©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Osnabrücker Naturwissenschaftliche Mitteilungen
Band 33/34, S. 157 – 175, 2008

Bionik: Interdisziplinäre Forschung und Bildung in Botanischen Gärten

Thomas Speck und Olga Speck

Kurzfassung. Die Ursachen für die wachsende Bedeutung und das Potential Botanischer Gärten für die bionische Forschung und für Bildungsangebote zum Thema Bionik werden erläutert. Der Aspekt der bionischen Forschung in Botanischen Gärten wird exemplarisch an einigen erfolgreichen bionischen Projekten diskutiert. Zum Thema Bionik und Bildung in Botanischen Gärten werden verschiedene Möglichkeiten wie Lehrpfade und Informationstafeln sowie Führungen mit Demonstrationsversuchen an den pflanzlichen Ideengebern und einfachen Experimenten an den bionischen Produkten vorgestellt.

Abstract. The reasons for the increasing significance and potential of Botanic Gardens for biomimetic research and for learning opportunities in biomimetics are illustrated. The aspect of biomimetic research in Botanic Gardens is exemplified by some successful biomimetic projects. The issue biomimetics and education in Botanic Gardens is discussed by identifying various possibilities for presenting biomimetic topics as botanic garden trails and information panels with biomimetic contents, as well as guided tours with tests on the plant species used as concept generators and simple experiments with the biomimetic products.

Keywords: Bionik, Biomimetik, Botanische Gärten, Lebens-Langes-Lernen (L^3)

Adresse:
Plant Biomechanics Group, Botanischer Garten der Universität Freiburg, Fakultät für Biologie, Schänzlestr. 1, D-79104 Freiburg, Germany, Kompetenznetze *BIO*KON e.V. & Biomimetik. E-Mail: biomimetik@biologie.uni-freiburg.de

1 Einleitung – Bionik und Botanische Gärten

Seit der Gründung der ersten Botanischen Gärten Mitte des 16. Jahrhunderts sind Botanische Gärten unverzichtbare Einrichtungen für Forschung und Lehre. Ähnlich wie in den medizinischen, pharmazeutischen und biologischen Instituten hat sich im Verlauf der Jahrhunderte auch in den an diese Institute angeschlossenen Botanischen Gärten die Ausrichtung der Forschung und die Gliederung der Gärten mehrfach geändert (Raven 1981, Mägdefrau 1992, Vogellehner et al. 1996, Müller 1991, Speck T 2000). Stets war jedoch die Darstellung der Vielfalt pflanzlicher Lebensformen, Strukturen, Eigenschaften und Inhaltsstoffe sowie der unterschiedlichen Nutzung von Pflanzen durch den Menschen eines der zentralen Anliegen Botanischer Gärten in Forschung und Lehre. Auch im 21. Jahrhundert sind Botanische Gärten mit ihren Schwerpunkten auf den Gebieten der Biodiversitätsforschung sowie des Natur- und Artenschutzes ideale Schnittstellen zwischen Forschung und Öffentlichkeit, die sich mit ihrem breiten und attraktiven Bildungsangebot hervorragend in das Konzept des Lebens-Langen-Lernens (L^3) einfügen (Raven 1981, Rauer et al. 2000, Denkschrift der Botanischen Gesellschaft e.V. 2003). Während in den 70er bis 90er Jahren des letzten Jahrhunderts gerade auch viele universitäre Botanische Gärten im Rahmen der zunehmend molekular geprägten Ausrichtung der biologischen Forschung um ihre Existenz

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

kämpfen mussten, wird seit etwa 10 Jahren das große Potential Botanischer Gärten zunehmend wieder erkannt. Ihre Bedeutung für Forschung aber auch für Wissensvermittlung in hochaktuellen Themenfeldern wie Biodiversität sowie Natur- und Artenschutz wird heute kaum noch ernsthaft angezweifelt. Als weitere für Botanische Gärten geeignete und im Rahmen der HighTech-Strategie des Bundesministeriums für Bildung und Forschung als zukunftsweisende eingeschätzte Forschungsrichtung hat sich in den letzten Jahren die Bionik herauskristallisiert (Oertel & Grunwald 2006, v. Gleich et al. 2007). Auch im Bereich der Bionik haben sich Botanische Gärten zunehmend als Orte innovativer Forschung und attraktiver Bildungsangebote für alle Altersgruppen profiliert (Speck T & Speck O 2007).

Ein Grund für das große Potential, über das Botanische Gärten im Bereich Bionik-Forschung und Bionik-Bildung verfügen, ist die hohe Artenzahl der in Botanischen Gärten kultivierten Pflanzen. Weltweit gibt es heute mehr als 2.100 Botanische Gärten in 153 Ländern, in denen etwa 90.000 Arten höherer Pflanzen (Kormophyten) gepflegt werden (Wyse-Jackson 2002, v. den Driesch & Lobin 2001a, 2001b, v. den Driesch, Lobin & Neinhuis 2007). Dies bedeutet, dass von den ca. 300.000 rezenten Kormophytenarten, zu denen neben den Samenpflanzen auch die Farne, Bärlappe und Schachtelhalme gehören, fast ein Drittel in Botanischen Gärten kultiviert wird und für Forschungs- und Bildungszwecke genutzt werden kann (Barthlott et al. 1999, Mutke & Barthlott 2007). In Deutschland gibt es etwa 100 Botanische Gärten (Schmidt 1997, Rauer et al. 2000), in denen mit ca. 50.000 Arten ungefähr ein Sechstel aller bekannten höheren Pflanzen gepflegt wird (v. den Driesch & Lobin 2001a, 2001b, Klingenstein et al. 2002, Wyse-Jackson 2002, v. den Driesch, Lobin & Neinhuis 2007). In einem einzelnen Garten werden typischer Weise zwischen 3.000 und 10.000 Arten höherer Pflanzen kultiviert. Große Botanische Gärten, wie der Botanische Garten Berlin-Dahlem (BGBM) mit 21.000 Taxa oder die Royal Botanic Gardens Kew, als weltweit größter Botanischer Garten mit 34.000 Taxa, kultivieren allerdings noch wesentlich höhere Artenzahlen (Klingenstein 2002, v. den Driesch, Lobin & Neinhuis 2007). Diese Artenvielfalt bietet – verglichen mit den sich heute häufig auf eine oder einige wenige exemplarisch ausgewählte Arten konzentrierenden, überwiegend molekularbiologisch arbeitenden botanischen Forschungsinstituten an Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen – die Basis zu einem nahezu diametral entgegengesetzten Forschungsansatz. Dieser organismische Forschungsansatz bietet vielfältige Möglichkeiten, ausgehend von der Vielfalt der in der Evolution entstandenen „Lösungsvorschläge" bei Pflanzen durch quantitative Analyse auf verschiedenen hierarchischen Ebenen zu einem vertieften Verständnis des „Funktionierens" von Pflanzen zu gelangen (Herrel, Rowe & Speck 2006, Speck T et al. 2003). Hierbei stellen der molekularbiologische Ansatz (Verstehen eines komplexen biologischen Systems ausgehend vom genetischen Informationsgehalt, d.h. vom „Kleinen zum Großen") und der organismische Ansatz (Verstehen eines komplexen biologischen Systems ausgehend vom Funktionieren des Systems, also von seiner Interaktion mit der Umwelt oder gewissen Umweltparametern, d.h. vom „Großen zum Kleinen") keine Gegensätze dar, sondern sollten sich in idealer Weise ergänzen und eine Gesamtbeschreibung des Systems liefern können, wie es in der Systembiologie („Systems Biology") gefordert wird. Ein weiterer Schritt ist dann die Übertragung dieser Erkenntnisse in die Anwendung, was Ziel eines als „Translational Biology" bezeichneten Ansatzes ist und in der Bionik und der Biotechnologie bereits vielerorts erfolgreich praktiziert wird.

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Die hohe Artenzahl kultivierter Pflanzen hat zur Folge, dass in Botanischen Gärten auf engstem Raum eine große strukturelle und funktionelle Diversität pflanzlicher Strukturen für Forschung, Lehre und Bildung zur Verfügung steht. Für den Bereich der Bionik ist hierbei vor allem der Vergleich von funktionell und/oder strukturell ähnlichen Anpassungen an bestimmte Umweltanforderungen bei unterschiedlich nahe miteinander verwandten Pflanzengruppen von Interesse. Hierbei ist es von der Seite der Evolutionsbiologie zwar hochinteressant zu unterscheiden, ob es sich hierbei um Konvergenzen oder Parallelevolutionen (Homoiologien) handelt, für Inspirationen zu einer technischen Umsetzung im Rahmen bionischer Forschung ist dieser Unterschied zunächst aber unerheblich. Experimentelle Untersuchungen erlauben es, die Vielfalt der in der Evolution entstandenen Möglichkeiten, einer bestimmten Umweltanforderung zu genügen, quantitativ zu analysieren. Durch einen Vergleich der unterschiedlichen „Lösungsvorschläge der Natur" können im Rahmen bionischer Forschungsprojekte optimierte Lösungsvorschläge für die jeweilige Fragestellung aus der Technik ausgewählt werden („top-down-Prinzip") bzw. völlig neuartige für die Technik interessante Eigenschaften erkannt werden („bottom-up-Prinzip") (Speck T et al. 2006a, Speck T, Harder & Speck O 2007). Weitere wichtige Schlussfolgerungen lassen sich aus Analysen der Variabilität eines Strukturmerkmals innerhalb nah verwandter Gruppen bzw. Arten ableiten, wodurch die Möglichkeiten des "strukturellen und funktionelles Feintunings" in der Natur auf eine mögliche Übertragung in technische Anwendungen hin untersucht werden kann. Eine zusätzliche Stärke Botanischer Gärten, die sich vor allem auch bei bionischen Forschungsprojekten zeigt, ist die Möglichkeit der Untersuchung verschiedener Ontogeniestadien einer Pflanzenart. In Botanischen Gärten können auch adulte, häufig sehr große Pflanzen kultiviert werden, was in anderen Forschungseinrichtungen kaum möglich ist. Dies erlaubt es, die Veränderung einer Eigenschaft vom Keimling bis zur adulten Pflanze zu verfolgen, was für eine technische Umsetzung im Rahmen bionischer Projekte von großem Interesse sein kann.

