

BAUMWERKE

16 NATUR FORMEN Hannes Schwertfeger

19 VERWACHSENDE KONSTRUKTIONEN Ferdinand Ludwig, Oliver Storz

23 GEBaute BÄUME Charles von Büren



TEC21

NATUR FORMEN

Titelbild

Bäume zwischen Bäumen: Die Formholzrohre, an denen an der TU Dresden geforscht wird (vgl. Artikel S.23ff.), sind wieder im Wald angekommen (Foto: Lothar Sprenger, © Peer Haller, TU Dresden)

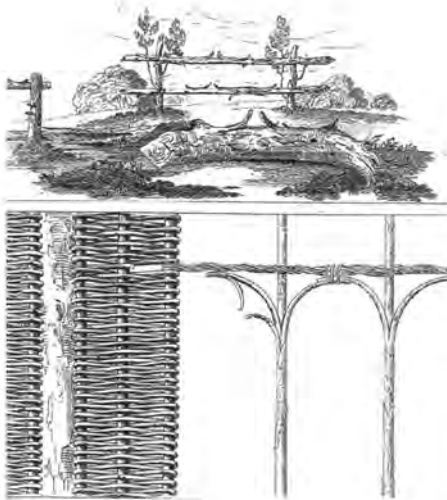
Der Geologe James Hall, der Gartenbauingenieur Arthur Wiechula und der Farmer Axel Erlandson beschäftigten sich im 19. und 20. Jahrhundert mit einer besonderen Form des Holzbaus: Sie formten lebende Pflanzen zu gotischen Fenstern, flochten sie zu Zäunen, bauten Türme mit ihnen – und liessen sie miteinander verwachsen. Ein geschichtlicher Abriss zu den drei Persönlichkeiten, die auch heutige Baubotaniker beeinflussen.

Die Entstehungsprozesse von Materialien, die wir gemeinhin als «natürlich» bezeichnen, erscheinen uns als langsam. Ein Baum wächst, solange er lebt, und produziert dabei Holz. Baubotaniker verwenden wachsende, lebendige Materialien für die Konstruktion von Bauten und sammeln dabei Erkenntnisse über die botanischen Eigenschaften von Pflanzen, ihr Verhalten und ihre Entwicklung. James Hall, Arthur Wiechula und Axel Erlandson haben aus unterschiedlichen Motivationen heraus Holzpflanzen geformt oder für konstruktive Zwecke eingesetzt.

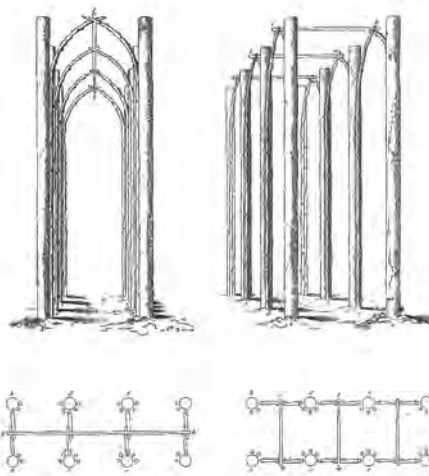
James Hall, ein schottischer Geologe und Physiker, interessierte die Vortäuschung des Pflanzencharakters in einem anderen Material. In seinem 1813 veröffentlichten Essay «Ursprünge, Geschichte und Prinzipien der gotischen Architektur»¹ bemerkt er, dass gerade die «Verborgenheit der Naturformen» in der Gotik Aufmerksamkeit erzeuge. In Konsequenz dieser Beobachtung konzentrierte sich Hall auf die Imitation der Natur als kulturelle Praxis. Er versuchte experimentell nachzuweisen, dass es keine in der Gotik vorkommende Form gebe, die nicht durch Holzpflanzen nachgebildet werden könne. Die Naturformen in der Gotik seien zwar an die räumlichen Anforderungen der Architektur angepasst worden, jedoch unter der Prämisse der plastischen Verformbarkeit der verwendeten Pflanzen. Die Übertragung der Form in Stein diene für Hall allein der Festigkeit und Dauerhaftigkeit des Kunstwerks, das nun das Bedürfnis des Betrachters nach der Echtheit des Objekts auf zweierlei Art erfülle. Das Kunstwerk erscheint als real, denn all seine Formen sind mit Pflanzen zu bilden, während die künstlerische Fiktion in der Übertragung des Kunstwerks in den Stein zu finden ist, die ihm den Wert der Dauerhaftigkeit verleiht. Fiktion und Realität werden damit zur Basis des Kunstwerks, wobei die Realität von der plastischen Verformbarkeit der Pflanzen abhängt, die Hall in seiner Untersuchung nachzuweisen versucht hat.

