

Baubotanik

**Wie Technik, Natur- und Kulturwissenschaften
zu einer neuen Architekturform verwachsen**



Sie sprießt, sie wächst, sie treibt aus. Sie strebt und wallt. Die Baubotanik fordert den Architekten als Gärtner. Der Begriff Baubotanik ist am Institut Grundlagen moderner Architektur und Entwerfen an der Universität Stuttgart (Igma) entwickelt worden und beschreibt die Idee, Tragstrukturen aus lebenden Holzpflanzen zu bilden. Baubotanische Bauten sind lebende Bauten, deren Lebendigkeit keineswegs metaphorisch zu verstehen ist. Baubotaniker realisieren seit mehreren Jahren schon Bauten aus „lebendigem Holz“. Dabei versuchen sie, das Entstehungsprinzip des natürlichen Wachstums mit dem des ingenieurmäßigen Fügens zu kombinieren und die Gestaltqualitäten lebender Bäume mit den statischen Funktionen und baulichen Anforderungen einer Tragstruktur in einem Bauteil zu vereinen (01).

1. Begriff

Wie weit sind die botanischen Grundlagen für ein baubotanisches Bauen bereits erforscht und welche Parameter müssen in einer zukünftigen baubotanischen Forschung entwickelt werden? Welche bereits bestehenden architekturtheoretischen Konzepte gewinnen durch die Baubotanik

an Aktualität? Welche neuen Perspektiven eröffnen sich für die Architektur, die im Prinzip in Differenz zur Natur entworfen und konstruiert wird? Diese Fragen kennzeichnen den Beginn der Zusammenarbeit von Architekten, Bionikern/Botanikern und Ingenieuren mit Philosophen, Ethik-

ABSTRACT

The approach of Baubotanik is to understand architecture as an aspect of botany and use „living“ wood as a construction material. It can be translated as „living plant construction“. It attempts to achieve the aesthetic qualities of plant growth within the requirements of structural statics and tectonic principles of engineering.

By using living support structures within the main support system of a building, they are above all dependent on the self-preservation system of the living plants, given that a building which contains living structural elements is itself exposed to the constant process of growth and, at the same time, to the danger of die-back. It develops its own characteristics and particularities and introduces a new understanding of the temporality of architecture, now that the future shape of architecture is not only influenced and formed by deterioration and decay but also by adaptive growth as a reaction to environmental conditions.

How far have the botanical principles for Baubotanik been explored, and which parameters have to be developed for future research on living plant construction? This raises the question of which existing theoretical architectural concepts will become more important and topical through Baubotanik. And also which new perspectives open up to architecture, which can now no longer merely be designed and constructed as an artefact in contrast to nature.

forschern und Kulturwissenschaftlern in der neu gegründeten Forschungsgruppe Baubotanik – Lebendarchitektur am Igm. Baubotanische Strukturen unterliegen bestimmten physiologischen Gesetzmäßigkeiten und damit eigenen konstruktiven Regeln. Zum einen entwickeln sie eigene gestalterische Qualität, indem sie auf wechselnde Umweltbedingungen reagieren. Zum anderen werden in der Baubotanik zur Konstruktion von Tragstrukturen Wachstumsprozesse gezielt eingesetzt und sind so zumindest zu Teilen dem menschlichen Tun verfügbar geworden. Dadurch wird die gewohnte Trennung zwischen den autonomen Prozessen der Natur und der Autonomie von Artefakten in Frage gestellt. Baubotanische Strukturen sind weder rein künstliche noch rein natürlich gewachsene Produkte. Sie sind etwas Drittes, durchaus Strittiges, wofür die Philosophin Nicole Karafyllis den Begriff des Biofakts eingeführt hat (KARAFYLLIS 2003). Die Forschungsgruppe Baubotanik – Lebendarchitektur sieht in der Erforschung und Entwicklung derart strittiger Objekte ihre interdisziplinäre Herausforderung und versucht, bereits strukturell diesem Anspruch gerecht zu werden: Forschungen in den Bereichen Botanik, Konstruktion, Ästhetik, Bioethik und Kulturtheorie bilden einen sich gegenseitig befruchtenden Erkenntnisprozess aus, wobei die drei Bereiche „Botanik“, „Konstruktion“ und „Theorie“ zurzeit die Schwerpunkte bilden, die je für sich aus der Architektur heraus motiviert sind und aktuell im Rahmen von Promotionen bearbeitet werden.

2. Koproduktion

Baubotanische Konstruktionen sind Verbundstrukturen, bei denen die das Primär-



Vogelbeobachtungsstation Waldkirchen,
© Entwicklungsgesellschaft für
Baubotanik

tragwerk bildenden Pflanzen mit technischen Bauteilen verbunden werden. Sie entstehen in Koproduktion des Architekten mit der Pflanze. Ein Prozess, der gerade an den Stellen, an denen technische mit lebenden Teilen verbunden sind, ablesbar ist: Schon wenige Wochen nach Fertigstellung/Konstruktion/Bauabschluss werden erste Überwallungen sichtbar, die nach einigen Monaten deutlich hervortreten (02a bis 02e).