2 Bionik – Versuch einer Begriffsdefinition und Begriffsabgrenzung

Das Kunstwort Bionik leitet sich aus den Begriffen *Bio*logie und Tech*nik* her, wodurch schon eine grundsätzliche Definition der Forschungsrichtung gegeben ist. Unter Bionik versteht man die Umsetzung von Erkenntnissen aus der biologischen (Gundlagen-)Forschung in technische Anwendungen. Es handelt sich hierbei nicht um eine direkte Übertragung, sondern um ein kreatives Umsetzen in die Technik, d.h. um ein durch die Natur angeregtes „Neuerfinden", das in der Regel über mehrere Abstraktions- und Modifikationsschritte abläuft. Bionik ist ein hochgradig interdisziplinäres Forschungsgebiet. Bionisch forschen bedeutet, dass Fachleute aus unterschiedlichen Bereichen, beispielsweise Biologen, Chemiker, Physiker oder Ingenieure, in einem wissenschaftlichen Kontext miteinander kommunizieren und arbeiten. Je nach dem wissenschaftlichen Schwerpunkt der einzelnen Beteiligten konzentriert sich die Forschung mehr auf die biologische oder mehr auf die technische Seite der Bionik. Im internationalen (angelsächsischen) Sprachgebrauch wird in der Regel der Begriff Biomimetik (engl. biomimetics) verwendet, der aus *Bio*logy und *Mimesis* (Nachahmung) zusammengesetzt ist und inhaltlich dem deutschen Begriff Bionik entspricht (Nachtigall 1997, 2002, Speck T & Neinhuis T 2004, Speck T 2005, Speck T, Harder & Speck O 2007).

An dieser Stelle erscheint auch eine Abgrenzung zwischen Bionik und Biotechnologie als den beiden aktuell wichtigsten anwendungsnahen biologischen Forschungsrich-

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

tungen (engl.„Translational Biology") sinnvoll (Speck T & Harder 2006, Speck T, Harder & Speck O 2007).

Biotechnologie (Biotechnik) ist heute eindeutig mit mikro- und molekularbiologischen sowie biochemischen Inhalten belegt. Unter Biotechnologie versteht man die Nutzung von (genetisch veränderten) Lebewesen (Bakterien, Einzeller, Pilze, Pflanzen, Tiere) für die Produktion gewünschter Stoffe oder den Abbau unerwünschter Substanzen.

In der *Bionik* (Biomimetik) hingegen dienen Lebewesen als Ideengeber für innovative technische Umsetzungen, sind aber nicht in die Herstellung bionischer Produkte eingebunden.

Diese Definition erlaubt in den meisten Fällen, problemlos eine Unterscheidung von bionischen und biotechnologischen Projekten. Es gibt aber durchaus (einige wenige) Projekte, bei denen der Übergang zwischen Biotechnologie und Bionik fließend ist. Beispiel für ein solches Forschungsprojekt ist die Entwicklung künstlicher Spinnenseide, die momentan von verschiedenen Arbeitsgruppen, z. B. an der Oxford University und der Universität Bayreuth betrieben wird (Vollrath 1992, Speck O & Speck T 2000, Vollrath & Knight 2001, Römer & Scheibel 2007). An der Universität Bayreuth beispielsweise, ist die Herstellung des Ausgangsmaterials (Spinnenseideproteine) im Bereich der Biotechnologie angesiedelt, während die Methodik bei der Ausspinnung der Spinnfäden (mit den Spinnwarzen nachempfundenen Geräten) der Bionik zuzuordnen ist.

Neben den Möglichkeiten und dem großen Zukunftspotential der Bionik sollen auch die Grenzen der Bionik erwähnt werden, was im Folgenden anhand von vier Thesen versucht wird:

(1) Die *Bionik ist Zusatz, nicht Ersatz*. Traditionelles Konstruieren durch Ingenieure wird weiterhin die Grundlage technischer Entwicklungen bleiben. Bionik kann und soll diese etablierte und bewährte Vorgehensweise nicht ersetzen.

(2) Die *Bionik bietet Anregung, keine Patentrezepte*. In der Natur sind viele Probleme gelöst, die als analog zu technischen Problemen angesehen werden können. Die vielfältigen Lösungsvorschläge der Natur sollen als Ideenreservoir zur (Weiter-) Entwicklung von Technologien und Produkten genutzt werden.

(3) *Natürliche und technische Parallelentwicklungen sind keine Bionik*. Oftmals wurden in der Vergangenheit ohne jegliche Vorkenntnis der Natur Problemlösungen in der Technik entwickelt, die in ihrer Funktion und teilweise auch ihrer Form natürlichen Gebilden mit ähnlichen Aufgaben verblüffend ähneln. Solche Lösungsanalogien sind das Ergebnis von Parallelentwicklungen ohne wissenschaftlichen Erkenntnistransfer von der Biologie in die Technik und haben nichts mit Bionik zu tun.

(4) Die *Bionik ist nicht* per se *„ökologisch" oder „umweltverträglich"*. Nachhaltigkeit ist zwar ein intrinsisches Ziel bionischer Forschung, aber bionische Produkte können auch mit Materialien oder Materialkombinationen hergestellt werden, die keine gute Ökobilanz besitzen.

Bionik ist also weder Allheilmittel, noch wird sie die moderne Technologieentwicklung revolutionieren. Sie kann aber in vielen Technologiefeldern inspirierend und zukunftsweisend sein (Nutzung des erprobten „Ideenreservoirs der Natur") und ist ein bisher viel zu wenig genutztes Mittel, um technische Innovationen zu generieren. Dabei gibt es im Unterschied zu anderen wissenschaftlichen Fachrichtungen keine prinzipiellen ethischen Bedenken gegen die Bionik. Die positiven Effekte, wie Material- und Energieeinsparung, Effizienz, Recyclebarkeit und angemessene Lebensdauer bzw. Haltbarkeit, sprechen vielmehr für eine breite Anwendung des bionischen Ansatzes (Cerman et al. 2005, v. Gleich 2001, 2007, Nachtigall 2002, Speck T 2005, Speck T et al. 2006a, Speck T, Harder & Speck O 2007, Speck T & Neinhuis 2004).

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Ausgehend von bionischen Forschungsprojekten, die auf Pflanzen als Ideengeber basieren, wurden verschiedene Konzepte der Wissensvermittlung in Botanischen Gärten entwickelt, die sich gerade auch für eine attraktive Darstellung der Bionik unter verschiedenen Bildungsaspekten hervorragend eignen. Diese im Folgenden skizzierten Ansätze zeigen, dass Botanische Gärten nicht nur für bionische Forschungen, sondern auch als attraktive Schnittstellen zwischen Bildung und Forschung im Bereich der Bionik ein sehr hohes, bisher erst in Ansätzen genutztes Potential besitzen. Wie die Erfahrungen der Botanischen Gärten belegen, die Bionik auf die eine oder andere Art in ihr Bildungsangebot integriert haben, erweisen sich diese Angebote als „Publikumsmagnet", was auch andere Gärten zur Nachahmung anregen sollte.

3 Bionische Forschung in Botanischen Gärten – eine mehr als 150 Jahre lange Erfolgsgeschichte

Bereits seit mehr als 150 Jahren haben Beobachtungen, Untersuchungen und wissenschaftliche Erkenntnisse, die an Pflanzen aus Botanischen Gärten gewonnen wurden, die Entwicklung bionischer Projekte vorangetrieben. Eines der bekanntesten von pflanzlichen Strukturen inspirierten Bauwerke ist der von Sir Joseph Paxton anlässlich der Londoner Weltausstellung 1851 entworfene Kristallpalast. Vorbild für die nach Leichtbauprinzipien entworfene Dachkonstruktion und die untenliegenden „Paxton-Rinnen", die sowohl der Querversteifung des Daches als auch als Regenrinnen dienen, waren die Blätter der südamerikanischen Riesenseerose (*Victoria amazonica*), die Paxton in seiner Zeit als Gärtner kultiviert hatte (Coineau & Kresling 1998, Speck O & Speck T 2006).

Auch in der Gegenwart liefern Botanische Gärten mit ihrer Pflanzenvielfalt häufig Ideen für erfolgreiche bionische Entwicklungen. Das bekannteste Beispiel sind die nach dem Vorbild von selbstreinigenden Blattoberflächen, wie sie bei vielen Pflanzenarten, wie z.B. Lotusblume (*Nelumbo nucifera*), Kapuzinerkresse (*Tropaeolum* sp.) oder Kohlrabi (*Brassica oleracea* convar. *acephala* var. *gongylodes*) auftreten, von W. Barthlott & C. Neinhuis an der Universität Bonn entwickelten selbstreinigenden technischen Oberflächen. Gerade die Entdeckung des Lotus-Effects® zeigt wie wichtig die vergleichende Untersuchung pflanzlicher Merkmale, in diesem Fall der Mikromorphologie von Blattoberflächen und der Biochemie der Kutikularwachse, für bionische Entwicklungen sein kann (Barthlott & Neinhuis 1997, Cerman, Barthlott & Nieder 2005, Nachtigall 2002, Speck O et al. 2006a, Speck O, Harder & Speck T 2006a, Speck T & Neinhuis 2004, Wagner et al. 2003). Auch die unter dem Schlagwort „In Seilen denken" von C. Mattheck (Forschungszentrum Karlsruhe) für eine weitere Gewichtsoptimierung technischer Bauteile erarbeiteten Entwicklungen wurden zumindest teilweise durch Beobachtungen in Botanischen Gärten an Bananen-Blattstielen und Querwänden von Bambushalmen und durch die daran anschließenden experimentellen Untersuchungen der mechanischen Prinzipien inspiriert (Mattheck 2006, Mattheck et al. 2004, Speck O et al. 2006a). Die biomechanisch-strukturellen Untersuchungen des von den Autoren in Zusammenarbeit mit M. Milwich und T. Stegmaier (ITV Denkendorf) entwickelten „Technischen Pflanzenhalms" (Abb. 1) wurden ebenfalls großteils an Pflanzen im Botanischen Garten der Universität Freiburg durchgeführt, wo die biologischen Vorbilder - Pfahlrohr sowie verschiedene Schachtelhalm- und Bambusarten - das ganze Jahr über zugänglich sind (Milwich et a.l 2006, 2007a, 2007b, Speck O et al. 2005, Speck T et al. 2006a). Entsprechendes gilt für die in einem Kooperationsprojekt mit R. Luchsinger (EMPA Dübendorf) von der Plant Biomechanics Group Freiburg entwickelten selbstrepa-

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.



