

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 154 (2003)
Heft: 12

Artikel: Ideengeber Holz : ein Überblick
Autor: Baum, Sebastian / Mannes, David
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1098208>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 01.05.2026

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

Ideengeber Holz – ein Überblick

SEBASTIAN BAUM und DAVID MANNES

Keywords: Biomimetics; wood; technical implementation; principles of structure. FDK 81 : 82 : 83 : 84

1. Vorbild Natur

Seit langem wird versucht, die belebte Natur als Ideengeber für die Lösung technischer Probleme zu nutzen. Durch evolutionsbedingte, über Jahrmillionen andauernde Verbesserungen haben sich für viele natürliche Problemstellungen hochgradig optimierte Lösungen entwickelt, die mit einem minimalen Einsatz von Ressourcen auskommen. Der Versuch, diese natürlichen Prinzipien zu imitieren und technisch umzusetzen wird als Biomimetik oder im deutschsprachigen Raum häufig synonym als Bionik bezeichnet. Die Bionik stellt eine interdisziplinäre Wissenschaft dar, deren Ziel es ist, in der Natur erfolgreich angewandte Prinzipien strukturell und funktionell zu analysieren und in technische Anwendungen umzusetzen. Diese Umsetzung erfolgt jedoch nicht durch das exakte Kopieren der Natur, sondern vielmehr in Form eines durch die Natur angeregten Neu-Erfindens (SPECK 1999). Die vorhandenen Funktionskonzepte der Natur wurden jedoch bisher nur wenig genutzt, obschon hier ein reichhaltiges Problemlösungs-Reservoir an effizienten, umweltschonenden und nachhaltigen Ideen vorliegt.

Insbesondere Bäume bieten sich als Ideengeber an: Grösse, Widerstandsfähigkeit, Belastbarkeit und das hohe erreichbare Alter belegen den Erfolg von Holz als Material und Konstruktion und machen es zu einem der dominierenden Strukturelemente der Erde. Die Holz zu Grunde liegende vorteilhafte Kombination von hoher Festigkeit, Steifigkeit und Zähigkeit bei niedriger Materialdichte gewinnt auch bei ingenieurtechnischen Fragestellungen immer mehr an Bedeutung. Der evolutionsbedingte Vorsprung der Natur ist aber beträchtlich und die Idee, die langwierige Suche durch eine Adaptation des Strukturprinzips Holz etwas abzukürzen, liegt nahe. Vielfältige Wuchs- und Holztypen haben sich entwickelt, die optimal an die Bedürfnisse der Bäume an den jeweiligen Standorten angepasst sind (Abbildung 1). Die Bandbreite umfasst hartes, leichtes, flexibles, sprödes, zähes oder schnellwachsendes Holz. Gleichzeitig werden durch das Holz neben der Stütz- und Haltefunktion auch noch Leitungs-, Speicherungs- und Schutzfunktionen erfüllt. Hinzu kommt, dass sich im Laufe der Evolution eine Reihe von Spezialgeweben im Holz entwickelt haben, die für besondere Beanspruchung (z.B. Reaktionsholz, Wurzelholz) oder für bestimmte Wachstumsphasen (z.B. juveniles Holz) die optimale Lösung für den

Baum und möglicherweise eben auch für Problemstellungen des Menschen bieten.