Gleichzeitig beginnt die Pflanze über die konstruierte Geometrie der Tragstruktur zu triumphieren, die im Laufe des Sommers in einem wild wuchernden Blätterwald verschwindet, um erst im Winter wieder ihre artifizielle Struktur zu zeigen. Die Gestalt des Bauwerks lässt sich mit ein wenig botanischer Erfahrung ungefähr



abschätzen, exakte Aussagen über ihre zukünftige Entwicklung sind jedoch unmöglich – die Gestaltungshoheit über das Bauwerk liegt zu Teilen bei der Pflanze. Der Architekt gibt jedoch nicht nur einen Teil seiner Gestaltungshoheit an den Baum ab, sondern wird zudem abhängig von dessen Gestaltungsfähigkeit. Um Prognosen über den Zustand der vorhandenen Tragfähigkeit stellen zu können, muss er in der Lage sein, die Vitalität der sich entwickelnden Struktur zu erkennen. Architekt und Pflanze bleiben so über die (Jahres-)Zeiten hinweg Koproduzenten einer sich durch Wachstum und Selektion immer weiter entwickelnden Struktur (03, 04).

Ein Ingenieur würde die Koproduktion vornehmlich auf die mechanischen Gesetzmäßigkeiten der Pflanze reduzieren, während für den Architekten die „autobiographische“ Entwicklung einer teilautonom wachsenden Struktur von entscheidender Bedeutung ist. Der Ingenieur abstrahiert notwendigerweise aus einer Reihe sich individuell entwickelnder Pflanzen und Strukturen mechanische Gesetzmäßigkeiten, die für die Konstruktion einer baubotanischen Struktur von Wichtigkeit sind. Der Architekt hingegen sieht die individuelle Entwicklung jeder einzelnen Pflanze als maßgeblich für den Gestaltungsprozess an. Der Baubotaniker hat den Anspruch, die Ambivalenz seines Projekts auszuhalten: Zum einen verfolgt er das Ziel, das Wachstum und die Entwicklung der verwendeten Pflanzen zu verstehen, zu beeinflussen und zu prognostizieren. Zum anderen versucht er auch, sich den Wachstumsprozessen der Pflanzen anzupassen, damit das baubotanische Objekt von ihnen weitestmöglich profitieren kann. Auf diese Weise schleicht sich in die Architektur ein Aspekt ein, der ihr immer fremd war und mit Vorliebe der Malerei und Musik zugeschrieben wurde: das mimetische Verhalten. In dem Maße, in dem der Baubotaniker Strukturen vorgibt, handelt er wie ein Architekt, in dem Maße aber, in dem er sich natürlichen Prozessen gegenüber mimetisch verhält, verwandelt er sich in einen Gärtner.

*Entwicklung eines Verbindungsdetails
Pflanze-Edelstahlrohr über 3 Jahre,
© Entwicklungsgesellschaft für Bau-
botanik*

3. Wachstum

Auf jeden Fall muss der Baubotaniker, wenn er artifizielle pflanzliche Tragstrukturen ausbilden möchte, zunächst verstehen, wie bei Bäumen das System aus Stämmen, Ästen und Zweigen, das als eine „natürliche pflanzliche Tragstruktur“ angesehen werden kann, entsteht. Wer pflanzliches Wachstum in den Dienst der Architektur stellen möchte, muss dessen relevante Gesetzmäßigkeiten und Grundregeln kennen. Und wer baubotanische Tragwerke, also belastbare Strukturen aus lebenden Pflanzen, realisieren will, muss sich zunächst klar machen, wie die Tragstruktur von Bäumen aufgebaut ist, wie sie entsteht, wie sie sich im Laufe der Zeit verändert und welche Leistungsfähigkeit sie besitzt.

Wie also wächst der Baum? Wachstum, definiert als die nicht mehr rückgängig zu machende Substanzzunahme eines Organismus, ist bei Pflanzen dadurch charakterisiert, dass es „offen“ ist: Bäume sind nie wirklich ausgewachsen, sondern darauf angewiesen, ständig weiter zu wachsen. In bestimmten Bereichen bleiben lebenslang embryonale Zellen, sogenannte meristematische Gewebe, erhalten. Bei den meisten in Mitteleuropa verbreiteten Baumarten sind im oberirdischen Bereich drei wichtige Teile meristematischer Gewebe auszumachen: Die Triebspitze mit dem so genannten Vegetationskegel, die Seitenknospen und das Kambium.

Der Vegetationskegel ist ein Ort enormer Zellteilungsaktivität, sozusagen die „Produktionseinheit“, in der alle Basisgewebe der jungen Sprossachse entstehen. Hier bilden sich schon gerade Pflanzenachsen-Abschnitte, die Internodien und die Nodien, mit den Blattanlagen und Seitenknospen in einem arttypischen Muster heraus. Unterhalb der Triebspitze strecken sich insbesondere die Zellen der Internodien, und die jungen Zellen differenzieren sich zu Dauergeweben aus. Dann haben diese Teile der Pflanzenachse bereits ihre endgültige Länge erreicht, die sich zeitlebens nicht mehr verändern kann. Die meristematischen Gewebe in den Nodien, die Seitenknospen, bleiben zumeist im ersten Jahr „schlafend“ und treiben im folgenden Jahr aus, wodurch die jeweils arttypischen Verzweigungsmuster junger Bäume entstehen.

