



Bionik und Bildung im Botanischen Garten Freiburg



universität freiburg

Botanischer Garten der Universität Freiburg
Schänzlestraße 1
79104 Freiburg
Tel.: 0761 203-2872
Fax.: 0761 203-2880
www.botanischer-garten.uni-freiburg.de

Öffnungszeiten:

Freiland	Täglich	08:00 bis 18:00 Uhr
Gewächshäuser	Montag bis Donnerstag Sonn- und Feiertag	11:00 bis 15:30 Uhr 14:00 bis 16:00 Uhr (Letzter Einlass jeweils 15:45 Uhr)

universität freiburg

Inhalt

Botanische Gärten – Orte des Lernens, Forschens und Entspannens	4
Der Botanische Garten Freiburg im Wandel der Aufgaben und Forschungsthemen	5
<i>Der erste Garten – Ein reiner Medizinalgarten</i>	5
<i>Der zweite Garten – Eine wissenschaftliche Institution</i>	6
<i>Der dritte Garten – Ort der Forschung und Erbauung</i>	7
<i>Der vierte Garten – Schaufenster der Forschung</i>	7
Botanische Gärten – Schatzkästchen der Bionik	10
Lebenslanges Lernen in Botanischen Gärten	11
<i>Bionik = Von der belebten Natur für die Technik lernen</i>	12
<i>Erfolgsgeschichten der Bionik</i>	14
Bionik – Was ist das?	15
Lotus-Effect® – Sauber wie ein Lotusblatt	16
Stacheldraht – Wehrhaft wie Pflanzen	18
Klettverschluss – Haften ohne Klebstoff	20
Technischer Pflanzenhalm – Stabil und leicht	22
Neuer Streuer – Präzise und patent	24
Selbstreparatur – Kein Privileg der Natur	26
Fassadenverschattung – Beweglich ohne Gelenke	28
Literatur zum Weiterlesen	30

Botanische Gärten – Orte des Lernens, Forschens und Entspannens

Botanische Gärten sind umfriedete Räume, die im Gegensatz zur wilden Natur draußen, nach den Vorstellungen der Menschen geformt werden können. Hier soll ein Paradies auf Erden geschaffen werden, das die Vielfalt und Schönheit in den Garten holt mit dem Ziel eines gelenkten Aufeinandertreffens der Menschen mit der lebenden Natur (Vogellehner 1996).

Seit der Gründung der ersten Botanischen Gärten haben diese eine zentrale Rolle bei der Weitergabe botanischem Wissens gespielt. Es begann mit der Anzucht von Heilkräutern, die Studierenden der Medizin und Pharmazie das Studium der Pflanzen ermöglichte. Erst später wurden die Botanischen Gärten für alle Besucher geöffnet. Heute werden Botanische Gärten vom Verband Botanischer Gärten e.V. als öffentliche Institutionen bezeichnet, die dokumentierte lebende Pflanzensammlungen kultivieren, um Aufgaben in der wissenschaftlichen Forschung und Lehre, der Bildung, der nachhaltigen Sicherung pflanzlicher Vielfalt sowie der Kultur zu erfüllen. Insbesondere in Botanischen Gärten, die Universitäten angeschlossen sind, haben sich im Laufe der Jahre neben den Aufgaben auch die Forschungsinhalte geändert.

Zu den ältesten Botanischen Gärten zählen die 1545 gegründeten Gärten in Pisa und Padua. Letzterer gehört zur Universität Padua und befindet sich noch heute an seinem Originalstandort. Neben der Anzucht von Heilpflanzen war der Garten schon damals ein Ort der Bildung, der den Studierenden Anschauungsmaterial zur Verfügung stellte. Nach Leipzig (1580), Jena (1586), Heidelberg (1597) und Gießen (1609) wurde im Jahr 1620 der Botanische Garten der Universität Freiburg gegründet. An seinem Originalstandort in der Neuburg im Bereich des heutigen Stadtgartens wurde er als „Hortus Medicus“ angelegt, später als systematischer Garten am Fluss Dreisam in die Nähe der heutigen Kronenbrücke verlegt, wo er unter anderem wegen zahlreicher Überschwemmungen aufgegeben werden musste. Der dritte Botanische Garten wurde dann im

