektiv wie möglich zu nutzen.

Bei der Betrachtung der inneren Strukturen des Holzes zeigt sich, dass die Fasern entlang der Hauptkraftrichtung ausgerichtet sind, wodurch Scherspannungen effektiv verringert werden. Mit dem Einsatz lebender Bäume als Tragelemente in der Architektur wird es möglich, diese Selbstoptimierungsprozesse konstruktiv zu nutzen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Belastungen in einer artifiziiell gefügten Baumtragstruktur andere sind als im frei wachsenden Baum.

PRINZIPIEN DES WACHSTUMS

Trotz ihrer enormen Grösse und Komplexität verfügen Bäume über nur drei Grundorgane: Blätter, Wurzeln und Sprossachsen. Die Blätter produzieren mittels der Fotosynthese die wesentlichen molekularen Bausteine für alle Wachstums- und Lebensprozesse, die Wurzeln nehmen Wasser und alle weiteren für das Wachstum notwendigen Elemente im Boden auf, und die Achsen verbinden Blätter und Wurzeln miteinander und erfüllen hauptsächlich Trag- und Transportfunktionen.

Dass sich Bäume trotz dieser sehr einfachen Grundstruktur sehr unterschiedlich entwickeln können, kann damit erklärt werden, dass dem pflanzlichen Wachstum ein sogenannter offener Bauplan zugrunde liegt. Bäume sind nie ausgewachsen, sondern wachsen zeitlebens weiter. Sie sind in der Lage, abgestorbene oder zerstörte Organe an gleicher oder ganz anderer Stelle durch neue zu ersetzen, und sie können sich in sehr weiten Grenzen an die unterschiedlichsten Umweltbedingungen anpassen. Deshalb kann in die Entwicklung eines Baumes, beispielsweise durch die Steuerung von Umweltfaktoren oder durch Schnitt, eingegriffen und die Gestalt verändert werden. Der Ansatz der Baubotanik, aus pflanzlichen Achsen artifiziielle Tragstrukturen zu bilden, basiert auf dieser enormen Adaptivität. Gleichwohl sind Bäume als lebende Organismen fein ausbalancierte Systeme, und bei allen Eingriffen muss das Gleichgewicht zwischen den einzelnen Organen gewahrt bleiben. Das ist die besondere Herausforderung des Konstruierens mit lebenden Systemen.

Pflanzenbeständen völlig normale Entwicklung kann in einer baubotanischen Konstruktion problematisch werden, weil absterbende Pflanzenteile einen potenziellen Fäulnisherd darstellen.

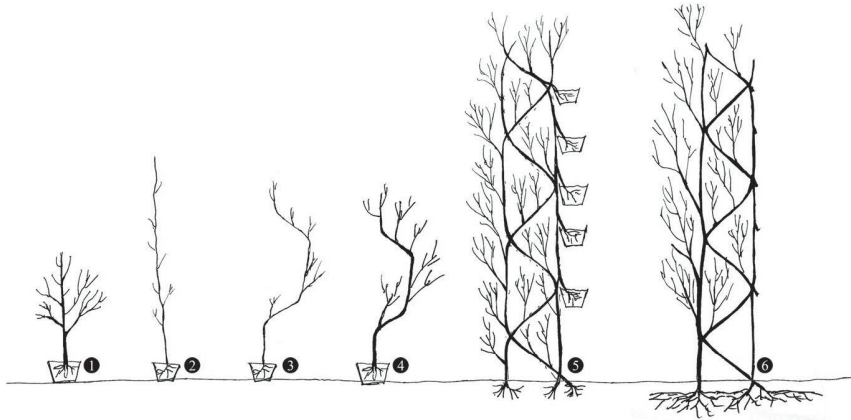
Mit einem etwas anderen Konstruktionssystem und verbesserten Details versuchte man bei der 2007 fertig gestellten Vogelbeobachtungsstation im Bayrischen Wald diese kritischen Punkte zu verbessern. Auch bei diesem Bauwerk bilden lebende Weidensteckhölzer das Haupttragwerk, hier wurden jedoch immer nur vier Pflanzen zu einem Bündel zusammengefasst. Während diese Bündel im unteren Bereich zu X-förmigen Stützen verbunden sind, bilden sie im oberen Bereich eine Art Gitterwand. So kommt es innerhalb der Stützen weniger schnell zu Strangulationen, und jeder einzelnen Pflanze steht mehr Raum und Licht zur Verfügung, wobei gleichzeitig durch die gitterartige Wandbildung der Eindruck eines geschlossenen Raumes entsteht. Mit einer 2.70m über dem Erdboden eingehängten elliptischen Plattform aus Holz und Stahl und einem kelchförmigen Membrandach, das zwischen einem ebenfalls einwachsenden Ring in 6m Höhe und der Ebene verspannt ist, ist die Vogelbeobachtungsstation das erste und bisher einzige baubotanische Bauwerk mit zwei «Stockwerken». Auch der Aufgang zur begehbaren Ebene ist baubotanisch gelöst: Der Besucher erklettert sich den Raum mit Hilfe von Leitersprossen, die in das Baumtragwerk eingebunden sind. Bis zu zehn Personen finden dann auf der Ebene, zwischen Membrandach und pflanzlicher Gitterwand, Platz.