4. Adaptivität

Diese Wachstumsprozesse zeigen eine enorme Varianz und Anpassungsfähigkeit an Umweltbedingungen. Nicht nur die Zellteilungsaktivität an der Triebspitze ist beispielsweise von der Wasser- und Nährstoffversorgung und der Lage im Baum abhängig, auch die Streckung der Internodien wird von Umweltfaktoren wie beispielsweise der Lichtsituation beeinflusst. Wann und wie sich die jungen Gewebe der Internodien ausdifferenzieren, ist ebenfalls umweltabhängig: Sie können z. B. frühzeitig verholzen und damit versteifen oder länger grün und flexibel bleiben. Entscheidend durch Umweltparameter bestimmt ist auch die „Biographie“ der Seitenknospen: Sie können schon frühzeitig, im Jahr ihrer Entstehung, austreiben, aber auch Jahre oder Jahrzehnte schlafend bleiben. Auf diese Art passt bereits der junge Baum seine Gestalt in einem kontinuierlichen Prozess an seine Umwelt an. Ziel des baubotanischen Ansatzes ist es, durch spezifische Steuerung von Umweltfaktoren in unterschiedlichen Wachstumsphasen auf diese Wachstums- und Differenzierungsprozesse gezielt einzuwirken, um die Achsengeometrie, die Achsenstruktur und die Verzweigungsstruktur an eigene Ziele anzupassen.

Das dritte wichtige Wachstumsgewebe, das Kambium, entwickelt sich sekundär aus dem sogenannten Prokambium. Es ist ein zylinder- bzw. kegelförmiger Mantel teilungsfähiger Zellen, der zwischen Holz und Rinde lokalisiert ist und Bäumen ein sekundäres Dickenwachstum und damit eine lebenslange Anpassung der Achsengeometrie und -struktur ermöglicht. Für Bäume bietet das einen enormen Vorteil, da sich mit fortschreitendem Alter und zunehmender Pflanzengröße die Anforderungen an die Pflanzenachsen, die im Baum Stütz-, Leit- und Speicherfunktionen übernehmen, erheblich vergrößern: Immer größere Mengen an Wasser, Nährstoffen und Assimilaten müssen über immer längere Strecken transportiert werden. Gleichzeitig muss ein mit zunehmender Größe wachsendes Eigengewicht ausbalanciert werden, und die auftretenden äußeren Kräfte (insbesondere Windlasten) nehmen mit der Größe exponentiell zu. Durch die Wachstumsaktivität des Kambiums reagieren Bäume auf diese steigenden Anforderungen nicht nur mit einer Zu-



03

Steg (Prototyp), Winter, © Entwicklungsgesellschaft für Baubotanik



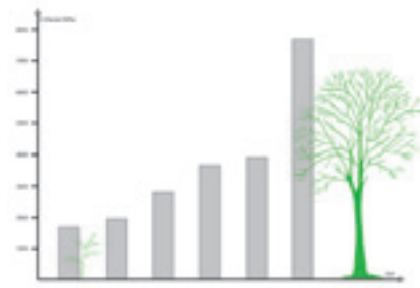
04

Steg (Prototyp), Sommer, © Entwicklungsgesellschaft für Baubotanik

nahme des Achsendurchmessers (Dickenwachstum), sondern passen im Verlauf ihrer Entwicklung insbesondere die biomechanischen Eigenschaften ihrer Achsen auch strukturell an die sich verändernden Anforderungen an.

So kommt es im Verlauf der Ontogenie von Bäumen bei zunehmender Biegebeanspruchung junger Achsen zu einer Zunahme der Biegeelastizitätsmoduli auf das fünf- bis sechsfache (05). Diese drastischen Änderungen der mechanischen Eigenschaften werden ausgelöst durch Veränderungen des Achsenaufbaus, die auf mindestens vier hierarchisch organisierten strukturellen Ebenen stattfinden können: auf der Achsenstruktur (integrale Ebene), der Gewebestruktur (makroskopische Ebene), der Ebene der Zellstruktur (mikroskopische Ebene) und der Zellwandstruktur (ultrastrukturelle Ebene), (SPECK 1994). Insbesondere gegenüber mechanischen Reizen zeigt das Kambium auch lokal große Adaptivität: Auf hohe lokale Spannungen reagiert es mit verstärktem Wachstum, so dass an besonders beanspruchten Bereichen mehr Holz angelagert wird („Axiom der konstanten Spannung“). Dadurch können Spannungsspitzen abgebaut und im zeitlichen Mittel eine annähernd konstante Spannungsverteilung auf der Oberfläche und damit eine optimale Ausnutzung des „verwendeten Baumaterials“ erreicht werden (MATTHECK 1995). Überwallungen, wie sie an baubotanischen Details zu beobachten sind, sind also keineswegs zufällige Ereignisse, sondern Folge gezielter Ausnutzung des Axioms konstanter Spannung.

Die Baubotanik sieht gerade in den adaptiven Potentialen des Kambiums Möglichkeiten, Wachstumsprozesse unmittelbar für das Konstruieren fruchtbar zu



05

Entwicklung der Steifigkeit im Verlauf der Ontogenie bei selbsttragenden Bäumen, © plant biomechanics group freiburg

machen. Sie untersucht die Frage, inwieweit es möglich ist, die Selbstoptimierungsprozesse von Bäumen auf technische Tragstrukturen aus „lebendem Holz“ zu übertragen. Die oben beschriebene Anpassung auf mehreren hierarchischen Strukturebenen bis hinein in submikroskopische Bereiche ist typisch für Wachstumsprozesse. Im Gegensatz zum rein technischen Konstruieren liegt in der Baubotanik die Chance, auch diese Strukturoptimierung auszunutzen zu können.