Abb. 1: Der Technische Pflanzenhalm (Mitte) ist ein strukturoptimiertes bionisches Faserverbundmaterial mit Gradientenstruktur, das hohe Steifigkeit mit sehr guter Schwingungsdämpfung und einem gutmütigen Bruchverhalten verbindet. Das Pfahlrohr (*Arundo donax*, links) und verschiedene Schachtelhalmarten (*Equisetum* sp., rechts) waren zwei der biologischen Vorbilder bei der Entwicklung des Technischen Pflanzenhalms, © Plant Biomechanics Group Freiburg & ITV Denkendorf (aus Speck T & Speck O 2007).

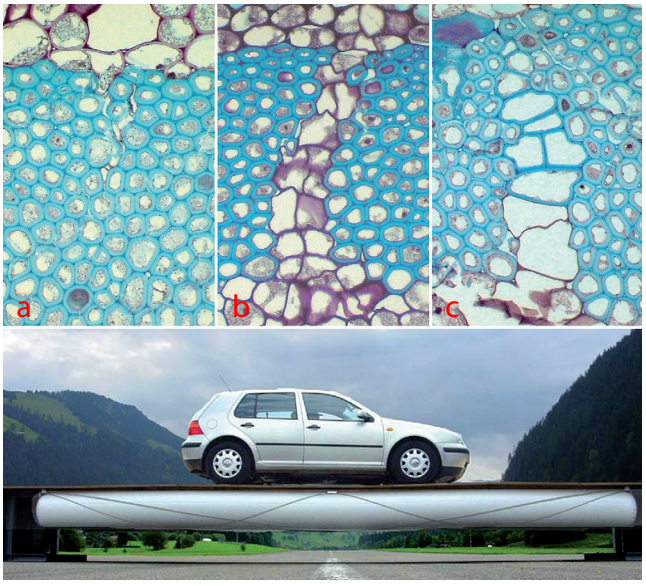


Abb. 2: Oben: Wundheilung bei der Liane *Aristolochia macrophylla* (Pfeifenwinde) von links nach rechts: (a) Neu entstandener Riss im verholzten dickwandigen Festigungsgewebe versiegelt durch eine benachbarte Parenchymzelle) (Phase I: physikalisch-chemische Vorgänge). (b) Durchlaufender Riss im Festigungsring vollständig ausgefüllt durch Parenchymzellen (Phase II & III: Zellwachstum und Zellteilung). (c) Weitgehende Wiederherstellung der mechanischen Stabilität des Festigungsrings (Phase IV: Verdickung und Verholzung der Wände der an der Rissreparatur beteiligten Zellen), © Plant Biomechanics Group Freiburg. Unten: Tensairity®-Brücke der Firmen prospective concepts ag und airlight ltd (8,5m Spannweite und 3,5 Tonnen Nutzlast). Für solche Luftdruck-stabilisierten ultraleichten Konstruktionen und andere pneumatische Strukturen wurden die selbstreparierenden bionischen Beschichtungen entwickelt, © prospective concepts ag (aus Speck T et al. 2006b).

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

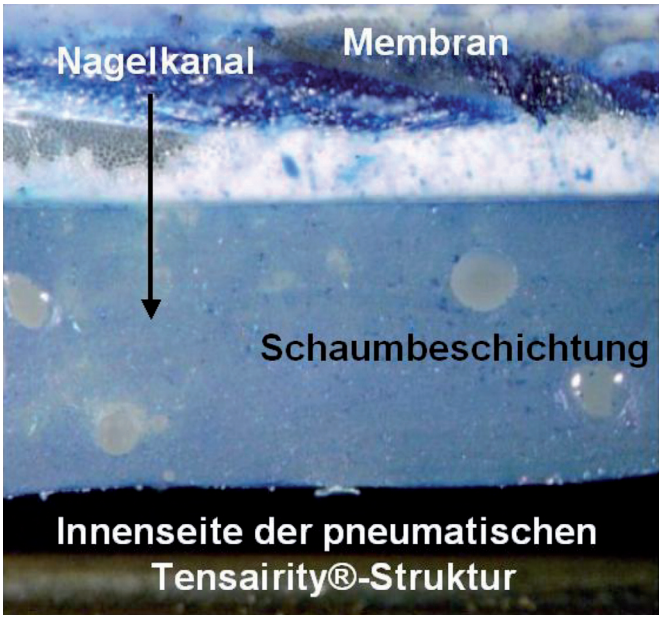


Abb. 3: Selbstreparierende Tensairity®-Membran (oben) mit einer bionischen unter zwei bar Überdruck polymerisierten Beschichtung aus Polyurethanschaum, die den durch Verletzung mit einem Nagel hervorgerufenen Nagelkanal fast völlig abdichtet, © Plant Biomechanics Group Freiburg (aus Speck T & Speck O 2007).

rierenden bionischen Beschichtungen für technische Membranen, deren biologische Vorbilder Lianen der Gattung *Aristolochia* und krautige Pflanzen sind (Abb. 2 & 3) (Busch et al. 2006, Luchsinger et al. 2007, Speck O et al. 2006b, Speck T et al. 2006b).

4 Botanische Gärten – attraktive Schnittstellen zwischen Bildung und Forschung im Bereich Bionik

Wie die Erfahrungen der letzten Jahre im Rahmen des Lebens-Langen-Lernens (L^3) bestätigen, stellen Botanische Gärten ideale Orte des Lehrens und Lernens für alle Altersgruppen dar. Es ist insbesondere die Möglichkeit der „ganzheitlichen", alle Sinne ansprechenden Vermittlung auch komplexer Wissensinhalte, die Botanischer Gärten zu außergewöhnlich attraktiven Schnittstellen zwischen Bildung, Lehre und Forschung macht. Dies gilt in besonderem Maße auch für das interdisziplinäre Forschungsfeld der Bionik, das in Botanischen Gärten häufig in sehr intensiver Weise erfahren und teilweise sogar im eigentlichen Sinne des Wortes „begriffen" werden kann. So lassen sich die hervorragenden mechanischen Eigenschaften der pflanzlichen Vorbilder des bionischen Produkts „Technischer Pflanzenhalm" an Stängeln des Pfahlrohrs und von Bambus taktil hervorragend vermitteln. Dasselbe gilt auch für die Funktionsweise selbstreinigender Pflanzenblätter, die die Inspiration für technische Lotus-Effect®-Oberflächen sind.

Für das Thema Bionik bieten sich in Botanischen Gärten verschiedene Arten der Informationspräsentation und der Wissensvermittlung an. Die wichtigsten Möglichkeiten sind im Folgenden zusammengestellt und werden an einigen aktuellen Beispielen erläutert. Es muss betont werden, dass es verschiedene Kombinationsmöglichkeiten zwischen diesen vier Grundtypen der Wissensvermittlung gibt.

1. Vorträge zum Thema Bionik mit anschließender Führung und Demonstration der pflanzlichen Vorbilder im Botanischen Garten
   Zielgruppen: Studenten, Lehrer, Entscheidungsträger aus Politik & Wirtschaft, Fachverbände, Schüler verschiedener Alterstufen (siehe auch Punkt 2: Grüne Schulen), etc.
   Auf diese sich nur durch die anschließende Gartenführung von herkömmlichen Vorträgen unterscheidende Art der

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Veranstaltung soll an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden.

2. Einfache Experimente zum Thema Bionik mit Demonstration der pflanzlichen Vorbilder und ihrer Funktionsweise im Rahmen von Veranstaltungen in den in vielen Botanischen Gärten vorhandenen „Grünen Schulen"
   Zielgruppe: Schulklassen aller Altersstufen und Schularten, Kindergartengruppen
   Auf diese sich lediglich durch die Wahl des Themas „Bionik" von herkömmlichen praxisnahen Unterrichtveranstaltungen in „Grünen Schulen" unterscheidende Veranstaltung, soll an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden. Es existieren in zunehmender Zahl für die Vorbereitung und Ausarbeitung solcher Veranstaltungen für Schulklassen und Kindergartengruppen geeignete (Schul-)Bücher, Lehr- und Lernmaterialien sowie Experimentieranleitungen zum Thema Bionik (Harder et al. 2005, Hill 2006, Speck O 2007a, 2007b, Speck O, Harder & Speck T 2006a, 2006b, Speck O & Speck T 2007, Zeuch 2006).