KONSTRUKTIVE FORSCHUNG IN DER BAUBOTANIK

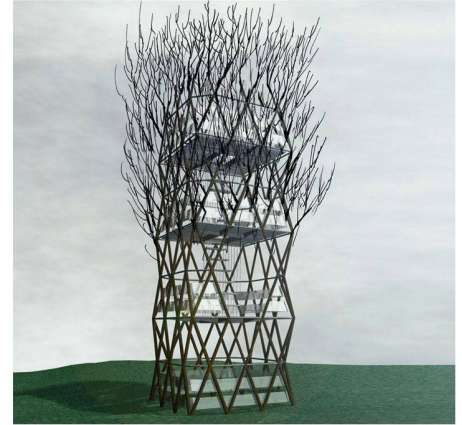
Verglichen mit konventionellen Konstruktionen sind Grösse und Nutzlast der Vogelbeobachtungsstation marginal, für die Baubotanik stellen sie jedoch bereits eine nicht zu unterschätzende Herausforderung dar. Zum einen ist die mögliche Grösse eines Bauwerks zunächst durch die Grösse der Pflanzen limitiert, und zum anderen fordert das empfindliche Pflanzenmaterial an allen Detailpunkten eine besondere Vorsicht ein, denn das lebende Gewebe sollte möglichst nicht beschädigt werden. Technische Elemente wie die begehbaren Plattformen können nur mit den Pflanzen verbunden werden, indem sie mit möglichst geringem Druck an diese gepresst werden – eine Verbindung, die natürlich zunächst nicht sehr belastbar ist. Gleichzeitig ist die Anzahl derartiger Detailpunkte begrenzt, denn die Zahl der Stützen kann nicht beliebig gesteigert werden, weil jeder Pflanze ein adäquater Kronenraum für die Fotosynthese zugestanden werden muss. Erst durch das einsetzende Dickenwachstum und das damit einhergehende Einwachsen der technischen Elemente kann die Tragfähigkeit im Verlauf der Zeit zunehmen.

Leistungsfähige Tragstrukturen können also nur bedingt konstruiert werden, die Tragfähigkeit entsteht zu grossen Teilen durch Wachstumsprozesse nach dem Konstruieren. Möchte man jedoch Wachstumsprozesse tatsächlich konstruktiv nutzen, müssen sie auch in statische Berechnungen einbezogen werden. Baubotanische Tragstrukturen stehen als lebende Bäume in ständigem Austausch mit ihrer Umwelt und sind mit dem Pflanzenwachstum an schwer vorhersagbare Umweltfaktoren gekoppelt. Das Ziel konstruktiver Forschung in der Baubotanik ist es daher, einfache Regeln zu erarbeiten, durch die die potenzielle Zunahme der Tragfähigkeit bereits in Entwurf und Planung integriert wird, beispielsweise indem Nutzungsphasen mit sukzessiv steigender Belastung entwickelt werden.

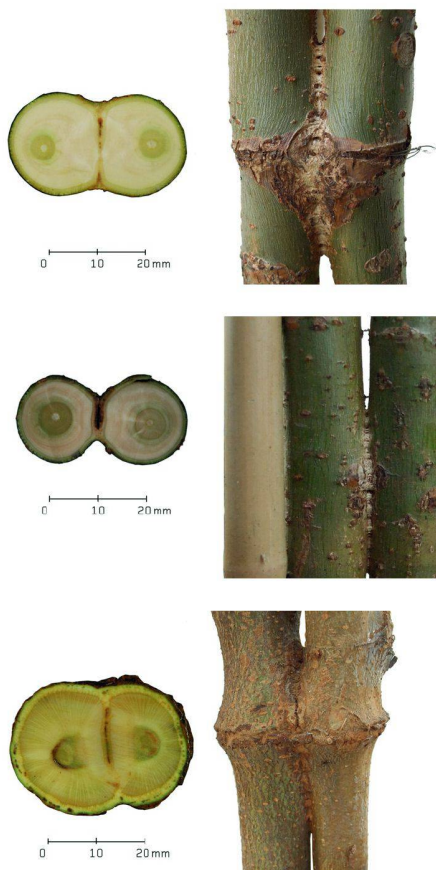
Auch wird zurzeit an einer möglichst einfachen Methode gearbeitet, die Tragfähigkeit einer wachsenden baubotanischen Struktur anhand visuell erkennbarer oder einfach zu messender Schlüsselparameter erfassen und quantifizieren zu können. Neben der Durchmesserzunahme der einzelnen Stämme ist es hier insbesondere der Grad der Überwallung technischer Bauteile, der die Tragfähigkeit wesentlich bestimmt und zurzeit in breit angelegten Versuchsreihen an unterschiedlichen Knotenpunkten untersucht wird. Neben diesen unmittelbar zugänglichen Punkten ist auch die Entwicklung des «Wurzelfundaments» von besonderer Bedeutung für die Tragstruktur. Sie entzieht sich jedoch der unmittelbaren Beobachtung und kann daher kaum visuell überprüft werden.