2. Unbewusste Nachahmung von Holzstrukturen

Es finden sich folgerichtig eine grössere Anzahl Holz-abgeleiteter «Erfindungen» in unserem alltäglichen Umfeld. In den meisten Fällen sind diese Erfindungen aber nicht von der Natur abgeschaut, sondern Parallelentwicklungen. Erst im Nachhinein entdeckte man, dass die gefundenen Prinzipien und Strategien denen von Bäumen sehr ähnlich sind. Ein Beispiel hierfür ist der Hoftüpfel im Xylem der Bäume, der die Lumina der Tracheiden miteinander verbindet und einen radial-tangentialen Flüssigkeitstransport zwischen den Zellen ermöglicht. An Margofäden aufgehängt schwebt der Torus inmitten der Zellverbindung (Abbildung 2). Sobald das Wasserleitsystem durch eine Störung (z.B. Verletzungen mit der Folge von Embolien) zusammenbricht, entstehen Druckunterschiede und der Torus wird gegen den Porus gedrückt, wodurch sich die Öffnung ohne Energieaufwand fest verschliesst und die Schädigung benachbarter Zellen verhindert wird. Eine ähnliche Funktionsweise weisen Ventile auf, wie sie z.B. in Fahrradschläuchen verwendet werden. Bekannter dürfte die strukturelle Parallele zwischen dem in der verholzten Zellwand vorkommenden Zellulose-Lignin-Gerüst und Stahlbeton sein. Die zugfeste, biegsame, in Mikrofibrillen vorliegende Zellulose wird in den Holzzellen von einer starren, druckfesten Lignin-Matrix inkrustiert. Obwohl sich Aufbau und Wirkungsweise von Stahlbeton mit dieser von der Natur entwickelten Kombination zweier ergänzender Baustoffe gleichen (TROLL 1959), handelt es sich auch hier nicht um eine Umsetzung des natürlichen Prinzips, sondern um einen unbewussten Nachbau einer «Holzerfindung».

Genauso wenig hatten sich wohl die Erfinder der Staubsaugerschläuche mit ihren ringförmigen Rippen, die den Luftdurchgang auch bei starker Biegung noch ermöglichen, die Wasserleitbahnen im Holz als Vorbild genommen. Dennoch zeigt ein Vergleich, dass viele Baumarten diesen Trick einer ringförmigen Verdickung und die damit verbundene Verstärkung der Formstabilität nutzen (Abbildung 3) und auch in diesem Fall als Ideengeber hätten dienen können. Ähnliches gilt

BAUM, S.; MANNES, D.: Ideengeber Holz – ein Überblick

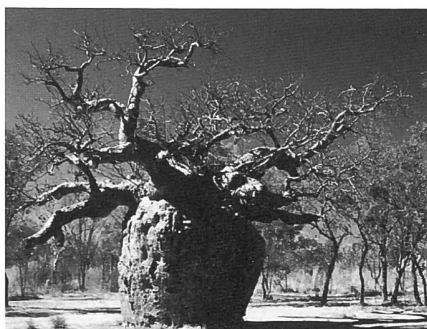


Abbildung 1: Von links nach rechts: dickstämmiger Baobab; windgebeugte Buche; Buchen in einem Wirtschaftswald.

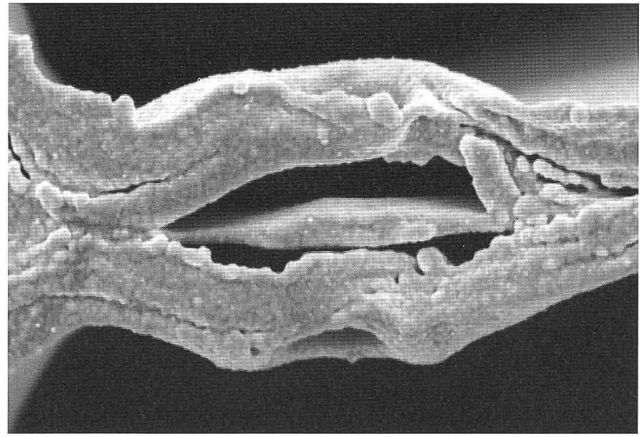
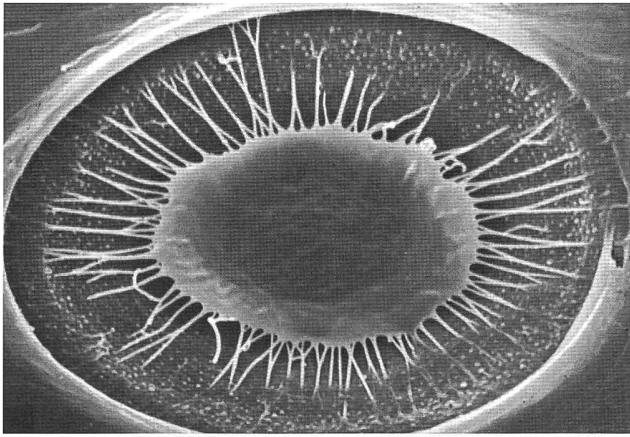