3. Lehrpfade oder (einzelne) Informationstafeln zum Thema Bionik
   Zielgruppen: Studenten, Gartenbesucher verschiedener Vorbildung und aller Altersstufen ab Schulkinder (Voraussetzung: Lesekompetenz)
   Lehrpfade und Informationstafeln existieren in unterschiedlicher Form und verschiedenem Ausmaß bereits in einigen Botanischen Gärten, wie z.B. Bonn, Darmstadt und Dresden sowie in der NICOL-Stiftung (Nieklitz), wobei bei letzterer der Gesamtschwerpunkt auf den Gebieten Ökotechnologie, Bionik und Naturschutz liegt. Auch der Botanische Garten Freiburg hat begonnen, im Freiland und in den Gewächshäusern an ausgewählten Pflanzenarten die Funktionsweise des biologischen Vorbilds und die Übertragung in das bionische Produkt in Form von Informationstafeln für die Gartenbesucher aufzuarbeiten. Hierbei ist geplant, die Informationstafeln durch Verwendung von Kurzbeschreibungen in Brailleschrift auch für blinde Gartenbesucher/innen lesbar zu machen. Gerade für blinde Mitbürger/innen bieten sich auch Demonstrationsversuche zur Bionik und zu den pflanzlichen Vorbildern an, da sich viele der Strukturen und Funktionen taktil erfahren lassen (siehe unten).

4. Gartenführungen mit Demonstrationsversuchen und einfachen Experimenten zum Thema Bionik
   Zielgruppe: Studenten, Gartenbesucher verschiedener Vorbildung und aller Altersstufen ab Kindergarten
   Solche Gartenführungen mit einfachen Experimenten werden seit einigen Jahren mit großem Erfolg im Botanischen Garten der Universität Freiburg angeboten. Bionikführungen mit Demonstrationsversuchen gibt es auch in den Botanischen Gärten Bonn, Dresden und Darmstadt.

5 Lehrpfade und Informationstafeln zum Thema Bionik in Botanischen Gärten

Als Beispiele sollen die in den letzen beiden Jahren neu konzipierten Bionik-Lehrpfade und Bionik-Informationstafeln in den Botanischen Gärten der TU Darmstadt und der TU Dresden dienen. Der Bionik-Lehrpfad in Darmstadt wurde in Kooperation zwischen dem Biotechnikzentrum (BitZ) an der TU Darmstadt und dem Botanischen Garten 2006 konzipiert und ist in überarbeiteter und erweiterter Form im Jahr 2008 wieder eröffnet worden. In der ursprünglichen Version wurden den Besuchern an 15 Beispielen anhand von 13 Informationstafeln und zwei

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Vitrinen pflanzliche Vorbilder und mögliche bzw. bereits verwirklichte bionische Umsetzungen gezeigt (Abb. 4 & 5). Wie die Themenauswahl zeigt (Abb. 6) wurde in der ursprünglichen Konzeption zusätzlich zu den bionischen Beispielen auch drei Beispiele (Inhaltsstoffe, direkte & indirekte Photosynthese) mit aufgenommen, die bei strenger Auslegung der Definition eher der Biotechnologie/Biochemie zuzurechnen sind (vgl. Speck T, Harder & Speck O 2007).

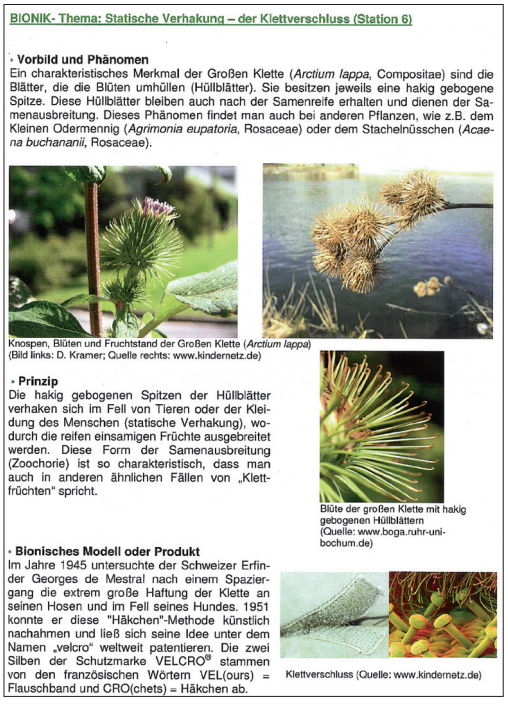


Abb. 4: Schautafel vom Bionik-Lehrpfad des Botanischen Gartens der TU Darmstadt. Diese Tafel stellt die große Klette (*Arctium lappa*) als Ideengeber für den Klettverschluss vor und erklärt die Funktionsweise des biologischen Vorbilds und des bionischen Produkts. Der Klettverschluss (Velcro®) wurde 1951 George de Maestral patentiert und stellt bis heute das wohl erfolgreichste bionische Produkt dar, © S. Schneckenburger, Botanischer Garten der TU Darmstadt.

Auch im Botanischen Garten der TU Dresden wurde 2006 mit der Entwicklung eines Bionik-Lehrpfads begonnen, der unter dem Motto „Bionik … und was steckt dahinter" steht und im Sommer 2007 eröffnet wurde.

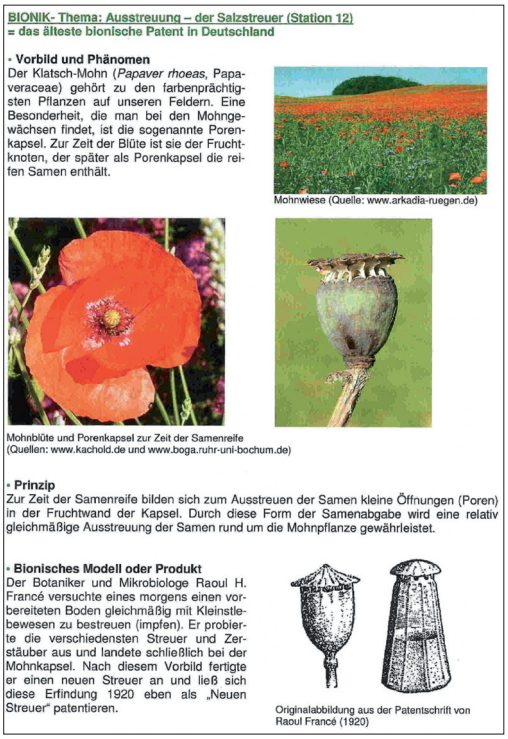


Abb. 5: Schautafel vom Bionik-Lehrpfad des Botanischen Gartens der TU Darmstadt. Diese Tafel stellt den Klatschmohn (*Papaver rhoeas*) als Ideengeber für einen bionischen Streuer vor und erläutert die Funktionsweise des biologischen Vorbilds und des bionischen Produkts. Der von Raoul Francé 1920 patentierte „Neue Streuer" stellt das erste bionische Patent in Deutschland dar. Im Gegensatz zum Salzstreuer soll bei diesem bionischen Streuer eine möglichst gleichmäßige Verteilung des Streuguts über eine Fläche erreicht werden, wie es z.B. bei der Beimpfung von Probeplatten mit Kleistlebewesen gewünscht ist, © S. Schneckenburger, Botanischer Garten der TU Darmstadt (aus Speck T & Speck O 2007).

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

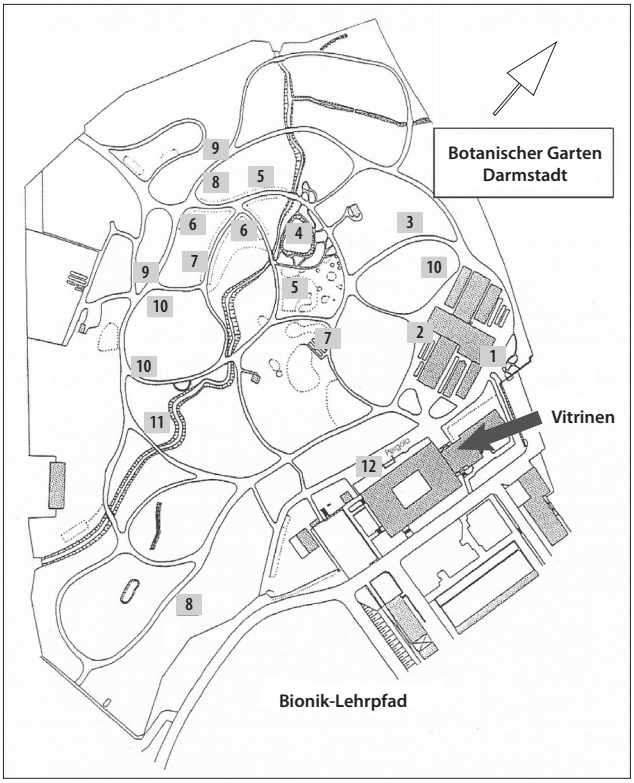


Abb. 6: Lageplan des Bionik-Lehrpfads im Botanischen Garten der TU Darmstadt mit den Standorten der fünfzehn Beispiele: (1) Indirekte Photosynthese – das Wüstenhaus, (2) Biegestabile Tragstruktur – der Fächer, (3) Inhaltsstoffe von Pflanzen, (4) Schwimmende Leichtbaukonstruktion – der Kristallpalast, (5) Verbundmaterial – Autoinnenverkleidungen, (6) Rohr-Leichtbaukonstruktion, (7) Statische Verhakung – der Klettverschluss, (8) Physische Barriere – der Stacheldraht, (9) Oberflächenstrukturen von Pflanzen – der Lotus-Effect®, (10) Formoptimierte Bauteile (Biomechanik von Bäumen), (11) Direkte Photosynthese, (12) Segelflieger, (13) Ausstreuung – der Salzstreuer = das älteste bionische Patent aus Deutschland. Die Beispiele (14) Autostabile Aerodynamik und (15) Wassertransport sind in Vitrinen ausgestellt. Die Beispiele (1), (3) und (11) sind im Grenzbereich zwischen Bionik und Biotechnologie angesiedelt, © S. Schneckenburger, Botanischer Garten der TU Darmstadt (aus Speck T & Speck O 2007).