HOLZPFLANZEN VERWACHSEN UND ÜBERWALLEN FREMDKÖRPER

James Hall war jedoch nicht der Einzige, der sich auf die Anfertigung gotischer Strukturen aus lebenden Pflanzen verstand. Die Herstellung gotisch anmutender Fenster, wahlweise auch romanischer, kennzeichnen zu Beginn des 20. Jahrhunderts die Arbeit des Gartenbauingenieurs Arthur Wiechula. Dieser schätzte besonders die Fähigkeit von Holzpflanzen, miteinander verwachsen und technische Bauteile überwallen zu können. In seinem Buch «Wachsende Häuser aus lebenden Bäumen entstehend»² beschrieb er das von ihm beobachtete Phänomen am Beispiel der zufälligen Verwachsung zweier Kiefern. Anhand dieses Beispiels machte er deutlich, dass Verwachsungen von Pflanzen nicht nur eine stabile Verbindung eingehen können, sondern sich zudem gegenseitig versorgen, sodass bei Verwachsungen von einem zusammenhängenden Pflanzensystem gesprochen werden kann. Statt Bäume im Wald zu ziehen und diese anschliessend mit hohem Energie-, Arbeits- und Kapitelaufwand zu Bauholz zu verarbeiten, wollte Wiechula Pflanzen unmittelbar zu Gebrauchsgegenständen wie Zäunen und Häusern verwachsen lassen. Mittels gärtnerischer Methoden wie beispielsweise der Verpfropfung schlug er vor, Pflanzen so zu Glittern zu verbinden, dass sie durch ihr Dickenwachstum letztlich zu geschlossenen, lebenden Holzwänden verwachsen.