5. Selektion

Zur Gestaltentwicklung von Bäumen gehören nicht nur die oben beschriebenen Prozesse des Wachstums, sondern auch das Absterben von ganzen Pflanzen oder Pflanzenteilen: Keimen auf einer Fläche viele junge Bäume, so bedrängen sich diese mit zunehmender Größe. Im Konkurrenzkampf um Raum und Ressourcen bleiben die schwächeren mehr und mehr im Wachstum zurück und sterben letztlich ab. Nach YODA (1963) ist die maximal mögliche Anzahl von Pflanzen auf einer bestimmten Fläche eine Funktion des Pflanzengewichts, wobei Standortfaktoren als Parameter in diese Rechnung eingehen (Self-Thinning-Regel). Für Baumbestände kann eine ähnliche Beziehung zwischen dem Stammdurchmesser (BHD) und der Stammzahl festgestellt werden (REINEKE 1933). Ähnliche Selektionsprozesse laufen ebenfalls auf Ebene der einzelnen Pflanze ab: So konkurrieren selbst einzelne Äste um Licht, wobei stark beschattete und damit photosynthetisch ineffiziente Äste absterben und vom Baum abgestoßen werden (Ast- bzw. Zweigreinerung). Bäume optimieren ihre Gestalt auch dadurch, dass sie zeitlebens die Komplexität ihrer Verzweigungsstrukturen und damit ihres Tragwerks reduzieren und sich vom Ballast überflüssiger Masse befreien.

Selbstverständlich sind auch baubotanische Tragstrukturen derartigen Selbstreinigungsprozessen unterworfen. Für ihre Planung stellt dies eine besondere Herausforderung dar, denn das statische System eines Tragwerks muss dann als eine Funktion der Zeit gedacht werden. Daher ist es wichtig darauf zu achten, dass in einer baubotanischen Tragstruktur ein Bauteil, das der konstruierende Architekt für notwendig hält, von der Pflanze nicht als entbehrlicher Ballast empfunden wird, den sie

so schnell wie möglich wieder loszuwerden versucht.

6. Grenzen des Wachstums

Wer Wachstumsprozesse für sich nutzbar machen möchte, muss sich im Klaren darüber sein, dass jegliches Wachstum, ja überhaupt jegliche Lebensprozesse, Energie verbrauchen. Diese Energie wird bei Pflanzen ausschließlich durch die Photosynthese bereitgestellt. Die auf einer gegebenen Grundfläche mögliche Blattfläche, die Effizienz der Photosynthese und die Sonneneinstrahlung begrenzen die einem Baum oder einem Wald zur Verfügung stehende Energie und damit auch die mögliche Gesamtmenge lebender Gewebe. Das Volumen „lebenden Holzes“, das auf einer bestimmten Fläche existieren kann, können wir als das maximal mögliche Konstruktionsvolumen ansehen, das dem Baubotaniker für seine Tragstrukturen zur Verfügung steht. Welche Größenordnung es annehmen darf, zeigt der Vergleich mit dem sogenannten Holzvorrat eines Waldes. In Volumenfestmetern pro Hektar (V_{fm}/ha) gemessen, gibt er das Volumen aller Äste und Stämme mit einem Durchmesser von mehr als 70mm pro ha Waldfläche an. Je nach Baumart und Standort schwankt der Wert zwischen 200 und 400 V_{fm}/ha (PRETZSCH 2002). Um sich dieses Volumen zu verdeutlichen, kann man es sich als eine die gesamte Grundfläche bedeckende massive Holzplatte vorstellen. Diese das gesamte Konstruktionsvolumen eines Waldes abbildende Platte hätte eine Dicke von lediglich zwei bis vier Zentimeter! In Relation zu den im menschlichen Bauen verwendeten Materialmassen ein minimales Volumen, aus dem der Mensch gerade mal einen Fußboden zu zimmern pflegt.

Entsprechend sollte und muss auch der Baubotaniker mit einem außergewöhnlich geringen Konstruktionsvolumen auskommen. In seinen Projekten erlangen daher die Prinzipien des Leichtbaus neue Aktualität: Hatte noch der Leichtbau-Pionier Richard Buckminster Fuller sein Dymaxion-Haus gewogen, um ein Beispiel dafür zu geben, wie material- und kostensparend in der Zukunft gebaut werden sollte, gilt in der Baubotanik eine weit dramatischere, ja existenzielle Obergrenze des Gewichts: Wer sie missachtet, wird mit dem Absterben des Bauwerks abgestraft.

Um wie viel nimmt nun diese Holzmasse jährlich durch Wachstum zu? Wiederum soll der Vergleich mit dem Wald weiterhelfen: Inklusive aller Zweige, Äste und Stämme wächst die Holzmasse eines Waldes jährlich um ca. 3,5 bis 10 Volumenfestmeter pro Hektar Waldfläche (PRETSCH 2002). Stellt man sich auch dieses Volumen als eine den Boden vollständig bedeckende Holzschicht vor, so hat diese Schicht eine Dicke von nur 0,35 bis 1,0 mm.

Um Wachstumsprozesse nutzen zu können, unterwirft sich der Baubotaniker den Gesetzen und Grenzen dieses Wachstums. Er macht dabei die Erfahrung, dass die Pflanze nicht nur vorgibt, wo viel Konstruktionsvolumen zur Verfügung steht, sondern dem Architekten mit ihrer maximalen Wachstumsgeschwindigkeit auch die botanischen Gesetze der zeitlichen Entwicklung seines Bauwerks diktiert. Der Chance, die „Intelligenz des Ingenieurs mit der Intelligenz der Natur“ kombinieren zu können, stehen in der Baubotanik strikte, die Freiheit des Entwerfens beschneidende Determinationen gegenüber – aber auch die Möglichkeit, sich von unvermuteten Prozessen und Ergebnissen überraschen zu lassen, die unsere ästhetische Phantasie bereichern.