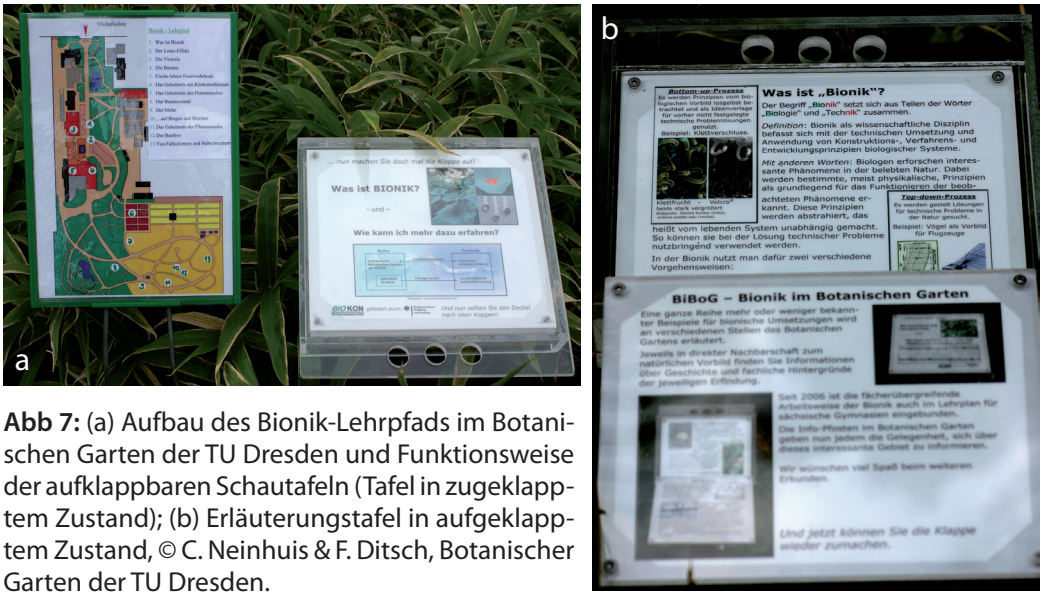


Abb 7: (a) Aufbau des Bionik-Lehrpfads im Botanischen Garten der TU Dresden und Funktionsweise der aufklappbaren Schautafeln (Tafel in zugeklapptem Zustand); (b) Erläuterungstafel in aufgeklapptem Zustand, © C. Neinhuis & F. Ditsch, Botanischer Garten der TU Dresden.

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

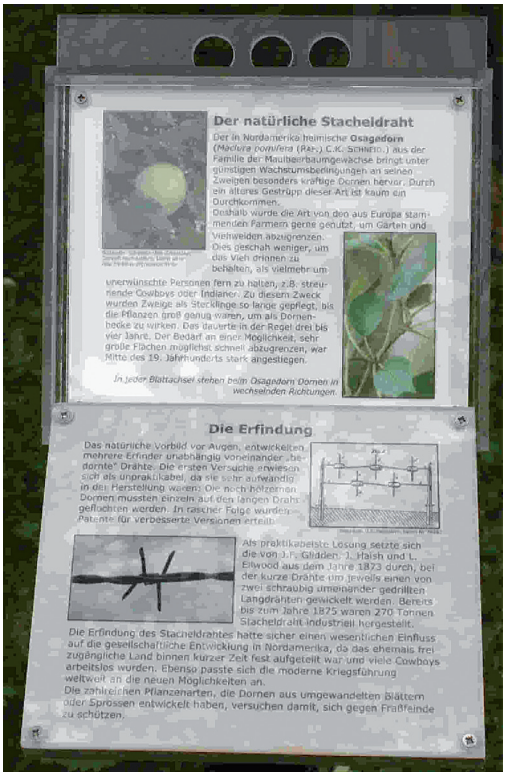


Abb. 8: Aufklappbare Schautafel vom Bionik-Lehrpfad des Botanischen Gartens der TU Dresden. Diese Tafel erläutert die Funktion der Dornen beim Osagedorn (*Maclura pomifera*), dem biologischen Vorbild, und die verschiedenen Stufen der Entwicklung des Stacheldrahts, des von dieser Pflanze inspirierten bionischen Produkts, © C. Neinhuis & F. Ditsch, Botanischer Garten der TU Dresden (aus Speck T & Speck O 2007).

Die im Rahmen eines Projekts des Bionik-Kompetenznetzes *BIO*KON II entwickelten aufklappbaren Plexiglas-Schautafeln leiten im zugeklappten Zustand in Form einer Frage das Phänomen ein, das zur Entwicklung eines bionischen Produkts führte (Abb. 7). Wenn man die Schautafeln aufklappt, wird auf der jeweils oberen Seite das biologische Vorbild und die biologische Bedeutung der für eine bionische Umsetzung interessanten Eigenschaft erläutert. Auf der unteren Seite wird die Funktionsweise beschrieben und wie es zur Entwicklung der bionischen Produkte kam. Dieser hier am Beispiel des Stacheldrahts gezeigte Aufbau „Einleitende Fragestellung - Vorbild - Funktionsweise - Produktumsetzung" ist bei allen Schautafeln beibehalten und fördert zusammen mit dem Aufklappen der Schautafeln die Neugier der Gartenbesucher und ihre interaktive Einbeziehung während des Begehens des Lehrpfads (Abb. 8). Neben der eigenständigen Nutzung der Schautafeln durch Gartenbesucher, können solche Bionik-Lehrpfade selbstverständlich auch bei Führungen, für Schul- oder Kindergartenveranstal-



Abb. 9: Eröffnung des Bionik-Lehrpfad im Botanischen Garten der TU Dresden im Sommer 2007. Prof. Dr. Christoph Neinhuis, der Direktor des Botanischen Gartens Dresden, erklärt den Besuchern anhand der Strukturen der biologischen Vorbilder die Funktionsweise des Selbstreinigungseffekts und die Übertragung in technische Produkte mit Lotus-Effect®-Oberflächen, © C. Neinhuis & F. Ditsch, Botanischer Garten der TU Dresden.

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

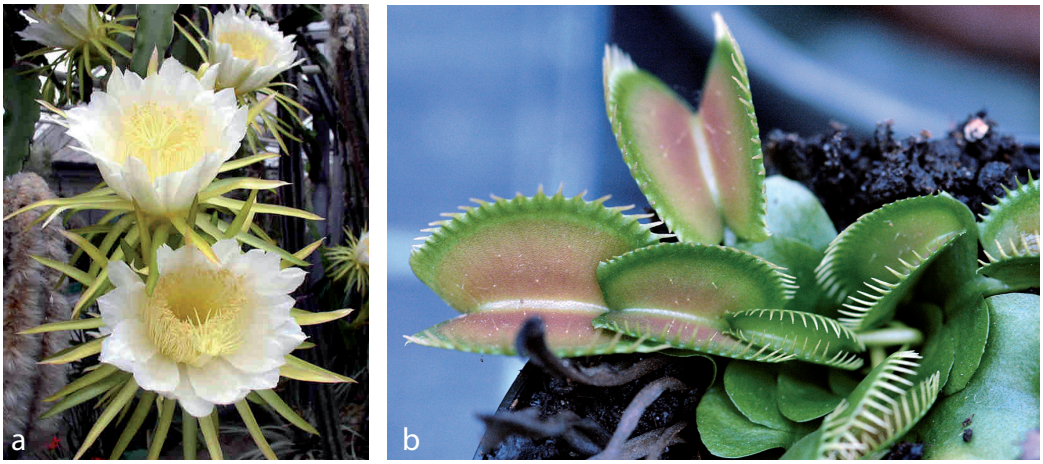


Abb. 10: Biologische Vorbilder für die Entwicklung von bionischen Kabeleinführungen mit Klappmechanismus im Rahmen eines Kooperationsprojekts der Firma Rittal und der Plant Biomechanics Group Freiburg. (a) Blüten des nachts blühenden Kaktus *Hylocereus undatus* (aus www.linz.at, 03.08.2007); (b) Blätter der Venusfliegenfalle (*Dionaea muscipula*) mit bistabilem „Klappfallen-Mechanismus", © Plant Biomechanics Group Freiburg.

tungen im Rahmen der „Grünen Schule" oder für andere Bildungsprojekte in den Botanischen Gärten genutzt werden (Abb. 9).

6 Gartenführungen zum Thema Bionik mit Demonstrationsversuchen und einfachen Experimenten

Neben den oben erwähnten Bionik-Lehrpfaden, lassen sich als weitere Möglichkeiten der Wissensvermittlung zwei Arten von Bionik-Führungen in Botanischen Gärten unterscheiden, die ohne permanent installierte Informationstafeln auskommen. Zum einen sind dies Führungen ohne Experimente, bei denen lediglich die im Rahmen von bionischen Projekten als Vorbilder genutzten Pflanzenarten und die für eine bionische Übertragung interessanten Strukturen gezeigt werden. Hierzu stellen Schaubilder zur Demonstration der daraus hervorgegangenen bionischen Produkte bzw. die bionischen Produkte selbst, eine sinnvolle Ergänzung dar.