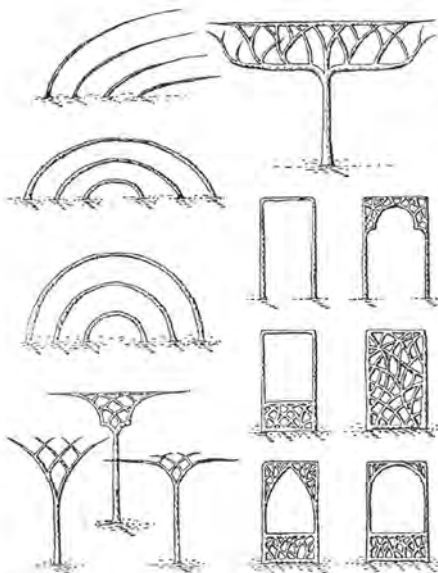
01



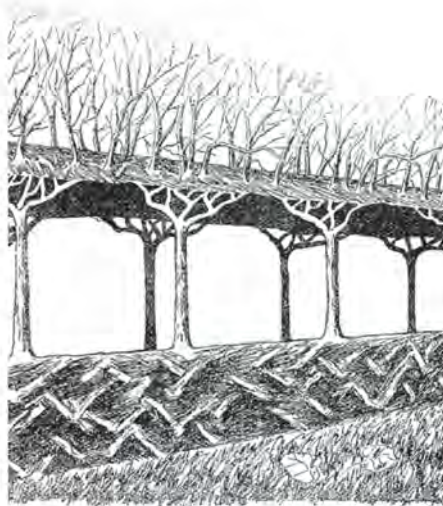
02



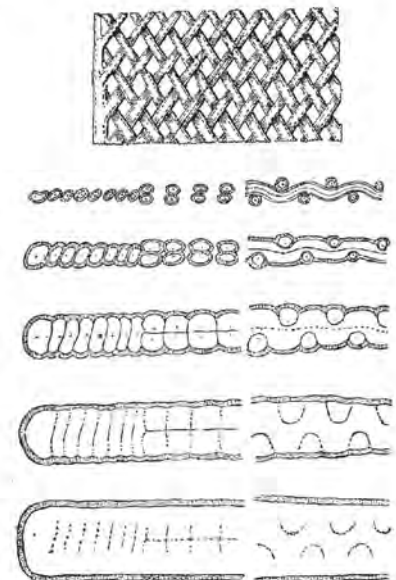
03



04



05



06

01–03 James Hall wollte nachweisen, dass jede in der Gotik vorkommende Form sich durch die plastische Verformung von Holzpflanzen erzeugen lassen kann. Durch Experimente fundierte er seine These. Dabei entstanden Zeichnungen, in denen er die mögliche Anordnung und Verbindung von Pflanzenachsen in Grundrissen, Ansichten und Perspektiven festhielt (Zeichnungen: siehe Anmerkung 1)
04–06 Arthur Wiechula kam es darauf an, Pflanzen zu geschlossenen, «wachsenden Wänden» verwachsen zu lassen. Diese These ist aus botanischer Sicht strittig, jedoch stellte er fest, dass Pflanzen nicht nur untereinander verwachsen können, sondern auch technische Bauteile zu überwallen vermögen. Er ordnete Pflanzen in Form von Gitterstrukturen an, die zu Zäunen oder Häusern verwachsen sollten (Zeichnungen: siehe Anmerkung 6)

Eine besondere Konsequenz seiner Arbeit sah Wiechula in den Möglichkeiten, die sich dabei für die Gartenkunst eröffnen würden, denn durch die Anlage von «schwebenden Gärten mit Hilfe des Naturbauverfahrens wird die Gartenkunst mit einem Stoff bereichert, um den sie bisher die Bautechnik vergeblich beneidet hat»². Gartenanlagen könnten mittels Rampen und Treppenanlagen nun dreidimensional konstruiert und erschlossen werden.

BAUMPLASTIK

1928 begann der amerikanische Farmer Axel Erlandson seine ersten Versuche, Pflanzen zu ungewohnten Formen verwachsen zu lassen. 1947 eröffnete er seinen ersten «Tree-Circus». Er sah sich vornehmlich als Gärtner, der mit wachsenden Bäumen Strukturen bildet. Der Pflanzenkünstler Richard Reames, der in Kalifornien lebt und dort verschiedene Baumformen wachsen lässt³, beschreibt die Arbeit Erlandsons folgendermassen: «Spalierobst ist die der Baumplastik wahrscheinlich ähnlichste Kunstform. Aber Spalierbäume sind eindimensional, denn sie ähneln sich. Ihre Zweige sind alle gleichmässig horizontal angeordnet. Baumplastiken hingegen können alles sein. Sie können dreidimensional angeordnet werden, verschiedene Formen annehmen, eigentlich sogar jede. Es scheint keine Grenzen



07–08 Axel Erlandson liess Pflanzen nicht nur zu ungewohnten Formen verwachsen, die er in seinem «Tree-Circus» ausstellen konnte. Er ordnete sie auch zu einfachen, architektonischen Gebilden an. Dabei sind sein Eingangsportal und sein «lebender Turm» Vorläufer der Baubotanik (Fotos: © Richard Reames)

Anmerkungen

1 Hall, James: Essay on the origin, history and principles of Gothic Architecture. W. Bulmer, London, 1813, S. 2

2 Wiechula, Arthur: Wachsende Häuser aus lebenden Bäumen entstehend. Verlag Naturbau-Gesellschaft, Berlin-Friedenau, S. 196

3 www.arborsmith.com

4 Siehe hierzu: Mayr, Ernst: Die Entwicklung der Biologischen Gedankenwelt, Springer, Berlin, 1984

5 Die FG Baubotanik-Lebendarchitektur ist 2006 am Institut Grundlagen moderner Architektur (IGMA) an der Universität Stuttgart gegründet worden. Institutsleiter ist Prof. Dr. Gerd de Bruyn.