heutigen Institutsviertel als Gartenanlage mit modernen Gewächshäusern, System und Arboretum angelegt und stand erstmals nicht nur den Universitätsangehörigen, sondern auch der Öffentlichkeit zur Verfügung. Noch heute stehen hier viele alte Bäume aus der Zeit, als die Grünfläche zwischen den Institutsgebäuden der Chemie und Physik ein Botanischer Garten war. Im Zusammenhang mit dem Bau des Institutsgebäudes der Biologie zog der Botanische Garten dann an seinen heutigen Standort in Herdern um. Hier wurde er ab 1912, dem Zeitgeist des Reisens in fremde Länder entsprechend, als pflanzengeographischer Garten angelegt, der zunehmend auch exotische Pflanzen kultivierte.

Der Botanische Garten Freiburg im Wandel der Aufgaben und Forschungsthemen

Die ersten Botanischen Gärten mit universitärer Anbindung hatten – wie bereits erwähnt – ihren Ursprung in der Medizin bzw. Pharmazie mit dem Schwerpunkt auf das Studium der Heil-, Gift und Kräuterpflanzen. Als im Laufe des 19. Jahrhunderts die Naturwissenschaften sowohl an den Universitäten als auch in der Öffentlichkeit immer mehr an Bedeutung gewannen, übernahmen die Botanischen Gärten auch die Rolle von öffentlichen Bildungseinrichtungen und Orten der Entspannung für ihre Besucher. Dieser Wandel der Aufgaben und Forschungsinhalte lässt sich auch für den Botanischen Garten Freiburg anhand der Forschungsrichtungen seiner Direktoren nachzeichnen.

Der erste Garten – Ein reiner Medizinalgarten

Die Medizinische Fakultät der Universität Freiburg legte unter ihrem ersten Direktor Jacobus Walter, Professor der Medizinischen Fakultät, einen Medizinalgarten an und beschrieb dessen Funktion folgendermaßen: „... Professor [...] Walter [...] soll bei Gelegenheit die Studenten zum öffent-

lichen Garten der medizinischen Fakultät [...] führen.“ (zitiert nach Wagner 2007). Durch den Dreißigjährigen Krieg und den Bau der Festungsanlage Vauban durch die Franzosen im Jahr 1677 wurde der Garten völlig zerstört.

Der zweite Garten – Eine wissenschaftliche Institution

Im Jahr 1766 wurde unter Franz Josua Lambert Baader, Professor für Botanik und Chemie an der Medizinischen Fakultät, ein neuer Garten am Fluss Dreisam angelegt. Inspiriert durch den Aufschwung der Naturwissenschaften im Allgemeinen und der Botanik im Besonderen entstand ein systematischer Garten, mit dem Ziel, die Verwandtschaftsbeziehungen der Pflanzen anhand morphologischer Merkmale darzustellen. 1768 übernahm Franz Joseph Anton Lipp den Lehrstuhl für Botanik und Chemie sowie die Leitung des Botanischen Gartens. Lipp gilt aufgrund seines großen Engagements als der eigentliche Begründer des zweiten Gartens. Im Jahr 1770 wurden etwa 800 Pflanzenarten kultiviert, die er größtenteils selbst auf Exkursionen gesammelt hatte. Lipps Nachfolger, Franz Ignaz Menzinger, übernahm nach seinem Medizinstudium den Lehrstuhl für Botanik und Chemie sowie die Direktion des Gartens. Unter seiner Leitung wurde der Garten umstrukturiert und der Pflanzenbestand auf über 2000 Arten erweitert. Noch war der Botanische Garten keine eigenständige Forschungseinrichtung, sondern eine Lehrereinrichtung für angehende Ärzte und Apotheker. Dies änderte sich unter Karl Julius Perleb und Friedrich Karl Leopold Spenner, die den Garten in eine eigenständige wissenschaftliche Institution mit den Schwerpunkten Pflanzensystematik und Pflanzengeografie verwandelten. 1829 übernahm Karl Julius Perleb, Professor für Naturgeschichte an der Philosophischen Fakultät, die Leitung und initiierte 1830 den nationalen und internationalen Samentausch mit anderen Botanischen Gärten. Ab 1832 war Friedrich Karl Leopold Spenner von der Medizinischen Fakultät gemeinsam mit Perleb Direktor des Botanischen Gartens Freiburg. Sein Hauptinteresse galt der systematischen Erfassung, Beschreibung und Ordnung der auf Exkursionen gesammelten Pflanzenarten. In rascher Folge folgten mehrere Direktoren, die alle der Medizinischen Fakultät angehörten. 1855 wurde Heinrich Anton de Bary Gartendirektor. Er beschäftigte sich intensiv mit