7. Neukonstruktion des Baums

Betrachten wir die Achsenstruktur eines Baumes als Tragwerk, so stellen wir zunächst fest, dass eine offene Verzweigungsstruktur mit dem statischen System einer eingespannten Stütze vorliegt. Hauptbelastungen sind neben dem Eigengewicht insbesondere horizontal angreifende Windlasten, die auf die Blätter bzw. die Baumkrone einwirken. Diese Kräfte werden über die Zweige, Äste und Stämme in das Erdreich abgetragen. Doch nicht nur die an den Blättern angreifenden Kräfte nehmen diesen Weg, auch die in den Blättern produzierten Assimilate werden über die Zweige, Äste und Stämme zu den Wurzeln hinabgeleitet. Im Baum ist daher der „Saftfluss“ dem Kraftfluss sehr ähnlich.

Bedingt durch das statische System entstehen in allen Achsenabschnitten hohe Biegebelastungen und Schwingungen. Aus technischer Sicht keine ideale Lösung, denn bei Biegebelastungen werden nur die Randbereiche der Trägerquerschnitte belastet – das ist alles andere als ein materialsparendes und energieeffizientes

Konstruieren. Daher hat schon der Stuttgarter Leichtbau-Pionier Frei Otto „Kritik am statischen System der Bäume“ geübt: Bäume hätten mit ihren offenen Verzweigungsstrukturen zwar eine sehr günstige Konstruktion gefunden, um möglichst viele Blätter ans Licht zu bringen, dies stelle aber keine optimale technische Lösung dar (vgl. OTTO 1992).

In der Baubotanik werden daher fachwerkartige Tragstrukturen aus Bäumen gebildet. Das bedeutet aus Sicht der Mechanik, dass eine frei schwingende und auf Biegung belastete Struktur in eine eher steife, auf Druck und Zug belastete Struktur überführt wird. Konstruktiv entsteht dadurch zunächst der Vorteil einer besseren Materialausnutzung, die es ermöglicht, zusätzliche Bauwerkslasten in die Struktur einzuleiten. Nur so können lebende Pflanzen überhaupt in der Architektur tragende Funktionen übernehmen, ohne dass für die Konstruktion das maximal mögliche (biologisch beschränkte) Tragwerksvolumen überschritten wird (s. o.). Es bleibt aber zu fragen bzw. zu untersuchen, wie sich diese Veränderungen des Systems auf die Wachstums- und Lebensvorgänge im Detail auswirken. Kommen die möglicherweise konstruktiv nutzbaren adaptiven Wachstumsprozesse in einer lebenden Fachwerkstruktur überhaupt noch zum Tragen oder sind die das Wachstum stimulierenden Spannungen zu gering? Mit welchen Folgen ist zu rechnen, wenn in eine baubotanische Tragstruktur Kräfte (z. B. durch Nutz- oder Verkehrslasten) eingeleitet werden, ohne dass zusätzliche Assimilate fließen?

8. Wachsen und Konstruieren

Baubotanische Strukturen sind zum einen Ergebnis menschlicher Planung und zum anderen Resultat der Interaktion zwischen genetischen Grundmustern des Baumes

ZUSAMMENFASSUNG

Architektur als eine Frage der Botanik zu verstehen, und lebendes Holz als Konstruktionswerkstoff zu nutzen ist der Ansatz der Baubotanik. Durch ihren Einsatz im primären Tragsystem eines Bauwerks sind baubotanische Tragstrukturen vornehmlich vom Systemerhalt der lebenden Pflanzen bestimmt. Ein Gebäude, das lebende Bauteile enthält, unterliegt selbst einem ständigen Prozess des Wachsens und ist gleichzeitig der Gefahr des Absterbens ausgesetzt. Es bildet seine Eigentümlichkeiten aus und führt ein neues „Gefühl“ für die Zeitlichkeit in der Architektur ein, wenn nicht mehr nur Verschleiß und Verfall des Materials, sondern adaptives Wachstum als Reaktion auf Umweltbedingungen die zukünftige Gestalt der Architektur prägen.

Wie weit sind die botanischen Grundlagen für ein baubotanisches Bauen bereits erforscht, und welche Parameter müssen für eine zukünftige baubotanische Forschung entwickelt werden? Welche bereits bestehenden architekturtheoretischen Konzepte gewinnen durch die Baubotanik an Aktualität, und welche neuen Perspektiven eröffnen sich für die Architektur, die nun nicht mehr als Artefakt in Differenz zur Natur entworfen und konstruiert werden kann?



06a

Links: Versuchsgewächshaus zur Produktion von baubotanischem Pflanzenmaterial, rechts: Wirkung der Lichtspektren auf das Längenwachstum, © FG Baubotanik – Lebendarchitektur



06b

und Umweltfaktoren. Sie entstehen jedoch nicht mehr wie der Baum in einem kontinuierlichen Prozess, sondern weisen mindestens drei klar voneinander zu unterscheidende Phasen auf: die Wachstumsphase vor dem Konstruieren, die Konstruktionsphase und die Wachstumsphasen nach der Errichtung des baubotanischen Bauwerks.