Abbildung 2: Links: Hoftüpfel von *Pinus sylvestris* L.: Torus mit Margofäden; rechts: Hoftüpfel von *Picea abies* L. (Querschnitt): Stellung des Torus in der Mitte der Zellverbindung ermöglicht Wassertransport in die benachbarte Zelle.

für die aus Parenchymzellen bestehenden, in den Baumstämmen radial ausgerichteten Mark- bzw. Holzstrahlen. Lange sah man deren Bedeutung nur in ihrer Fähigkeit zur Speicherung von Nährstoffen und übersah, dass Holzstrahlen auch für die mechanische Stabilität eine wichtige Rolle spielen, indem sie die Querkzugfestigkeit des Holzes beträchtlich erhöhen (BURGERT 1999). Ein Prinzip, welches unbewusst schon viele Jahre zuvor für die mechanische Verbesserung von Textilgewebe angewandt wurde, indem der Stoff durch das «Nadeln» quer zur Webfaser verstärkt wurde. Auch Verbesserungen bei bestimmten Herstellungsverfahren von Spanplatten kann man als unbewusste Adaptation der Holzstrahlidee interpretieren. Zusätzliche kubische Späne, die durch ihre Form in der Platte quer zu liegen kommen erhöhen die Querkzugfestigkeit entscheidend.

3. Umsetzung von Bauprinzipien des Holzes

Es gibt aber auch einige Beispiele, die zeigen, dass Holzeigenschaften nicht nur unbewusst imitiert, sondern tatsächlich von der Natur abgeschaut und in anderen Bereichen umgesetzt werden können. Forscher der Reading University um Julian Vincent haben mit einem künstlichen Werkstoff aus Glasfasern und Kunstharz das Holzdesign kopiert (VINCENT 2001). Das so entstandene Produkt eignet sich hervorragend für die Anfertigung von Schutzkleidung, denn die hohe Energie von Geschoss-Kugeln oder Bombensplittern wird vom verarbeiteten Werkstoff absorbiert.

Das Wachstums- und Stressverhalten von Bäumen konnte ebenfalls adaptiert werden. Im Forschungszentrum Karlsruhe wurden «selbstreparierende» Mechanismen entdeckt, mit denen Bäume gezielt dort vermehrt Holz anbauen, wo erhöhte Spannungen auftreten, aber auf Material verzichten, wo keine Belastungen vorkommen. Dieses Prinzip des adaptiven Wachstums konnte in ein Computerprogramm umgesetzt werden, das eine selbstregulierende Formanpassung für Bauteile ermöglicht. Dieses hilft nun beispielsweise, in der Operationsmedizin bei der Behandlung von Knochenbrüchen eingesetzte Schrauben möglichst klein und dennoch stabil zu gestalten. Eine weitere Anwendung ist die Entwicklung einer optimierten Fahrzeugachse, die materialsparend und gleichzeitig extrem belastbar ist (MATTHECK 1997).

Neben rein mechanischen Ideen dürfte der effiziente Wasserleitungsmechanismus von Bäumen ebenfalls Anregungen für technische Umsetzungen liefern. Strömungstheoretiker errechneten mit Hilfe eines Evolutionsmodells die optimale Krümmung eines Leitungsrohres. Das erstaunliche Ergebnis:

nicht die gebräuchliche gleichmässige Krümmungsform erreicht den geringsten Strömungswiderstand, sondern ein unregelmässig verlaufendes Rohr, das am Ende eine kleine Krümmungsumkehr aufweist, was immerhin zu einem reduzierten Umlenkverlust von 10% führt (RECHENBERG 1994). Sieht man sich die Leitungsbahnen im Holz an, fällt eine nahezu identische «Lösungsform» auf, wenn sich an einer Astgabelung die Transportrichtung des Xylemflusses ändert (Abbildung 4). Der effiziente und für den Baum energetisch kostenlose Flüssigkeitsferntransport könnte auch für die Entwicklung neuartiger technischer Textilien genutzt werden. Das ist zumindest das erklärte Ziel eines Projektes des Kompetenznetzes Biomimetik Baden-Württemberg, das auf Basis dieser Holzerfindung energieautarke Bewässerungs- und Befeuchtungssysteme sowie atmungsaktive Rohre mit einer Steuerung des Flüssigkeitstransportes ohne Einsatz von Pumpen entwickeln möchte. Die geplanten Projekte zeigen sehr gut, dass Holz, nicht nur was seine Mechanik betrifft, als Vorbild und Forschungsobjekt attraktiv bleibt.