Die zweite Möglichkeit, auf die etwas ausführlicher eingegangen werden soll, ist eine Kombination von Führung und Demonstrationsversuchen an den biologischen Vorbildern verbunden mit einfachen Experimenten an den bionischen Produkten und/oder mit einfachen und preisgünstigen mobilen Versuchsaufbauten. Eine ausführliche Beschreibung einer solchen modular aufgebauten Gartenführung mit sechs einfachen Experimenten zur Bionik und Biomechanik wurde im Rahmen der Kompetenznetze BIOKON II und Biomimetik im Botanischen Garten Freiburg erarbeitet (Speck O et al. 2006a, Speck T & Speck O 2007). Die sechs Stationen, die seit mehreren Jahren erprobt und ständig verbessert werden, beinhalten die Themen: (1) Flugsamen / Gleitflieger, (2) Mohnkapsel/ „Neuer Streuer", (3) Klettfrucht/Velcro® (Klettverschluss), (4) Lotusblume/Lotus-Effect®, (5) Pfahlrohr, Schachtelhalm/Gradientenmaterial („Technischer Pflanzenhalm") und (6) Bambus /Leichtbau („In Seilen denken"). In den nächsten Jahren sollen weitere Stationen mit Demonstrationsversuchen und einfachen für Gartenführungen geeigneten Experimenten zu verschiedenen Themen ausgearbeitet

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

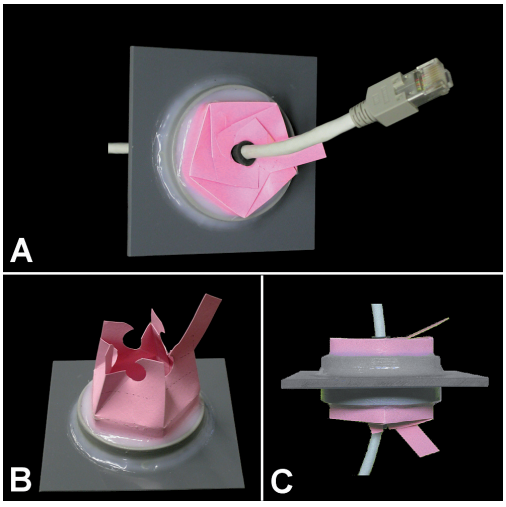


Abb.11: Von pflanzlichen Strukturen inspiriertes bionisches Kabeleinführungssystem mit Klappmechanismus und überlappenden Faltlaschen, © Plant Biomechanics Group Freiburg.

werden, wie z.B. (7) Falt-/Klappstrukturen bei Pflanzen (Fangblatt der Venusfliegenfalle (*Dionaea muscipula*), Blüten- und Blattknospen /bionische Kabeleinführungen (Masselter, Speck & Scharf 2008) (Abb. 10 & 11) oder (8) Wedelblätter von Palmen/Strukturversteifung durch bionische Faltstrukturen (Coineau & Kresling 1989, Nachtigall 2002).

An den Beispielen Lotus-Effect® und „Technischer Pflanzenhalm", einem strukturoptimierten bionischen Faserverbundmaterial mit Gradientenaufbau, soll diese Vorgehensweise kurz erläutert werden. Nach Demonstration des Selbstreinigungseffekts an den Blättern der Lotusblume (Abb. 12) sowie anderer geeigneter Pflanzenarten mit und ohne selbstreinigende Blattoberflächen folgt die Erläuterung des Funktionsprinzips anhand von Schaubildern. Als Beispiel für ein bionisches Produkt mit Lotus-Effect® werden mit herkömmlicher Fassadenfarbe und mit Lotusan® der Firma Sto gestrichene Musterplatten verwendet, an den sich der Selbstreinigungseffekt hervorragend zeigen lässt (Abb. 13) (Cerman, Barthlott & Nieder 2005, Speck O et al. 2006a, Speck T & Speck O 2007).

Eine ausgeprägte Schwingungsdämpfung und das Leichtbauprinzip sind zwei Eigen-



Abb. 12: Demonstrationsversuch zum Lotus-Effect® an einem selbstreinigenden Blatt der namengebenden Lotusblume (*Nelumbo nucifera*) im Botanischen Garten der Universität Freiburg. Vom Blatt der Lotusblume fließt Wasser aufgrund der mikrostrukturierten, hydrophoben Oberfläche rückstandsfrei ab und nimmt vorhandene Schmutzpartikel und Pilzsporen mit, © Plant Biomechanics Group Freiburg (aus Speck O et al. 2006a).

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

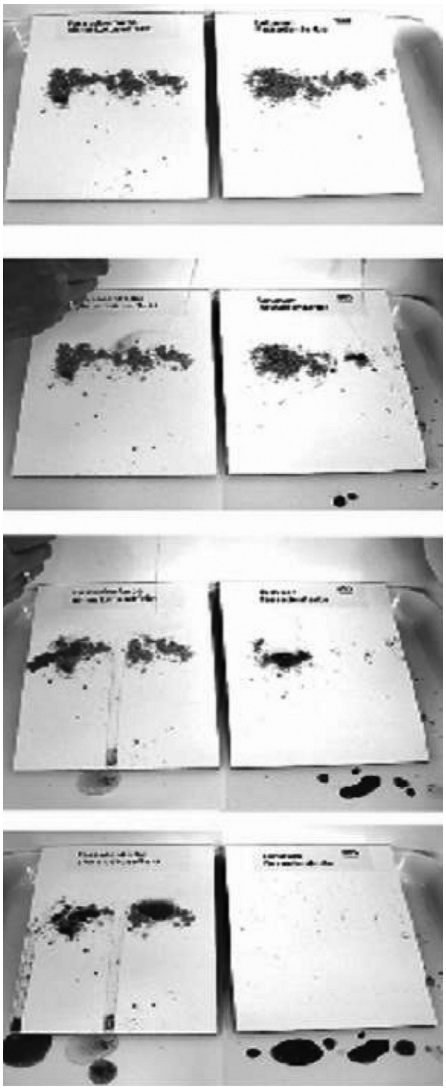


Abb. 13: Demonstrationsversuch zum Lotus-Effect© bei der bionischen Fassadenfarbe StoLotusan® (rechts) der Firma Sto im Vergleich zu einer herkömmlichen Fassadenfarbe ohne Selbstreinigungseffekt (links). Deutlich erkennt man, dass bei der Fassadenfarbe mit Lotus-Effect© der Schmutz vollständig vom Wasser abgewaschen wird, während die herkömmliche Fassadenfarbe bei gleicher Behandlung verschmutzt bleibt, © Plant Biomechanics Group Freiburg (aus Speck O et al. 2006a).

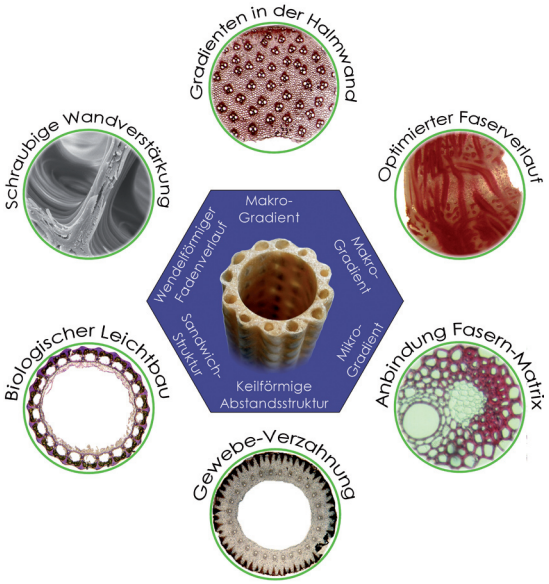


Abb. 14: Pflanzliche Vorbilder und die von ihnen inspirierten Funktionen, die bei der Entwicklung des Technischen Pflanzenhalms, eines strukturoptimierten bionischen Faserverbundmaterials mit Gradientenstruktur berücksichtigt wurden. (1) Makrogradient – Gradienten in der Halmwand: Halmstruktur von Pfahlrohr (*Arundo donax*) und verschiedenen Bambusarten (z.B. *Phyllostachys pubescens, Dendrocalamus giganteus*), (2) Makrogradient – Optimierter Faserverlauf in der Halmwand des Pfahlrohrs (*Arundo donax*), (3) Mikrogradient – Anbindung Faser-Matrix: Halmstruktur des Pfahlrohrs (*Arundo donax*), (4) Keilförmige Abstandsstruktur – Gewebeverzahnung: Halmstruktur des Brasilianischen Riesenschachtelhalms (*Equisetum giganteum*), (5) Sandwichstruktur – Biologischer Leichtbau - Funktionskanäle: Wandstruktur des Winterschachtelhalms (*Equisetum hyemale*), (6) Wendelförmiger Fadenverlauf – Schraubige Wandverstärkung: Zellwandultrastruktur von Nadelholz-Tracheiden, © Plant Biomechanics Group Freiburg (aus Speck O et al. 2005).

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

schaften, die inspiriert von den verschiedenen pflanzlichen Vorbildern im „Technischen Pflanzenhalm" umgesetzt wurden (Abb. 14). An Bambus- oder Pfahlrohrhalmen lassen sich Versuche zu den verschiedenen Arten der Schwingungsdämpfung (im Bestand, isoliert, mit bzw. ohne Blätter und Äste) einfach im Freiland oder in den Gewächshäusern eines Botanischen Gartens durchführen (Abb. 15). An Querschnitten der Halme und einem Modell der hierarchischen Gradientenstruktur der Halmwand (Abb. 16) können die strukturellen Grundlagen der Energiedämpfung erläutert werden und die Frage, wie durch Übereinanderlagerung mehrerer einfacher Gradienten komplexe Strukturen entstehen, diskutiert werden (Abb. 17). Das Leichtbauprinzip und die Idee zu den im „Technischen Pflanzenhalm" verwirklichten Funktionskanälen werden am biologischen Ideengeber (Querschnitte durch Stängel von Winterschachtelhalm, Pfahlrohr und Bambus) und am bionischen Produkt demonstriert (vgl. auch Abb. 1) (Harder, Speck & Speck 2006, Speck O et al. 2005, 2006a, Speck O, Harder & Speck T 2006a, Speck T & Speck O 2007).



Abb. 15: Vier Meter hoher Bestand des Pfahlrohrs (*Arundo donax*) im Botanischen Garten der Universität Freiburg. Das Pfahlrohr war einer der biologischen Ideengeber bei der Entwicklung des Technischen Pflanzenhalms, © Plant Biomechanics Group Freiburg (aus Speck T & Speck O 2007).