der Morphologie und Physiologie von Pilzen und Flechten und führte den Begriff „Symbiose“ ein.

Der dritte Garten – Ort der Forschung und Erbauung

Nach dem Umzug im Jahr 1879 in das heutige Institutsviertel übernahm Johann Friedrich Oltmanns, Professor für Botanik mit den Forschungsschwerpunkten Algen und Pflanzenleben im Schwarzwald, die Direktion des Gartens. Der Garten war ausdrücklich sowohl für Forschungszwecke als auch für interessierte Besucher zur Erbauung geöffnet. Interessant ist, dass erst 1910 die Naturwissenschaftlich-Mathematische Fakultät der Universität Freiburg aus der ehemaligen Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Abteilung der Philosophischen Fakultät hervorgegangen ist. Daher gab es bis dahin nur Direktoren aus der Medizinischen oder Philosophischen Fakultät, da die Lehrstühle für Biologie, Chemie und Physik diesen Fakultäten zugeordnet waren. Die Naturwissenschaften galten zunächst als Hilfswissenschaften der Medizin, verselbständigten sich aber im Laufe des 19. Jahrhunderts zunehmend und wurden dann im Vorlesungsverzeichnis der Philosophischen Fakultät angekündigt.

Der vierte Garten – Schaufenster der Forschung

Mit dem Umzug an den heutigen Standort in Herdern wurde unter Oltmanns unmittelbar neben dem 1914 fertiggestellten Institutsgebäude für Biologie, ein Geographischer Garten angelegt, in dem im Freiland bis heute Pflanzen aus dem Mittelmeerraum, verschiedenen Gebirgsherkünften (Alpinum) sowie aus Ostasien und Nordamerika kultiviert werden. Friedrich Oehlkers, der 1932 als Nachfolger seines ersten akademischen Lehrers Friedrich Oltmanns auf den Lehrstuhl für Botanik der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg berufen wurde, war ein anerkannter Zellgenetiker, der intensiv an der Reifeteilung von Zellen (Meiose) forschte und nachwies, dass Chemikalien Mutationen auslösen können. 1944 wurde der Garten durch Luftangriffe zerstört und nach dem Krieg von 1946 bis 1955 wieder aufgebaut. Erst mit der Berufung von Hans