Durch die spezifische Steuerung von Umweltfaktoren wird in der Baubotanik versucht, in den unterschiedlichen Phasen unterschiedliche Wachstumsmuster zu aktivieren. Durch Kombinationen von Umweltfaktoren und Intensitäten, die in der Natur nicht üblich sind, sollen Wuchsformen bis an die morphologischen Grenzen pflanzlichen Wachstums beeinflusst werden. So sollen normalerweise gleichzeitig ablaufende Prozesse zeitlich aufgetrennt und „nach Bedarf“ abgerufen werden. Dies bedeutet im Detail, dass der Baubotaniker auf die Zellteilungsaktivität der meristematischen Gewebe und die sich anschließenden Phasen der Zellstreckung und Zelldifferenzierung so spezifisch wie möglich einzuwirken sucht.

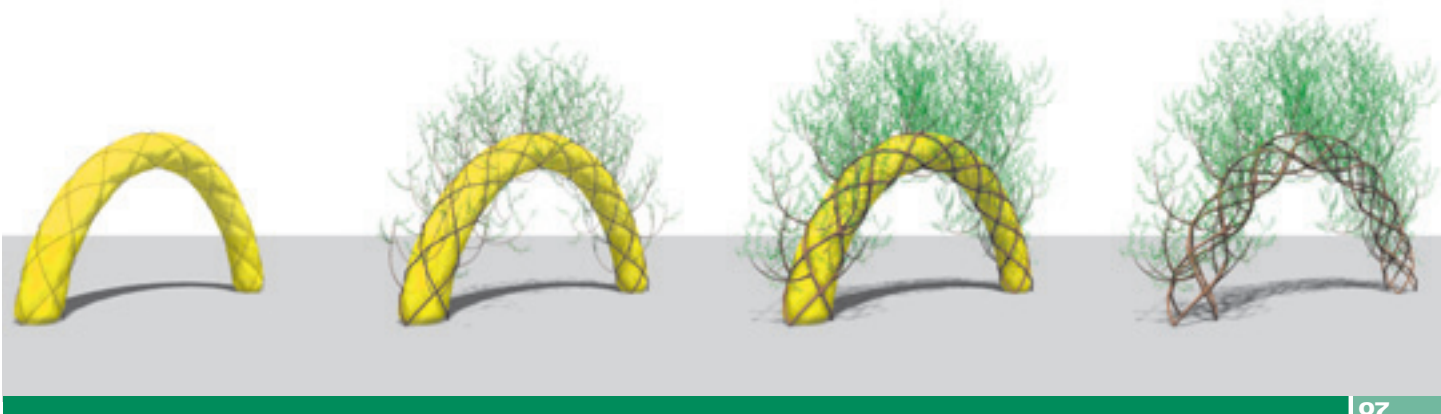
In der ersten Phase lautet das Ziel, das benötigte lebende Baumaterial zu produzieren. Es gilt eine als „lebendes Halbzeug“ zu bezeichnende, möglichst unverzweigte, gerade, lange, schlanke und biegsame Pflanzenachse wachsen zu lassen, aus der die gewünschten fachwerkartigen Strukturen gebildet werden können (LUDWIG 2008) (06). In der zweiten Phase, der Konstruktionsphase, werden die so produzierten Pflanzen zu der gewünschten Tragstruktur in der endgültigen Tragwerksgröße gefügt. Hierzu werden sie mit unterschiedlichen Methoden zu Tragelementen bzw. Tragstrukturen verbunden. Ziel ist, dass sich kreuzende bzw. berührende Pflanzen miteinander verwachsen

und technische Bauteile einwachsen. Um dies zu erreichen, wird durch hohe Kontaktbelastung die lokale Kambiumaktivität stimuliert (Überwallungen) oder durch Verletzungen das „Wundheilungsprogramm des Kambiums“ aktiviert. Je nach Anfangsfestigkeit dieser Struktur ist eine temporäre Stützung notwendig und es schließt sich die Erstarkungsphase an (07, 08). Angestrebt wird, dass die zur Tragstruktur geformten Pflanzenachsen möglichst viel und möglichst tragfähiges bzw. steifes Holz bilden, und zwar möglichst dort, wo die zukünftigen Belastungen am höchsten sein werden. Der erstrebte Effekt kann durch künstliche Trainingsbelastungen, sukzessiv steigende Nutzlasten oder auch durch lokale Kambiumstimulation ausgelöst werden.

Die technisch-naturwissenschaftlichen Aspekte dieser Entstehungsphasen werden in der FG Baubotanik innerhalb der Schwerpunkte „Botanik“ und „Konstruktion“ bearbeitet. Damit allein ist es aber nicht getan: Wenn Bauwerke in einem Jahre oder Jahrzehnte dauernden Prozess entstehen, sich ständig weiter entwickeln und gepflegt werden müssen, wenn Nutzungen mit der sich entwickelnden Struktur „mitwachsen“ und sich unterschiedlich ausprägen können, dann überschreitet die Baubotanik die Sphäre der rein technisch und naturwissenschaftlich zu beantwortenden Fragen. Sie gerät auf das Gebiet der Architektur- und Kulturtheorie sowie der Ethik und Ästhetik – Aspekte, die im Forschungsschwerpunkt Theorie bearbeitet werden. Insbesondere ist es der Rollenwechsel des Architekten zum Gärtner, der näher betrachtet zu werden verdient. Grundlegend jedoch steht das veränderte Verhältnis zur Natur, deren Wandelbarkeit nicht zuletzt durch technische und kulturelle Interventionen immer deutlicher zu Tage tritt, zur Diskussion.