4. Holz als Ideengeber für neue Werkstoffe

Eine weitere Möglichkeit, Holz als Ideengeber zu nutzen, ist schon relativ alt und wurde bereits bei der Erfindung der Papierherstellung genutzt: Holzbestandteile, seien es Zellen, Fasern, Späne oder Hackschnitzel, werden durch chemische und/oder mechanische Behandlung aus dem Verbund gelöst und in neuer Form wieder zusammengefügt. Die Zahl der so entwickelten Holzwerkstoffe ist gross, aber noch heute werden auf diese Weise neue und innovative Produkte entwickelt. Im Grunde sind alle Holzwerkstoffe von dem Grundprinzip geleitet, die positiven Holzeigenschaften wie Zugfestigkeit, Dauerhaftigkeit oder auch ökologische Verträglichkeit zu nutzen, dabei aber zum Teil unerwünschte Eigenschaften wie beispielsweise Quellung und Schwindung oder Anisotropie auszuschliessen oder zu minimieren. Neben der althergebrachten Form reiner Holzwerkstoffe gelangen zunehmend auch Verbund-Werkstoffe auf den Markt. So kann glasfaserverstärktes Brett-schichtholz bei gleicher Querschnittsgrösse die Vorteile von Brett-schichtholz und Sperrholz verbinden.

Aber nicht nur die Festigkeitseigenschaften, auch die äussere Form und die molekulare Struktur von Holz kann für technische Zwecke genutzt werden. So gelang es der Forschergruppe um Peter Greil am Institut für Werkstoffwissenschaften der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, mit Hilfe von Holz eine stabile Keramik entstehen zu lassen

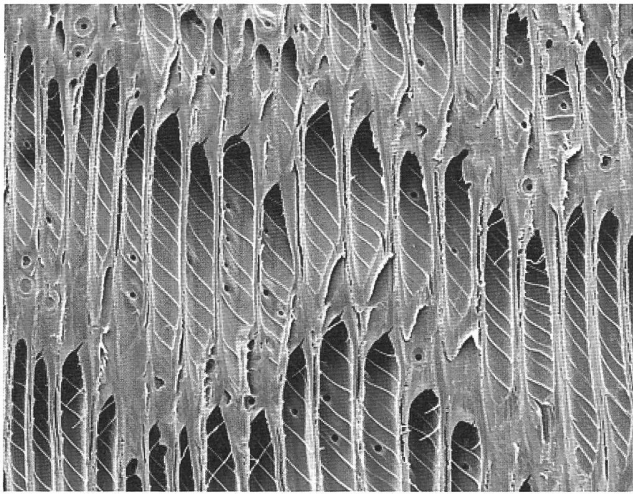


Abbildung 3: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Eibenholz. Ringförmige Verdickungen an den Zellwänden der Tracheiden.

und so die erwünschten Eigenschaften des Holzes in einen «fremden Bereich» zu exportieren (GREIL *et al.* 1998, GREIL 2001). In einem Siliziumbad von 1600 °C wird der Kohlenstoff des Holzes infiltriert und verbindet sich zu Siliziumkarbid. Der so fabrizierte extrem harte Hochtemperatur-Werkstoff kann nun in Bereichen bis 1400 °C eingesetzt werden. Auch wenn das Material noch nicht voll ausgereift ist, gibt es bisher keine Alternativmethode für dessen Herstellung. Da Holz in vielfältigen Variationen vorkommt, wird sich dieser Prozess mit der geeigneten Baumartenwahl noch weiter verbessern lassen. Forstwissenschaftler der TU München fanden heraus, dass das Holz des Mammutbaums und der Pappel wegen ihres gleichmässigen anatomischen Aufbaus besonders gut für diese Zwecke geeignet ist.