6 Wiechula, Arthur: Wachsende Häuser aus lebenden Bäumen entstehend. Verlag Naturbau-Gesellschaft, Berlin-Friedenau

zu geben. Und diese Freiheit verleiht dem Umgang mit Pflanzen völlig neue Dimensionen.« Neben skulpturalen Baumstrukturen wie Spiralen, Ringen, Herzen und Knoten entstanden durch Erlandsons Versuche auch Leitern und Stühle. 1929 entstand die erste architektonische Zeichnung für einen Baum, der zu einem Eingangsportal zusammenwachsen sollte, und etwa zeitgleich begann der Versuch, einen «lebenden Turm» wachsen zu lassen. Nach mehrmaligem Verpflanzen sind von den 60 bis 70 verschiedenen, seltsam geformten Bäumen nur noch wenige am Leben.

WAS VERWÄCHST, WÄCHST

Wenn Baubotaniker mit lebenden Pflanzen konstruieren, treffen die Prinzipien der Botanik⁴ auf die uns gewohnt erscheinenden Prinzipien der Architektur. Dieser Ansatz hat verschiedene Vorläufer, für die jeweils ein bestimmter Aspekt eines Bauens mit wachsenden Pflanzen im Vordergrund gestanden hat. In der Baubotanik wird versucht, diese verschiedenen Aspekte in Konstellation zueinander zu setzen. Die Forschungsgruppe «Baubotanik – Lebendarchitektur»⁵ der Universität Stuttgart forscht interdisziplinär mit Architekten, Ingenieuren, Natur- und Geisteswissenschaftlern (vgl. S. 19ff.). Arbeiten in den Bereichen Botanik, Konstruktion, Ästhetik, Ethik und Kulturtheorie bilden einen sich gegenseitig befruchtenden Erkenntnisprozess, indem aus natur- und ingenieurwissenschaftlicher Perspektive die Grenzen des botanisch Machbaren ausgelotet und aus kulturtheoretischen Sicht die Konsequenzen untersucht werden, die eine Implementierung von Werdensprozessen in die Architektur nach sich ziehen wird.

Denn wenn wir die Pflanze im Zustand ihrer Physis belassen, dann benötigt sie weiterhin ihre Blätter und Wurzeln, um die gewünschten Prozesse wie Verwachsungen und Überwallungen aufrechterhalten zu können. Unterstellen wir der Architektur, dass sie vornehmlich menschlichen Bedürfnissen zu nützen habe, erscheint die Verwendung von Pflanzen eher als störend. Denn die Konsequenz daraus ist, dass die zukünftige, räumliche Entwicklung der Architektur über ihre Wachstumszeit hinweg massgeblich vom Pflanzenwachstum mitbestimmt wird. Vielleicht lässt sich in Zukunft die Konstruktion einer baubotanischen Struktur dahingehend optimieren, dass die Anforderungen der Pflanze in Bezug auf ihre Versorgung technisch so in den Bau integrierbar sein wird, dass sie den uns bekannten und gewohnten Planungsprozessen so wenig wie möglich hinderlich ist.

Doch aus Sicht der Architekturtheorie stellt gerade die Verwendung von lebenden Pflanzen als Tragstruktur eine Herausforderung dar. Denn die Entwicklung einer baubotanischen Struktur ist so stark von den vorherrschenden Umweltbedingungen ihres Ökosystems bestimmt, dass ihre Entwicklung und der Systemerhalt der in ihr ablaufenden Prozesse oft im Widerspruch zu den komplexen, gesellschaftlich bedingten Anforderungen an die Architekturproduktion steht. Wenn wir damit anfangen, nicht nur einzelne Materialeigenschaften für unsere Zwecke zu nutzen, sondern Materialien mit all ihren systemischen Eigenschaften und den daraus resultierenden Konsequenzen in die Architektur zu implementieren, muss die Architektur darauf reagieren. Sie muss sich dann an der Offenheit und Unabschliessbarkeit, der Komplexität, kurz, dem Werdenscharakter dessen orientiert, das wir gewohnt sind, Natur zu nennen. Dabei wissen vielleicht eher Gärtner die zuweilen nervenaufreibende, permanent um Aufmerksamkeit heischende baubotanische Pflanze zu schätzen, die unsere architektonischen Gewohnheiten von Stabilität und Festigkeit stört. Weil sie im Entwurfs- und Entstehungsprozess eigene Raumanforderungen stellt, sprechen Baubotaniker zuweilen von einem Emanzipationsprozess des Tragsystems in der Architektur. Denn auch die Pflanzen, die zu Gebäuden werden, fordern Licht, Luft und Sonne.