7 Abschlussbetrachtung und Diskussion

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Botanische Gärten ein hohes, bis heute allerdings erst in Ansätzen genutztes Potential für innovative bionische Forschung und als attraktive Schnittstellen zwischen Forschung und universitärer Lehre sowie schulischer und außerschulischer Bildung besitzen. Insbesondere in den letzten Jahren wird durch einige neue bionische Entwicklungen, die auf Untersuchungen in Botanischen Gärten aufbauen, die Bedeutung dieser Institutionen für die bionische For-

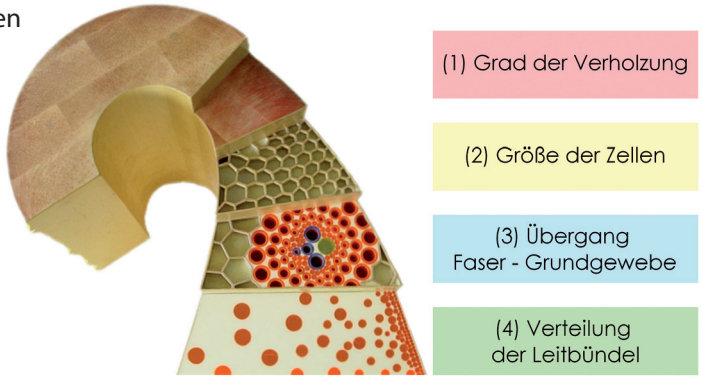


Abb. 16: Modell der hierarchischen Gradientenstruktur in der Halmwand verholzter Gräser wie Bambus und Pfahlrohr, © Plant Biomechanics Group Freiburg (aus Speck O et al. 2005).

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

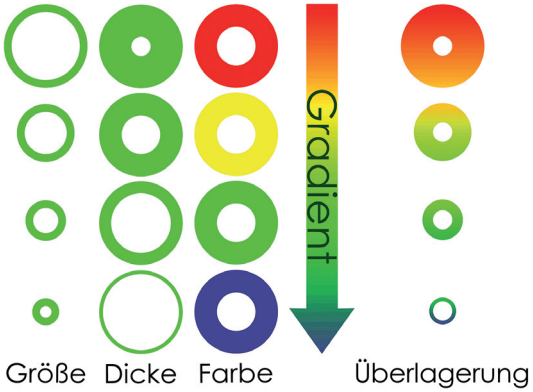


Abb 17: Schemazeichnung, die die Entstehung komplexer Gradientenstrukturen durch die Überlagerung einfacher Einzelgradienten erläutert. Die Einzelgradienten betreffen Zellgröße, Zellwanddicke und Zellwand-Verholzung (letztere dargestellt durch unterschiedliche Farben). Komplexe Gradienten finden sich in vielen mechanisch beanspruchten Pflanzenstrukturen, wie z.B. in den Halmen von Pfahlrohr und Bambus, © Plant Biomechanics Group Freiburg.

schung zunehmend wahrgenommen. Im Gegensatz dazu wird das Potential Botanischer Gärten für eine qualitativ hochstehende universitäre Lehre sowie für den schulischen und vor allem den außerschulischen Bildungsbereich erst langsam erschlossen. Die hier vorgestellten Möglichkeiten Bionik im Bildungsangebot Botanischer Gärten zu verankern, sollen helfen, die in Botanischen Gärten teilweise vorhandenen „Berührungsängste" mit dieser relativ neuen, interdisziplinären Forschungsrichtung zu überwinden. Die aufgeführten Beispiele sollen zeigen, wie auch mit geringen finanziellen Mitteln attraktive Bildungsangebote zum Thema Bionik realisiert werden können und sie sollen vor allem auch zur Nachahmung anregen.

Dank. Unser Dank gilt Herrn PD Dr. Stefan Schneckenburger (TU Darmstadt), Herrn Prof. Dr. Christoph Neinhuis & Herrn Dr. Fred Ditsch (TU Dresden) für die Erlaubnis Fotografien der Bionik-Lehrpfade in Darmstadt und Dresden für diesen Artikel verwenden zu dürfen. Ihnen sowie Frau Dr. Friederike Gallenmüller und Dr. Tom Masselter (Botanischer Garten der Universität Freiburg) danken wir außerdem für interessante Diskussionen zum Thema Bionik in Botanischen Gärten. Frau Veronika Wähnert sei für die kritische Durchsicht des Manuskripts gedankt. Die vorgestellten Konzepte wurden im Rahmen der Kompetenznetze *BIO*KON e.V. und Biomimetik erarbeitet; dem BMBF und dem MWK Baden-Württemberg sei für die finanzielle Unterstützung herzlich gedankt.

Literatur

Barthlott, W. & Neinhuis, C. (1997): Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces. - Planta 202: 1-8.

Barthlott, W., Rauer. G., Ibisch, P.L., v. den Driesch, M. & Lobin, W. (1999): Biodiversität und Botanische Gärten. – In: Bundesamt für Naturschutz (ed.), Botanische Gärten und Biodiversität - Erhaltung biologischer Vielfalt durch Botanische Gärten und die Rolle des Übereinkommens über die biologische Vielfalt (Rio de Janeiro, 1992): 1-24. - Landwirtschaftsverlag: Münster.

Busch, S., Speck, T., Liszkay, A., Speck, O. & Luchsinger, R. (2006): Self-repair processes in plants as concept generators for innovative biomimetic technical materials with self-repairing functions. - In: Salmen, L. (ed.), Proceedings of the 5th International Plant Biomechanics Conference Vol. I: 83-88. - Stockholm, STFI Packforsk AB: Stockholm.

Cerman, Z., Barthlott, W. & Nieder, J. (2005): Erfindungen der Natur. Bionik - Was wir von Pflanzen und Tieren lernen können. 281 S. Rowohlt: Reinbek.

Coineau, Y. & Kresling, B. (1989): Erfindungen der Natur: Bionik - Die Technik lernt von Tieren und Pflanzen. 101 S. - Tessloff: Nürnberg, Hamburg.

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Denkschrift der Botanischen Gesellschaft e.V. (2003): Aufbruch ins 21. Jahrhundert: Die Botanischen Gärten Deutschlands – Aufgaben, Ziele , Ressourcen. 31. S. – Deutsche Botanische Gesellschaft e.V.: Berlin.

v. den Driesch, M. & Lobin, W. (2001a): Botanische Gärten und Erhaltung biologischer Vielfalt - ein Erfahrungsaustausch. Referate und Ergebnisse des gleichlautenden Workshops in Georgien vom 23.- 28. Mai 1999. 153 S. - Landwirtschaftsverlag: Münster.

v. den Driesch, M. & Lobin, W. (2001b): Botanische Gärten und ihre Rolle im Naturschutz. - Mitt. Bad. Landesver. Naturkunde Naturschutz 17: 895-902.

v. den Driesch, M., Lobin W. & Neinhuis, C. (2007): Botanische Gärten und Biodiversität: Möglichkeiten und Grenzen. - In: Roscher, K., Engelschall, B., Hethke, M. & Wöhrmann, F. (eds.), Paragraph trifft Publikum. Tagungsband der 9. Fortbildung der AG Pädagogik im Verband Botanischer Gärten e.V., Tharandt (2005): 6-12. - Selbstverlag Forstbotanischer Garten Tharandt der Tu Dresden: Tharandt..

v. Gleich, A. (ed.) (2001): Bionik - Ökologische Technik nach dem Vorbild der Natur? - 2. Aufl., Teubner: Stuttgart.

v. Gleich, A. (2007): Berechtigung und Reichweite des‚bionischen Versprechens'. – In: Kesel, A.B. & Zehren, D. (eds.), Bionik: Patente aus der Natur, Tagungsbeiträge zum 3. Bionik-Kongress in Bremen: 184-193. Bionik-Innovations-Centrum (B-I-C): Bremen.

v. Gleich, A., Pade, C., Petschow, U. & Pissarskoi, E. (2007): Bionik – Aktuelle Trends und zukünftige Potentiale. 234 S. - ASCO STURM Druck: Bremen.

Harder, D.L., Gallenmüller, F., Speck, O., Steinbrecher, T. & Speck, T. (2005): Interdisziplinäre Arbeitsweise der Biomechanik und Bionik am Beispiel der Wasserleitfähigkeit bei Holzpflanzen. - Praxis der Naturwissenschaften - Biologie, 8/54: 43-46.

Harder, D.L., Speck, O. & Speck, T. (2006): Material und Struktur (Kap. 3.1). – In: Hill, B. (ed.) Bionik - Lernen von der Natur. Natur-Mensch-Technik: 35-39. - Duden Paetec. Berlin-Frankfurt.

Herrel, A., Rowe, N.P. & Speck, T. (eds.) (2006): Ecology and biomechanics: A mechanical approach to the ecology of animals and plants. 334 S. - Dekker Publishers/Taylor & Francis Group: Boca Raton.

Hill, B. (ed.) (2006): Bionik (2006): Bionik - Lernen von der Natur. Natur-Mensch-Technik. 96 S. - Duden Paetec: Berlin-Frankfurt.

Klingenstein, F., v. den Driesch, M., Lobin, W., Schwerdtfeger, M., Gerlach, G., Melzheimer, V., Pietzerka, U. & Schmidt, K. (2002): Erstes Verzeichnis bedeutender Lebendsammlungen von Pflanzen in Deutschland, Österreich und der Schweiz. 157 S. - Landwirtschaftsverlag: Münster.

Luchsinger, R., Speck, T., Créttol, R. & Speck, O. (2007): Selbstreparierende pneumatische Strukturen. - In: Brickwedde, F., Erb, R., Lefèvre, J. & Schwake, M.(eds.), Bionik und Nachhaltigkeit – Lernen von der Natur (12. Internationale Sommerakademie St. Marienthal): 36-47. Erich Schmidt Verlag, Berlin.

Mägdefrau, K. (1992): Geschichte der Botanik - Leben und Leistung großer Forscher. 380 S.- 2. Aufl., Fischer: Stuttgart, Jena, New York.

Masselter, T., Scharf, U. & Speck, T. (2008): Plants and animals as concept generators for the development of biomimetic cable entry systems.- Journal of Bionic Engineering 5: 167-173.

Mattheck, C. (2006): Verborgene Gestaltgesetze der Natur - Optimalformen ohne Computer. 126 S. - Forschungszentrum Karlsruhe: Karlsruhe.

Mattheck, C., Kappel, R., Tesari, I. & Kraft, O. (2004): In Seilen denken. - Konstruktionspraxis 9: 26-29.