5. Die Suche nach neuen Wegen der Umsetzung

Beim derzeitigen Kenntnisstand ist das Potenzial von Holz als natürliches Vorbild offensichtlich bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Auch an der Professur Holzwissenschaften der ETH Zürich ist man der Meinung, dass Holz noch für viele Bereiche als Ideengeber erhalten kann. Ein Augenmerk liegt dabei auf dem Zugholz der Laubbäume. Dieses Sondergewebe der

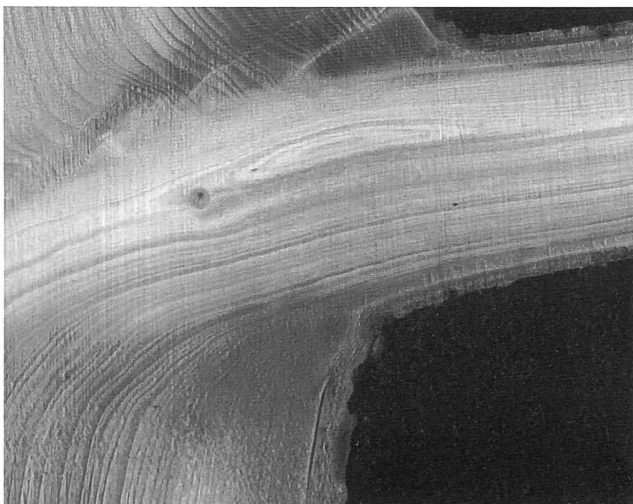


Abbildung 4: Längsschnitt an einer Astgabelung: Biegung des wasserleitenden Xylems mit Krümmungsumkehr.

Laubbäume zeichnet sich durch einen vom Normalholz abweichenden Zellwandaufbau mit einem erhöhten Anteil an Zellulose und einem veränderten Mikrofibrillenwinkel aus und hilft dem Baum, die erblich fixierte Wachstumsrichtung wieder zu erlangen. Dies gilt insbesondere auch für die Geveverbände an der Oberseite von Ästen, die bei Wind oder starker Schneelast besonders beansprucht werden. Das derzeit anlaufende Projekt zur mechanischen Erforschung von Zugholz hat das Ziel, mehr über die Funktionsweise dieses Zugholzmechanismus in Erfahrung zu bringen und so die Grundlagen für eine technische Adaptation zu schaffen. Dabei werden die verschiedenen Strukturebenen der Äste mit einbezogen: Die Untersuchungen reichen also von Studien zur Querschnittsfläche des Astes bis hin zur mechanischen Wirksamkeit der einzelnen Zellwandschichten der Zugholzfasern.

Ein weiteres gerade anlaufendes Projekt beschäftigt sich mit dem Thema der Astanbindung. Die Äste einiger Baumarten wie etwa die der Bruchweide (*Salix fragilis* L.) brechen auf Grund von Sollbruchstellen am Übergang von Stamm zu Ast unter Belastung sehr leicht ab, was die vegetative Vermehrung dieser Baumart enorm erleichtert (BEISMANN *et al.* 2000). Im Gegensatz hierzu erweist sich die Astanbindung bei anderen Baumarten, wie beispielsweise der Eibe (*Taxus baccata* L.), als äusserst widerstandsfähig gegenüber Belastungen. Im Rahmen des Forschungsprojekts sollen Bauprinzipien und mechanische Eigenschaften der unterschiedlichen Astanbindungsformen auf verschiedenen strukturellen Ebenen vom gesamten, noch am Baum befindlichen Ast bis hin zu Einzelfasern untersucht werden. Eines der Ziele des Projekts besteht in dem Versuch, die gewonnenen Erkenntnisse in technische Lösungen umzusetzen und durch ein besseres Verständnis der Bauprinzipien von Astanbindungen beispielsweise zur Entwicklung und Optimierung von Verbindungselementen und Eckverbindungen beizutragen.

Ein weiterer Ansatzpunkt der Holzwissenschaftler ist die Untersuchung des Bruchverhaltens besonders zäher Baumarten. Die erhofften Erkenntnisse könnten in die Entwicklung neuer faserverstärkter Werkstoffe einfließen. Eine mögliche Nutzung besteht in der Optimierung von Knautschzonen bei Personenzugmaschinen.