Hannes Schwertfeger, Dipl.-Ing., Mitglied der Forschungsgruppe «Baubotanik – Lebendarchitektur» am Institut Grundlagen moderner Architektur und Entwerfen (IGMA) der Universität Stuttgart. Er promoviert an diesem Institut im Themenschwerpunkt Architekturtheorie.

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 Saftflusses, 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



04

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)



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 artifiziell 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 die 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 artifizielle 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.

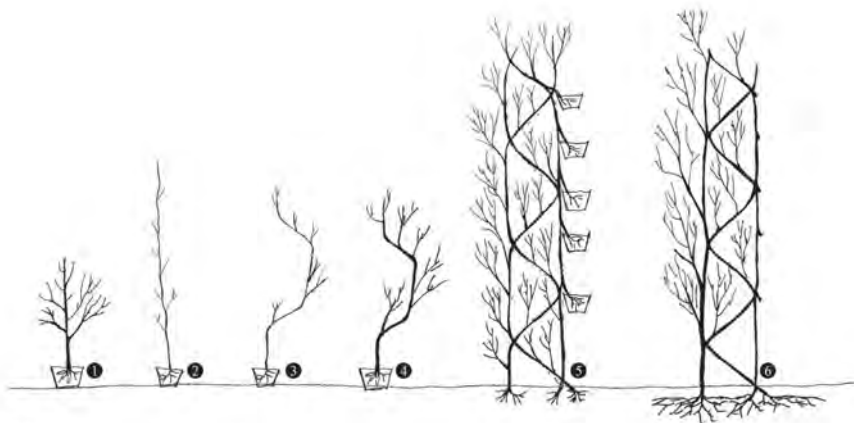
Mit einem etwas anderen Konstruktionssystem und verbesserten Details versuchte man bei der 2007 fertig gestellten Vogelbeobachtungsstation im Bayrischen Wald diese kritischen Punkte zu verbessern. Auch bei diesem Bauwerk bilden lebende Weidensteckhölzer das Haupttragwerk, hier wurden jedoch immer nur 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 Aufstieg 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 Luftraum 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.

GEBAUTE BÄUME

Holz wird seit Urzeiten für die Produktion von Geräten und für Konstruktionen genutzt. Jährlich wächst weltweit eine grosse Menge dieser Biomasse nach, doch auch Holz ist nicht unbeschränkt verfügbar. Am Institut für Stahl- und Holzbau der Technischen Universität Dresden sucht deshalb Peer Haller nach neuen und effizienten Halbfertigprodukten für das Bauen mit Holz: Röhren aus Holz, bewehrt mit Textilien, die hohen Belastungen standhalten und äusserst sparsam mit dem Rohstoff umgehen.

Wälder stellen eine Ressource dar, deren jährliches Stoffaufkommen weltweit das der Industrie übertrifft. Die gesamte Biomasse wird auf etwa 50 Milliarden Tonnen pro Jahr geschätzt, die zum überwiegenden Teil in Wäldern in Form von Wurzeln, Stämmen, Ästen und Blattwerk produziert werden. Wälder sind nicht nur einer der grössten, sondern auch einer der billigsten Stoffproduzenten der Erde, und es ist schwer einzusehen, dass ein Rohstoff, der auf etwa einem Drittel der Fläche der Erde mit Hilfe von Sonnenenergie nachwächst, von Materialien preislich unterboten werden kann, zu deren Herstellung sehr viel Kapital und Energie aus fossilen Rohstoffen benötigt wird.

Forscher an der TU Dresden haben sich gefragt, ob das Umwandeln von Stammholz in zurechtgesägte Vollholzquerschnitte tatsächlich der alleinige Weg ist, um zu tragfähigen Lösungen zu kommen. Die gängige Meinung ist, Holz sei ein leicht zu bearbeitendes Material. Holz lässt sich tatsächlich leicht sägen, hobeln, fräsen und schleifen. Doch ist diese spanende Bearbeitung im Vergleich zu spanlosen Technologien wie Walzen, Giessen, Formen, Tiefziehen, Strangpressen usw. einseitig und einschränkend. Für derartige Technologien gilt Holz als zu spröde.