Mohr im Jahr 1960 als Nachfolger von Oehlkers wurde eine eigenständige Fakultät für Biologie eingerichtet. Professor Mohr war Pflanzenphysiologe und forschte in seiner Zeit als Professor für Biologie und Direktor des Botanischen Gartens an den Auswirkungen des Lichts auf die Pflanzenentwicklung (Photomorphogenese). Sein Nachfolger als Gartendirektor wurde 1965 Dieter Vogellehner, der dem Botanischen Garten ein neues wissenschaftliches Konzept mit dem Schwerpunkt Evolution gab. Prof. Vogellehner war Paläobotaniker (mit Schwerpunkt fossile Hölzer und Karbon des Schwarzwaldes) und Pflanzensystematiker. In seine Zeit als Direktor fallen der Neubau der Gewächshäuser und des Betriebsgebäudes von 1970 bis 1972 sowie die Neugestaltung des Freilands von 1973 bis 1974. In diesem Zusammenhang entstand auch das Stammbaum-Modell der Pflanzen im Zentralbereich. Es ermöglicht Studierenden und Besuchern den im Laufe der Evolution entstandenen Stammbaum der Blütenpflanzen abzulaufen, wie er vor der Einbeziehung molekularer Systematik verstanden wurde (Abb. 1).



Abb. 1: Zentralbereich des Botanischen Gartens Freiburg mit dem Stammbaum-Modell der Pflanzen, gestaltet mit Pflanzringen, die jeweils eine Pflanzenordnung enthalten. Hier können die Besucher die im Laufe der Evolution entstandenen Verwandtschaftsverhältnisse der Blütenpflanzen studieren.



Abb. 2: Blick ins Farngewächshaus des Botanischen Gartens Freiburg, in dem neben Farnen auch Cycadeen, eine ursprüngliche Gruppe der Nacktsamer, und Araukarien kultiviert werden.

Seit 2002 ist Thomas Speck Professor an der Fakultät für Biologie und Direktor des Botanischen Gartens. Er hat den Lehrstuhl für Botanik: Funktionelle Morphologie und Bionik inne und vertritt damit sowohl die botanische Grundlagenforschung als auch die angewandte Forschung mit Industriepartnern. In seiner Amtszeit als Direktor des Botanischen Gartens wurden von 2004 bis 2005 die neuen Anzuchtgewächshäuser und der Gärtnerstützpunkt gebaut und von 2010 bis 2011 der Schaugewächshauskomplex erstmals mit einer Wärmeschutzverglasung ausgestattet. In den Jahren 2015 bis 2018 wurde zudem die gesamte Technik des Gewächshauskomplexes saniert bzw. erneuert (Abb. 2). Durch diese energetischen Sanierungen können über 80 % der zuvor benötigten Heizenergie eingespart werden. Zu seinen Forschungsschwerpunkten gehören Wuchsformanalysen fossiler und rezenter Pflanzen (z. B. Bäume, Spreizklimmer, Lianen) und die Form-Struktur-Funktions-Zusammenhänge von Pflanzen (Morphologie, Anatomie und Biomechanik) sowie die Übertragung der gefundenen Funktionsprinzipien in bioinspirierte Materialsysteme und technische Anwendungen, wie sie im Exzellenzcluster *livMatS* erforscht werden.

Botanische Gärten – Schatzkästchen der Bionik

Seit dem 19. Jahrhundert spielt die Bionik in Botanischen Gärten eine besondere Rolle. Das Wort Bionik, im Sinne des Lernens von der belebten Natur für technische Anwendungen, setzt sich zusammen aus BIOlogie und TechNIK. Ein Klassiker der Bionik in der Architektur sind die von Sir Joseph Paxton anlässlich der Londoner Weltausstellung 1881 entworfenen Ablaufrinnen für Regen- und Kondenswasser in der Dachkonstruktion des Kristallpalasts. Diese so genannten Paxton-Rinnen wurden nach dem Vorbild der Ablaufstrukturen wie man sie auf den Blättern der südamerikanischen Riesenseerose (*Victoria amazonica*) gestaltet (Abb. 3).