9. Zum Einfluss der Biologie auf die Architektur

Die Neukonstruktion des Baums stellt den Botaniker vor das Problem, dass nur der Stamm zur Konstruktion von Fachwerken verwendet wird, ohne dass dabei die Vitalität des Baumes vernachlässigt werden darf. Die oben formulierte „Kritik am Baum“ ist in erster Linie eine Kritik an seiner Tragkonstruktion. Doch indem die



07

Baubotanik Verzweigungsstrukturen eingespannter Stämme durch Fachwerkstrukturen ersetzt, versucht sie nicht, den Baum mittels technischer Methoden im Sinne eines architektonischen Artefakts zu rekonstruieren. Baubotanik ist vornehmlich als technisch-methodischer Begriff zu verstehen, durch den ein technisch-konstruktives Denken in ein biologisches überführt wird. Deutlich wird diese Differenz in der Abgrenzung zur Bionik und zur Biotechnologie. Die Bionik bezieht ihre technischen Ideen aus der Natur, indem sie natürliche Vorgänge nachahmt, sodann aber in Differenz zur Natur ausbildet bzw. natürliche auf abstrakte Prozesse so weit zu reduzieren sucht, dass diese digital in die Technik übertragen werden können (vgl. SPECK 2008). Technik wird hier weiterhin als ein außerhalb der Natur angesiedeltes höchstes Ziel anvisiert, zu der die bauende Intelligenz der Natur emanzipiert werden soll. Die Baubotanik sieht demgegenüber in den Fähigkeiten lebender Pflanzen den Ort, zu dem die menschliche Technik orientiert werden kann. Das Hauptgewicht wird also auf die natürliche und nicht auf die künstliche Intelligenz gesetzt, weil ersterer ein höherer Komplexitätsgrad unterstellt werden kann, der sich im Begriff der Vitalität bereits ankündigt.

Entgegen einer bionischen Verwendung bestimmter Eigenschaften des Baums in der Architektur und im Unterschied zum Versuch, bestimmte Natureigenschaften möglichst funktionsidentisch auf ein technisches Bauteil zu übertragen, interagiert die Baubotanik mit lebendigen Pflanzen. Dadurch überträgt sie sämtliche Eigenschaften der Pflanzen auf die Architektur. Auch diejenigen, die nicht primär für die technische Konstruktion benötigt werden.

Das betrifft beispielsweise das Blätterwachstum, das aus der Perspektive der Architektur unkontrolliert erscheint und eine scheinbare Verwilderung des Bauwerks zur Folge hat (09). In Wahrheit ist aber das, was wir als Wildwuchs betrachten, aus Sicht des Baumes ein „kontrollierter“ Vorgang: sein jährlicher Austrieb, die üppige Ausbildung von Blättern und Rinde, sowie sein Erscheinungsbild über die Jahreszeiten hinweg repräsentieren Eigenschaften

Pneumatische temporäre Stützstruktur und sich entwickelndes baubotanisches Tragwerk. © FG Baubotanik – Lebendarchitektur

Baubotanische Brücke, mögliche Entstehungsphasen. © FG Baubotanik – Lebendarchitektur



08



09 Steg kurz vor Pflegeschnitt. © Entwicklungsgesellschaft für Baubotanik

des Baumes, die nicht für seine Statik, sondern für seine gesamte Vitalität notwendig sind. Diese Vitalitätsaspekte (Kronenstruktur, Austrieb und Distributionssysteme) werden in der Baubotanik nicht durch künstliche Systeme ersetzt, sondern verbleiben als maßgebliche ästhetische Qualitäten, welche die Erscheinung und Gestalt der Struktur dominieren, den jeweiligen Zustand ihrer Vitalität als „Autobiografie“ zum Ausdruck bringen und somit die Zeichenhaftigkeit des Baums in der Architektur kenntlich werden lassen. Während in der Bionik das Ergebnis des kreativen Übertragungs- und Abstraktionsprozesses natürlicher Vorgänge auf künstliche Strukturen die Gestalt eines technischen Artefakts annimmt, bleibt in der Baubotanik die Mannigfaltigkeit der konstruktiv verwendeten technischen wie lebenden Bauteile erhalten und wird als solche sichtbar. Baubotanische Strukturen bleiben abhängig von allen vorherrschenden Einbindungen in die sie umgebenden Ökosysteme und versprechen erst dann wirkliche Gewissheit, wenn sie gezielt auf ihre „Autobiographie“ hin konstruiert und befragt werden können. Dass der Architekt zum Gärtner wird, heißt ja nicht nur, dass er von der Planung auf die Pflege umstellt, sondern sich aus einem Initiator von Funktionsabläufen zu einem Beobachter und Begleiter von Lebensprozessen verwandelt.