EIN NEUES MATERIALKONZEPT FÜR HOLZ

Als grundlegendes Ziel wurde ein neues Materialkonzept formuliert, das Holz als formbaren zellulären Stoff begreift. Die Sprödigkeit von Holz, die wirtschaftlichen Produktionsverfahren entgegensteht, sollte so umgangen werden. Festigkeit und Steifigkeit spielen bei tragenden Bauteilen eine herausragende Rolle, deshalb ist die Holzsortierung für Bauholz grundlegend wichtig. Untersuchungen zur Holzqualität belegen, dass Festigkeit und Steifigkeit längs zur Faser entscheidend von der Dichte abhängen. Beispielsweise ist das leichte Balsaholz rund zehnmal weniger belastbar als ein schweres und festeres Tropenholz. Gleichzeitig ist bekannt, dass insbesondere Laubholz sich unter Einwirkung von Wärme und Druck quer zur Faser verdichten lässt. Durch die Wärme erweicht sich das Lignin, und das poröse Zellgefüge lässt sich pressen. Festigkeit und Steifigkeit erhöhen sich (Abb. 1).

Standardisierte Querschnitte aus Metall und Kunststoff erzielen hohe Biegesteifigkeit bei geringem Flächeninhalt, was einer sparsamen Verwendung des Materials entspricht. Runde und rechteckige Vollquerschnitte von Holz sind hingegen viel weniger materialeffizient. In dieser Hinsicht zeigt der Vergleich von Holzquerschnitten und technischen Profilen ein Verhältnis von 1:15 – einerseits wegen der Verluste im Sägewerk, andererseits durch das geringe Flächenmoment des Vollquerschnitts gegenüber dem Profil (Abb. 2). Die Wettbewerbsfähigkeit des Rohstoffes Holz ist an sich ausgezeichnet, sie geht jedoch bei der Transformation des Rohholzes in Querschnitte verloren. Demzufolge muss ein technischer Querschnitt drei Bedingungen erfüllen: Er darf in Längs- und Querrichtung nicht durch die Baummasse begrenzt werden. Er muss effizient sein, das heisst ein grosses Flächenmoment bei kleinem Flächeninhalt aufweisen. Er muss in einem preiswerten Massenproduktionsverfahren herstellbar sein. Schnittholz erfüllt die beiden ersten Bedingungen nicht, Leimholz



01

01 Nadelschnittholz (oben), gleicher Querschnitt verdichtet (Mitte bzw. unten)

02 Vergleich der Biegesteifigkeit und Ausbeute im Sägewerk ($A_{\max}$ und E_0 bezogen auf Rohholz, Steigerung der Steifigkeit durch Verdichten berücksichtigt)

03 + 04 Herstellung von Formholzrohren aus Rund- und Schnittholz, skizziert und in der Form

05 Konstruktion aus drei Formholzrohren und einem Knoten aus massivem Buchenholz

06 Dreidimensionale Gestrickverstärkung eines Verbindungsstückes aus gebogener Buche (Bilder: Peer Haller, TU Dresden)

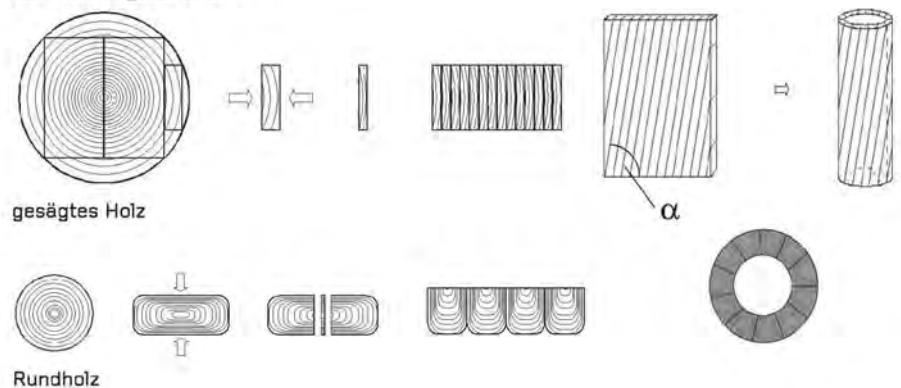


04

	Rundholz	gesägtes Holz	gesägtes Holz	Brettschichtholz	Profil
$\frac{A}{A_{\max}}$	1	0.64	0.55	0.5	≈ 1
$\frac{E}{E_0}$	1	0.42	0.55	...	> 2

02

Herstellungsschritte



03

nicht die beiden letzten. Anders das Formholz, das an der TU Dresden entwickelt wurde. Es beruht auf einer neuen Betrachtungsweise des Holzes als zelluläres Material und erfüllt alle drei genannten Bedingungen.