Zusammenfassung

Holz eignet sich dank seiner Widerstandsfähigkeit und Belastbarkeit, der erreichbaren Dimensionen und seiner vielfältigen Variationen besonders gut als natürliches Vorbild und Ideengeber für technische Umsetzungen. Der Aufsatz gibt einen Überblick über bereits erfolgte und noch mögliche Implementierungen. Beispiele wie Fahrradventil oder Stahlbeton zeigen eine unbewusste Nachahmung von Holzfindungen wie Hof-tüpfel und Zellwandaufbau. Aber auch echte Adaptationen von holzeigenen Prinzipien erfolgten für die Entwicklung von Schutzkleidung, Holzkeramik und eine selbstregulierende Formanpassung von Bauteilen. Neben diesen erfolgreich getätigten Umsetzungen werden neue Projekte und Forschungsvorhaben zu den Bauprinzipien von Holz vorgestellt.

Summary

Wood: a provider of ideas – an overview

Owing to its durability, load capacity, wide-ranging dimensions and manifold variations wood is an exemplary prototypical material and an excellent provider of ideas. This article gives

an overview on both existing and possible implementations. Examples, such as reinforced concrete or bicycle valves, show an unconscious imitation of «wood inventions» like cell wall structure or bordered pits. Moreover, proper adaptations of wood principles have also been used in the development of protective clothing, wood ceramics and in a self-regulating shape adaptation of components. In addition to these successful adaptations, we present new research projects on the structure principles of wood.

Résumé

Le bois, source d'idées: une vue d'ensemble

Le bois convient particulièrement bien en tant que modèle naturel et donneur d'idées pour des transpositions techniques grâce à sa résistance, à sa capacité de charge, aux dimensions réalisables et à ses multiples variations. Cet article donne un aperçu sur les implémentations possibles et déjà effectuées. La soupape ou le béton armé sont des exemples d'imitation inconsciente des inventions du bois telle que ponctuations aréolées et structure de la paroi cellulaires. De véritables adaptations des principes propres au bois ont également servi au développement des vêtements de protection, de la céramique de bois et d'une adaptation de forme autorégulatrice d'éléments de construction. À côté de ces transpositions effectuées avec succès, de nouveaux projets de recherche sur les principes de construction du bois sont présentés.

Literatur

- BEISMANN, H.; WILHELMI, H.; BAILLERES, H.; SPATZ, H.C.; BOGENRIEDER, A.; SPECK, T. 2000: Brittleness of twig bases in the genus *Salix*: fracture mechanics and ecological relevance. *Journal of Experimental Botany* 51, 344: 617–633.
- BURGERT, I. 1999: Die mechanische Bedeutung der Holzstrahlen im lebenden Baum. Dissertation, Universität Hamburg, 173 S.
- GREIL, P. 2001: Biomorphous ceramics from lignocellulosics. *Journal of the European Ceramic Society* 21, 2: 105–118.
- GREIL, P.; LIFKA, T.; KAINDL, A. 1998: Biomorphous cellular silicon carbide ceramics from wood: II. Mechanical properties. *Journal of the European Ceramic Society* 18, 14: 1975–1983.
- MATTHECK, C. 1997: Design in der Natur. 3. Auflage, Rombach-Verlag, Freiburg, 242 S.
- RECHENBERG, I. 1994: Vorlesung zur Bionik. Bionik-Kompetenz-Netz der TU Berlin. <http://www.bionik.tu-berlin.de/kompetenznetz/bionik/literatur.html>.
- SPECK, T. 1999: Bionik. In: Lexikon der Biologie. Band 2, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg: 447–455.
- TROLL, W. 1959: Allgemeine Botanik: ein Lehrbuch auf vergleichend-biologischer Grundlage. 3. Auflage, Enke, Stuttgart, 927 S.
- VINCENT, J.F.V. 2001: Stealing ideas from nature. In: Pellegrino, S. (Ed.): Deployable Structures. Springer, Wien: 51–58.

Autoren

Dr. SEBASTIAN BAUM, Dipl. Forstwirt, und DAVID MANNES, Holzwissenschaften, ETH Zentrum, 8092 Zürich. E-Mail: baum@fowi.ethz.ch; mannes@fowi.ethz.ch.