Abb. 3: Wasserbecken im Botanischen Garten
Freiburg mit Blättern der Riesenseerose

Die heute wohl bekannteste bionische Erfindung, der Lotus-Effect[®], hat ihren Ursprung im Botanischen Garten Bonn. Wilhelm Barthlott und Christoph Neinhuis entwickelten technische Oberflächen mit Lotus-Effect[®] nach dem Vorbild selbstreinigender Blattoberflächen (Abb. 4). Entstehungsort für verschiedene weitere bionische Entwicklungen ist der

Botanische Garten Freiburg. Die grundlegenden biologischen Untersuchungen zur Entwicklung des „Technischen Pflanzenhalms“ wurden von den Biologen Thomas Speck und Olga Speck am Pfahlrohr (*Arundo donax*) und verschiedenen Schachtelhalmarten (*Equisetum hyemale*, *Equisetum giganteum*) durchgeführt. Vorbild für die Entwicklung einer selbstversiegelnden Schaumbeschichtung für pneumatische Systeme waren die Achsen von Lianen der Gattung *Aristolochia*.



Abb. 4: Station „Lotus-Effect[®]“ als Teil des Bionik-Lehrpfads im Botanischen Garten Freiburg mit der Lotus-Pflanze (*Nelumbo nucifera*) und ihren selbstreinigenden Blättern sowie einer Informationstafel zum biologischen Vorbild und zur technischen Umsetzung.

Lebenslanges Lernen in Botanischen Gärten

Außerschulische Einrichtungen wie Science Center mit ihren Bildungsangeboten, Wissenschaftsmärkte mit Wissenschaftlern, die Rede und Antwort stehen und botanische Gärten mit ihren grünen Schulen sind Orte des lebenslangen Lernens. Für eine aktive Teilnahme am gesell-

schaftlichen Leben und die gestiegenen Anforderungen auf dem Arbeitsmarkt reicht der „Wissensvorrat“ der Schule nicht aus, sondern muss lebenslang erweitert, vertieft und ergänzt werden.

Bionik = Von der belebten Natur für die Technik lernen

Mit der Wissenschaftsdisziplin „Bionik“ hat in den letzten Jahren ein völlig neues, interdisziplinäres Forschungsgebiet Einzug in den Botanischen Garten Freiburg gehalten. Bionik, oder anders ausgedrückt das „Lernen von der belebten Natur für technische Anwendungen“, spiegelt sich auch im Bildungsangebot des Botanischen Gartens wider. Dazu gehören ein Bionik-Lehrpfad mit Informationstafeln an jeder Station (Abb. 4), Bionik-Führungen mit einfachen Experimenten zur Demonstration von Funktionsprinzipien, öffentliche Vorträge zu verschiedenen Bionik-Themen, wissenschaftliche und populärwissenschaftliche Publikationen sowie die Entwicklung von Bionik-Lehrmodulen für Kindergarten, Schule, Hochschule und Universität in Printmedien und im Internet (Abb. 5).

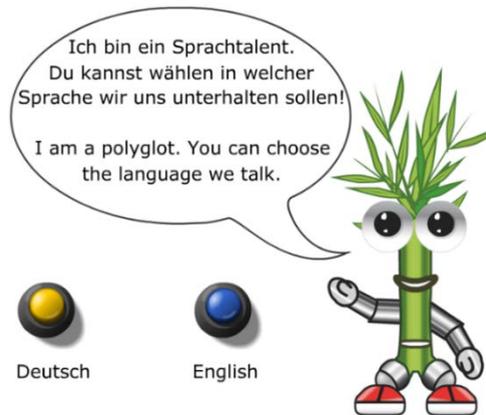


Abb. 5: Billy Bamboo führt durch das Bionik-Quiz, das in den Sprachen Hochdeutsch, Schwäbisch und Englisch gespielt werden kann. Computer mit dem Bionik-Quiz stehen im Eingangsbereich der Schaugewächshäuser und im Bionik-Pavillon des Botanischen Gartens Freiburg zur Verfügung.