Holz kann unter Wärme und Druck um etwa 50 % quer zur Faser verdichtet werden, wobei sich die Zellwände falten und eine Bruchdehnung von 100 % erreicht werden kann. Die Zellstruktur des Holzes lässt eine neue Betrachtungsweise als «schaumstoffartiges» Material zu, das so in der Tat leicht bearbeitet werden kann. Nadel- und Laubholz mittlerer Dichte sind hierzu geeignet, heimisches Nadelholz hat ein Porenvolumen von etwa 60 %.

MIT FORMHOLZRÖHREN BAUEN

Am Institut für Stahl- und Holzbau wurden massive Platten aus verdichteter Fichte hergestellt, die danach wiederum unter Wärme und Feuchtigkeit zu Profilen geformt wurden. Beim Verdichten werden die Lumen der Zellen geschlossen, die Zellwände liegen aufeinander. Haller nennt dies Faltung, weil sich die Zellwände mäandernd aneinander legen. Beim Formen wird die ursprüngliche Zellstruktur dort weitgehend wieder erreicht, wo Dehnungen zum Formen notwendig sind (Abb. 3 und 4). Der Krümmungsradius des Profils hängt von der vorherigen Verdichtung ab. So darf bei einer Verdichtung von 50 % das Mass des inneren Krümmungsradius die Wanddicke des Profils nicht unterschreiten. Im Prinzip sind so alle abwickelbaren Formen in beliebiger Länge und Querabmessung herstellbar. Diese Herstellungsweise von Formholzrohren verbessert die Ressourcenproduktivität und die Wettbewerbsfähigkeit von Holz beträchtlich. Der abgebildete Formholzring wurde in Dresden nach diesem Verfahren aus Rundholz hergestellt. Die Ausbeute des Rohholzes beträgt dabei nahezu 100 %. Zusammen mit der effizienten Anordnung im Profil ergeben sich Material-einsparungen von bis zu 70 %.

HOLZ-TEXTIL-VERBUNDE

Die Faser ist ein erfolgreiches Prinzip zur Übertragung von Kräften in der Natur. In der Technik wurde es erfolgreich auf Faserverbundwerkstoffe übertragen. Deren Festigkeit und



05



06

Literatur

- Haller, P.: Concepts for textile reinforcements for timber structures; *Materials and Structures*, (2007), 40: 107–118
- Haller, P.; Wehsener, J.: Festigkeitsuntersuchungen an Fichtenpressholz; *Holz als Roh- und Werkstoff* (2004) 62: 452–454
- Haller, P.: Vom Baum zum Bau oder die Quadratur des Kreises; *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden*; 53 (2004) Heft 1–2; S. 100–104
- Knust, Ch.; Haller, P.; Krug, D.; Tobisch, S.: Einsatzmöglichkeiten von Plantagenholz, in: *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 159 (2008) 6, S. 120–125
- Haller, P.: Von der Massivholzplatte zum Formholzrohr; *Holzzentralblatt*, 2, 2008, S. 32
- Holzforschung Schweiz (Bulletin der Schweizerischen Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung SAH), Zürich, Heft 1/2009, S. 10–17 (www.holzforschung.ch)
- Natterer, J.; Haller, P.: Systematisches Konstruieren mit Holz: Material und Technik, in: *Holzbaumagazin*, DRW-Verlag, März 2009
- Steinlin, H.: The world's forests – Ecological and economical problems; in: *Les constructions en bois, Cycle d'études postgrades 1994–95*, IBOIS, EPF Lausanne

Steifigkeit übertreffen jene von legierten Stählen, dies bei weniger als einem Drittel des Gewichts. Die Forscher begannen damit, die neu entwickelten Rohrprofile aus Holz mit textilen Fasern zu ummanteln – ein Verbund, der Synergien schafft. Das Holz profitiert von den herausragenden mechanischen Eigenschaften und der Dauerhaftigkeit des Komposites sowie der Möglichkeit der beanspruchungsgerechten Orientierung der Fasern. Dieser Faserverbundwerkstoff ist im Verhältnis zum Materialaufwand und seiner Leistung preiswert, zudem steift das dicke Formholzrohr die dünne Bewehrung aus und verhindert somit deren Ausbeulen.