Milwich, M., Speck, T., Speck, O., Stegmaier, T. & Planck, H. (2006): Biomimetics and technical textiles: solving engineering problems with the help of nature's wisdom. - American Journal Botany 93: 1295-1305.

Milwich, M., Planck, H., Speck, T. & Speck, O., Stegmaier (2007a): Der technische Pflanzenhalm: ein bionisches Schmaltextil. - Melliand Textilberichte – Band- und Flechtindustrie, 44/2: 34-38.

Milwich, M., Speck, T., Speck, O., Stegmaier, T. & Planck, H. (2007b): Technischer Pflanzenhalm - bionisch optimierte Faserverbundmaterialien mit Gradientenstruktur. - In: Brickwedde, F., Erb, R., Lefèvre, J. & Schwake, M.(eds.), Bionik und Nachhaltigkeit - Lernen von der Natur (12. Internationale Sommerakademie St. Marienthal): 125-136. Erich Schmidt Verlag: Berlin.

Müller, G.K. (1991): Zur Geschichte Botanischer Gärten. - Der Palmengarten 55/1: 27-37.

Mutke, J. & Barthlott, W. (2007): Biodiversität und ihre Veränderungen im Rahmen des globalen Umweltwandels. - In: Lanzerath, D., Barthlott,

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

W., Mutke, J. Spranger, T.M., Baumgärtner, S. & Becker, C. (eds.), Ethik in den Biowissenschaften, Sachstandsberichte des DRZE 5. Biodiversität: im Druck. Verlag Karl Alber.

Nachtigall, W. (1997): Vorbild Natur. Bionik-Design für funktionelles Gestalten. 161 S. - Springer: Heidelberg.

Nachtigall, W. (2002): Bionik. 492 S. - 2. Aufl., Springer: Heidelberg.

Oertel, D. & Grunwald, A. (2006): Potentiale und Anwendungsperspektiven der Bionik. - Büro für Technologiefolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, TAB-Arbeitsbericht 108: 1-176.

Rauer, G., v. den Driesch, M., Ibisch, P.L., Lobin, W. & Barthlott, W. (2000): Beitrag der Deutschen Botanischen Gärten zur Erhaltung der biologischen Vielfalt und genetischer Ressourcen – Bestandsaufnahme und Entwicklungskonzept. 246 S.. - Landwirtschaftsverlag: Münster.

Raven, P.H. (1981): Research in Botanical Gardens. – Botanisches Jahrbuch Systematik 102: 53-72.

Römer, L. & Scheibel, T. (2007): Herstellung und Anwendung von Spinnenseide. - In: Kesel, A.B. & Zehren, D. (eds.), Bionik: Patente aus der Natur, Tagungsbeiträge zum 3. Bionik-Kongress in Bremen: 130-139. Bionik-Innovations-Centrum (B-I-C): Bremen.

Schmidt, L. (1997): Die Botanischen Gärten in Deutschland. 320 S., - Hoffmann & Campe: Hamburg.

Speck. O. (2007a): Bionik - Lernen von der Natur (Kap. 10). In: Netzwerk Naturwissenschaft und Technik: 182-193. - Schroedel Verlag: Braunschweig.

Speck, O. (2007b): Fachübergreifende Versuche zur Bionik in Schulen. - In: Brickwedde, F., Erb, R., Lefèvre, J. & Schwake, M.(eds.), Bionik und Nachhaltigkeit – Lernen von der Natur (12. Internationale Sommerakademie St. Marienthal): 174-182. Erich Schmidt Verlag, Berlin.

Speck, O., Harder, D., Mattheck, C., Kappel, R., Tesari, I. & Speck, T. (2006a): Von Pflanzen lernen für die Technik: Einfache Experimente zur Bionik und Biomechanik in Botanischen Gärten. - Der Palmengarten 70/2: 91-100.

Speck, O., Harder, D.L. & Speck, T. (2006a): Studienbrief Bionik: Die Entwicklung bionischer Produkte. - Fernstudium NWT. 27 S. Fernstudienzentrum der Universität Karlsruhe: Karlsruhe.

Speck, O., Harder, D.L. & Speck, T. (2006b): Interdisziplinäre Arbeitsweise der Biomechanik und Bionik am Beispiel der Materialprüfung am Lego®-Pendelschlagwerk. - Praxis der Naturwissenschaften - Biologie, 1/55: 43-45.

Speck, O., Luchsinger, R., Busch, S., Rüggeberg, M. & Speck, T. (2006b): Self-repairing membranes for pneumatic structures: transferring nature's solutions into technical applications. - In: Salmen, L. (ed.), Proceedings of the 5th International Plant Biomechanics Conference Vol. I: 115-120. Stockholm, STFI Packforsk AB: Stockholm.

Speck, O., Milwich. M., Harder, D.L. & Speck, T. (2005): Vom biologischen Vorbild zum marktreifen bionischen Produkt: der „technische Pflanzenhalm". – Museo 22: 96-103.

Speck, O. & Speck, T. (2000): Der Seidenfaden: Struktur, Biochemie und Mechanik - Teil 1 & 2. - Praxis der Naturwissenschaften - Biologie, 4/49: 43-47 (Teil 1) & 5/49: 39-45 (Teil 2).

Speck, O. & Speck, T. (2006): Eine Fundgrube für die Bionik – Wunderwelt Pflanzen. - In: Blüchel, K.G. & Malik, F. (eds.), Faszination Bionik - Die Intelligenz der Schöpfung: 322-335. Malik Management Zentrum St. Gallen & Bionik Media GmbH: München.

Speck, O. & Speck, T. (2007): Fachübergreifende Schulversuche zum Thema Bionik. - In: Kesel, A.B., Zehren, D. (eds.), Bionik: Patente aus der Natur, Tagungsbeiträge zum 3. Bionik-Kongress in Bremen: 148-156. Bionik-Innovations-Centrum (B-I-C): Bremen.

Speck, T. (2000): Botanischer Garten. - In: Lexikon der Biologie, Band 3: 142. Spektrum Akademischer Verlag: Heidelberg.

Speck, T. (2005): Bionik - Rezepte aus dem Kochbuch der Natur. - In: Freudig, D. (ed.), Faszination Biologie: 122-142. Elsevier GmbH / Spektrum Akademischer Verlag: München.

Speck, T. & Harder, D. (2006): Bionik oder Biomimetik - Nach dem Vorbild der Natur. - In: Harder, D. [ed.], BIOKON Bionik-Kompetenz-Netz - Biologische Prinzipien kreativ in die Technik übertragen: 4-6. - BIOKON e.V. Bionik-Kompetenz-Netz: Berlin.

Speck, T., Harder, D., Milwich, M., Speck, O. & Stegmaier, T. (2006a): Bionik: Die Natur als Innovationsquelle. In: Knecht, P. (ed.), Technische Textilien: 83-101. Deutscher Fachverlag: Frankfurt.

Speck, T., Harder, D. & Speck, O. (2007): Gradientenwerkstoffe und Selbstreparatur: von der Biologie lernen für die Technik. - In: Kunststoffe im Automobilbau: 1-14. VDI Wissensforum, IWB GmbH, VDI-Gesellschaft Kunststofftechnik, VDI Verlag GmbH: Düsseldorf.

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Speck, T., Luchsinger, R., Busch, S., Rüggeberg, M. & Speck, O. (2006b): Self-healing processes in nature and engineering: self-repairing biomimetic membranes for pneumatic structures. - In Brebbia, C.A. (ed.), Design and Nature III: 105-114. WIT Press: Southampton.

Speck, T. & Neinhuis, T. (2004): Bionik, Biomimetik - ein interdisziplinäres Forschungsgebiet mit Zukunftspotential. – Naturwissenschaftliche Rundschau, 57/4: 177-191.

Speck, T., Rowe, N.P., Civeyrel, L., Claßen-Bockhoff, R., Neinhuis, C. & Spatz, H.-C. (2003): The potential of plant biomechanics in functional biology and systematics. – In: Stuessey, T., Hörandl, F. & Mayer, V. (eds.), Deep Morphology: Toward a Renaissance of Morphology in Plant Systematics: 241-271. Koeltz: Königstein.

Speck, T. & Speck, O. (2007): Bionik in Botanischen Gärten: Ein Bildungsangebot von 8 bis 80. - In: A.B. Kesel & D. Zehren (eds.), Bionik: Patente aus der Natur, Tagungsbeiträge zum 3. Bionik-Kongress in Bremen: 157-170. Bionik-Innovations-Centrum (B-I-C): Bremen.

Vogellehner, D. unter Mitarbeit von Stahmer, E.-M.. Heneka, B. & Traut, S. (1996): Botanischer Garten der Universität Freiburg 1620 - 1995: Entwicklungen, Zusammenhänge, Dokumente. - Schriften der Universitätsbibliothek Freiburg 22: 1-164.

Vollrath, F. (1992): Die Seiden und Netze von Spinnen. - Spektrum der Wissenschaft, 1992/5: 82-89.

Vollrath, F. & Knight, P.D. (2001): Liquid crystalline spinning of spider silk. - Nature, 410: 541-548.

Wagner, P., Fürstner, R., Barthlott, W. & Neinhuis, C. (2003): Quantitative assessment to the structural basis of water repellency in natural and technical surfaces. Journal Experimental Biology 54: 1295-1303.

Wyse-Jackson, P. (2002): An international review of the ex situ plant collection of the Botanic Gardens of the world. – Botanic Gardens Conservation international (BGCI): Kew, UK.

Zeuch, M. (2006): Das will ich wissen Bd. 122 - Bionik. 48 S. - Tessloff: Nürnberg.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Osnabrücker Naturwissenschaftliche Mitteilungen

Jahr/Year: 2008

Band/Volume: 33-34

Autor(en)/Author(s): Speck Thomas, Speck Olga

Artikel/Article: Bionik: Interdisziplinäre Forschung und Bildung in Botanischen Gärten 157-175