08



09



10

BOTANISCHE FORSCHUNG IN DER BAUBOTANIK

Entscheidend für das Entwerfen baubotanischer Bauten sind jedoch nicht nur Wachstumsprozesse nach dem Konstruieren. Ein baubotanischer Entwurf ist immer auch sehr stark durch die geometrischen sowie die mechanischen Eigenschaften der zum Konstruieren verwendeten Pflanzen geprägt, die ebenfalls durch einen mitunter Jahre dauernden Wachstumsprozess entstehen. Für baubotanische Konstruktionen sind hauptsächlich solche Pflanzen geeignet, die möglichst wenig verzweigt, lang, schlank und gerade gewachsen sind. Zudem sind hauptsächlich junge Triebe geeignet, da diese u. a. am besten miteinander verwachsen und sich am einfachsten formen lassen. Bei Weiden ist derartiges Pflanzenmaterial durchaus verfügbar, mit zunehmender Länge werden die Stämme aber auch immer dicker und steifer. Pflanzen, wie sie beispielsweise für die Vogelbeobachtungsstation verwendet wurden, sind bereits so kräftig, dass sie sich kaum biegen lassen. Bei anderen Baumarten ist derartiges Material kaum verfügbar und muss erst in Baumschulen wachsen. Gleichwohl bieten andere Baumarten wie Platanen viel grössere konstruktive und gestalterische Möglichkeiten. Weiden wachsen zwar sehr schnell, benötigen aber besonders viel Licht und Wasser. Sie sind deshalb der freien Landschaft vorbehalten und eignen sich nicht für urbane Räume. Doch gerade in Städten, in denen die ästhetischen wie ökologischen Qualitäten von Bäumen besonders gefragt sind, könnten baubotanische Strukturen ihre Qualitäten voll zur Geltung bringen. Bei den botanischen Forschungen in der Baubotanik soll ein möglichst breites Artenspektrum erschlossen werden. Auch das Zusammenfügen des lebenden Konstruktionsmaterials muss weiter untersucht werden. Dabei nimmt die Erforschung von Verwachsungen eine Schlüsselstellung ein. Wenn Verwachsungspartner fest und dauerhaft beispielsweise mittels sehr dünner Drahtseile aufeinandergedrückt werden, ist es möglich, Pflanzen gezielt so miteinander zu verbinden, dass innerhalb weniger Monate eine Art «Baumverschweisung» entsteht, die nicht nur mechanisch belastbar ist, sondern auch den Austausch von Wasser und Nährstoffen zwischen ursprünglich getrennten Pflanzen ermöglicht (Abb. 10). So konnte in ersten Versuchen gezeigt werden, dass sich aus jungen und eher kleinen Pflanzen grosse und mehr oder weniger frei formbare baubotanische Strukturen bilden lassen, indem mehrere Pflanzen mitsamt ihren Wurzeln im Raum angeordnet und untereinander verbunden werden. Nachdem dann durch Verwachsung eine physiologische Einheit entstanden ist und sich im Boden ein leistungsfähiges Wurzelsystem etabliert hat, können die im Luft- raum angeordneten Wurzeln sukzessive entfernt werden, und die Struktur «ernährt» sich ohne die anfangs notwendige Bewässerungstechnik selbstständig vom Boden aus. Im Sommer 2009 sollen diese Ansätze erstmals an einem 8 m hohen prototypischen Turm nahe dem bestehenden Steg in die Praxis umgesetzt werden (Abb. 8 und 9).

08 + 09 Werden Pflanzen im Raum angeordnet und miteinander speziell verbunden, können sie zu physiologischen Einheiten verwachsen. Anhand eines prototypischen Turms soll dieses Prinzip in grossem Massstab umgesetzt werden **10** Querschnitte durch Verwachsungen von Weide (hier zwei Stadien) und Platane (Fotos: Forschungsgruppe Baubotanik)

Ferdinand Ludwig, Dipl.-Ing., Forschungsgruppe Baubotanik

Oliver Storz, Dipl.-Ing., Forschungsgruppe Baubotanik

Die Autoren promovieren derzeit: Ferdinand Ludwig befasst sich insbesondere mit den botanischen Aspekten der Baubotanik, während Oliver Storz über konstruktive Möglichkeiten der Baubotanik schreibt.