Wie gelingt nun der Verbund von Holz und Textil? Wie wirkt der Verbund bei Ausdehnung des Holzes, wie verhalten sich Holz und Textilien untereinander? Für die Herstellung des Verbundes stehen die klassischen Techniken des Leichtbaus zur Verfügung: die Faserwickeltechnik, Umflechten, schlauchförmige Gestricke oder das Bewehren mit Geweben. Holz und Textil werden mit Epoxid- oder Polyesterharz verbunden. Die Dichtigkeit der textilen Bewehrung verhindert das Quellen des Holzes. Problematisch ist eher der Schwund, da er zu einer Ablösung führen kann. Die Formholzrohre müssen also gut getrocknet werden, bevor sie mit den Textilien ummantelt werden. Die einzelnen Rohre werden mit massiven Kernen aus Holz verbunden. Diese bestehen aus massivem Buchenholz, das in Längsrichtung gebogen wird. Die Fuge zwischen dem Kern und den Rohren wird mit Kunstharzmörtel gefüllt. Für die Überbrückung der Fugen und den Übertrag von Zugkräften dient die zum Schluss aufgebrachte Faserbewehrung. Versuche zur Biegebeanspruchung haben gezeigt, dass die Tragfähigkeit des Knotens höher ist als die der Rohre – das Rohr riss quer zur Faser auf. Grundsätzlich sind aber auch Formteile aus Faserverbunden oder Metallen denkbar. Der Holzknoten hat für die Forscher als Analogie zur Baumverzweigung jedoch einen besonderen Charme.

UMWELTFREUNDLICH UND RESSOURCENSCHONEND

Die Formholzrohre wurden zunächst im Labor, später in einem spezialisierten Handwerksbetrieb hergestellt. In Bezug auf das verwendete Holz als Ausgangsmaterial sind die Anforderungen eher gering. Es ist sogar denkbar, Restholz oder auch die Äste von Laubholzkronen zur Produktion tragender Formholzquerschnitte zu verwenden. Heute besteht der Prototyp einer Umformanlage und eine Fabrikplanung zur industriellen Herstellung von Rohren. Die Kapazität der Anlage beläuft sich auf 80 000 Rohre pro Jahr. Der «return of investment» liegt zwischen drei und vier Jahren.

Der Energieeinsatz bei der Formholzherstellung ist verglichen mit anderen Materialien so gering, dass die dafür erforderlichen Kosten nicht ins Gewicht fallen. Im Gegensatz zur irreversiblen mechanischen Zerkleinerung bei der Herstellung von Holzwerkstoffen, für welche elektrische Energie aus Primärenergie bereitgestellt werden muss, lässt sich beim Formholz die Prozesswärme über Wärmetauscher wieder zurückgewinnen. Gebrauchtes Formholz kann bei der Entsorgung stofflich und thermisch verwertet werden.

Im Mittelpunkt der Überlegungen stehen laut Peer Haller die Ressource Holz und deren effiziente Nutzung über die heute gängigen technischen Anwendungen hinaus – also nicht allein auf das Bauwesen beschränkt. Mittelfristig werden Profile angestrebt, die im Verbund mit Fasern und Textilien für grosse Strukturen auch ausserhalb des Bauwesens, etwa bei Masten, einzusetzen sind. Zunächst konzentriert sich Haller auf das Rohr als elementare technische Form, das tragend und führend eingesetzt werden kann – mit eigentlich unerschöpflichen Möglichkeiten der Verwendung.

Charles von Büren, Bern

Anmerkungen

Weitere Informationen über www.tu-dresden.de, Professur für Ingenieurholzbau und baukonstruktives Entwerfen