In der sich fortschreibenden Autobiografie des Baus wird das Interaktionsverhältnis zwischen wachsendem und statischem Bauteil offenbar. Mit den (jahres-)zeit-

lichen Veränderungen befreit sich die architektonische Form durch den Einsatz lebender Materialien endgültig von der Gestaltungshoheit des Architekten. Lebende Tragwerke nötigen ihn dazu, ihre statisch interpretierten Eigenschaften zugleich als botanische und artifizielle zu verstehen. Die „künstliche“ Intelligenz des Ingenieurs setzt sich freiwillig in Abhängigkeit zur „natürlichen Intelligenz“ der Pflanze und leitet so die Mutation des Architekten zum Gärtner in die Wege. Zu einem Gärtner, der planen und konstruieren kann und darüber hinaus auch dem enzyklopädischen Wissenschaftscharakter der Architektur die Treue hält (DE BRUYN, 2008), indem er sich als Kultur- und Naturforscher versteht. Als solcher sieht er sich der Tatsache konfrontiert, dass die Biologie so gut wie keine Gesetze kennt, sondern ihre Theorien weitestgehend auf Prinzipien beruhen. Die natürliche Selektion, das Prinzip der Konkurrenz und der Ressourcen stellen keine universellen Gesetze dar, sind aber grundlegende Prinzipien, die in ihrer Begrifflichkeit Konzepte der Theoriebildung sind (MAYR 2002). Zwar bleibt die Statik der Konstruktion einer baubotanischen Struktur weiterhin von physikalischen Gesetzmäßigkeiten abhängig, jedoch entfaltet sie ihr volles konstruktives wie ästhetisches Potential erst über die Zeit (SCHWERTFEGER 2008).

Die Aspekte der Zeitlichkeit, Veränderbarkeit und Zufälligkeit, des Wachstums und der lebendigen Textur (Blätterwerk) gewinnen daher in der Baubotanik ein Übergewicht über die vertrauten und doch so fragwürdigen Kategorien der Funktionalität, Tektonik und Stabilität, die mit Peter Eisenman zu den unbewältigten Fragen der so genannten modernen Architektur gerechnet werden können.

• Gerd de Bruyn
Ferdinand Ludwig
Hannes Schwertfeger

DIE AUTOREN

PROF. DR. PHIL. GERD DE BRUYN

ist Architekturtheoretiker und leitet seit 2001 das Institut Grundlagen moderner Architektur und Entwerfen (Iqma), in dem die breit vernetzte Forschungsgruppe „Baubotanik – Lebendarchitektur“ gegründet wurde, die aus den Diplomingenieuren Ferdinand Ludwig (Schwerpunkt Botanik), Oliver Storz (Schwerpunkt Technik) und Hannes Schwertfeger (Schwerpunkt Theorie) besteht. Alle drei haben ihr Diplom am Iqma gemacht und sind derzeit Doktoranden.

Kontakt

Universität Stuttgart, Institut Grundlagen moderner Architektur und Entwerfen, Keplerstrasse 11, K1, Stockwerk 6.a, 70174 Stuttgart
Tel. 0711/685-83320, Fax 0711/685-82795
E-Mail: sekretariat@iqma.uni-stuttgart.de
Internet: www.uni-stuttgart.de/iqma, www.forschung.baubotanik.de



Literatur

- de Bruyn, G. (2008): „Die enzyklopädische Architektur. Zur Reformulierung einer Universalwissenschaft“, Edition ArchitekturDenken, transcript Verlag, Bielefeld (in prep.)
- Karafyllis, N. C. (2003): „Das Wesen der Biofakte“, in: Karafyllis, N. C. 2003 (Hrsg.): „Biofakte – Versuch über den Menschen zwischen Artefakt und Lebewesen“, mentis Verlag, Paderborn 2003, S. 11–26
- Ludwig, F. (2008): „Baubotanik – Trainierbare Tragwerke“, in: de Bruyn, G., Ludwig, F., Schwertfeger, H. (Hrsg.): „Lebende Bauten, Trainierbare Tragwerke“, Lit-Verlag, Münster, (in prep.)
- Mattheck, C. (1995): „Biomechanical optimum in woody stems“. In: Gartner, B. L. (Hrsg.): „Plant stems. Physiology and functional morphology“, Academic Press., San Diego
- Mayr, E. (2002): „Die Autonomie der Biologie“, Naturwissenschaftliche Rundschau, 55. Jahrgang, Heft I, Seite 23–29
- Otto, Frei (1992): „Form, Kraft, Masse (3): ein Vorschlag zur Ordnung und Beschreibung von Konstruktionen“, Krämer, Stuttgart
- Pretzsch, H. (2002): „Grundlagen der Waldwachstumsforschung“, Blackwell Verlag, Berlin
- Reineke, L. H. (1933): „Perfecting a Stand-Density Index For Even Aged Forests“, Journal of Agricultural Research 46(7), 627–638, 1933
- Schwertfeger, H. (2008): „Lebende Bauten – Beton und Ente“, in: de Bruyn, G., Ludwig, F., Schwertfeger, H. (Hrsg.): „Lebende Bauten, Trainierbare Tragwerke“, Lit-Verlag, Münster, (in prep.)
- Speck, T. (1994): „Bending stability of plant stems: ontogenetical, eco-logical, and phylo-ge-ne-tical aspects“, Biomimetics, 2 (2): 109–128.
- Speck, Thomas (2008): „Baubotanik, Bionik, Biotechnologie: Innovative Forschung im Spannungsfeld angewandter Biowissenschaften“, in: de Bruyn, G., Ludwig, F., Schwertfeger, H. (Hrsg.): „Lebende Bauten, Trainierbare Tragwerke“, Lit-Verlag, Münster, (in prep.)
- Yoda, K., Kira, T., Ogawa, H. und Hozumi, K.: „Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions (Intraspecific competition among higher plants XI)“, Journal of the Institute of Polytechnics, Osaka City University, Series 14, S. 107–129, 1963