Jedes Jahr präsentieren die deutschsprachigen Botanischen Gärten in Deutschland, Österreich und der Schweiz, die dem Verband Botanischer Gärten e.V. angeschlossen sind, im Rahmen der „Woche der Botanischen Gärten“ eine Posterausstellung zu wechselnden Themen (Abb. 6). Ergänzend zur aktuellen Ausstellung, die immer in der zweiten Juniwoche stattfindet, kann jeder Garten eigene Bildungsangebote wie Führungen durch die Ausstellung, Vorträge, Musikveranstaltungen, Kinderprogramme und vieles mehr anbieten. Initiiert vom Botanischen Garten Freiburg wurde im Jahr 2011 im Rahmen der Woche der Botanischen Gärten eine Ausstellung zum Thema „Was die Technik von Pflanzen lernen kann – Bionik in Botanischen Gärten“ in 35 deutschsprachigen Gärten gezeigt.



Abb. 6: Posterausstellung zum Thema „Forscher, Sammler, Pflanzenjäger – unterwegs mit Humboldt & Co.“ Im Jahr 2019 im Botanischen Garten Freiburg.

Erfolgsgeschichten der Bionik

Im Folgenden werden die Bionik und ausgewählte bionische Erfolgsgeschichten in Form von Kurzportraits mit jeweils vier Rubriken vorgestellt: (i) „Vorbild Natur“ beschreibt das biologische Vorbild, (ii) „Bionisches Produkt“ stellt die Übertragung in die Technik vor, (iii) „Nachgefragt“ beantwortet Fragen, die in diesem Zusammenhang häufig gestellt werden und (iv) „Was bringt's der Umwelt?“. Dieses Konzept wurde 2010 in Zusammenarbeit mit dem Umweltministerium Baden-Württemberg im Rahmen von „PatenteNatur – NaturPatente“ für die Landesgartenschau in Villingen-Schwenningen entwickelt (Abb. 7). Es wird hier in einer überarbeiteten Fassung präsentiert.



Abb. 7: Bionik-Lehrpfad entwickelt für das Umweltministerium des Landes Baden-Württemberg im Rahmen von „PatenteNatur – NaturPatente“ für die Landesgartenschau 2010 in Villingen-Schwenningen.

Bionik – Was ist das?

Lernen von der belebten Natur

In den letzten Jahren arbeiten Biologen, Physiker, Chemiker sowie Ingenieure, Techniker, Architekten und Informatiker eng zusammen, um von den Konstruktionsprinzipien und Problemlösungen der Natur zu lernen. Dieses „Lernen von der belebten Natur für die Technik“ – auch Bionik oder Biomimetik genannt – umfasst immer (i) die systematische Suche nach biologischen Vorbildern, (ii) die Entschlüsselung der Funktionsprinzipien und (iii) die Übertragung auf technische Produkte. Grundsätzlich lassen sich zwei Vorgehensweisen unterscheiden. Beim Top-Down-Prozess wird für ein bereits funktionierendes technisches Produkt nach biologischen Verbesserungen gesucht. Beim Bottom-Up-Prozess wird ausgehend von einem in der biologischen Grundlagenforschung gefundenen Funktionsprinzip ein technisches Produkt entwickelt.

Nachgefragt

Bionik ist eine zukunftsweisende Wissenschaft. Deshalb gibt es in Baden-Württemberg das „Kompetenznetz Biomimetik“, das vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst gefördert wurde. In diesem Netzwerk sind neben Wissenschaftlern aus Universitäten und Forschungsinstituten auch Partner aus Industrie und Wirtschaft aktiv. So können Forschungsergebnisse direkt in neue bionische Produkte umgesetzt werden (Abb. 8). Mehr unter: www.kompetenznetz-biomimetik.de

Was bringt`s der Umwelt?

- Bionik ist die systematische Übertragung von biologischem Wissen auf künstliche Produkte.
- Die Bionik schafft Wissen über gemeinsamen Funktionsprinzipien in der belebten Natur und der unbelebten Technik.
- Die Bionik schärft das Bewusstsein für die biologische Vielfalt.
- Bionik ist keine Garantie, aber eine Chance für nachhaltige Lösungen.



Abb. 8: Logo des Kompetenznetzes Biomimetik, das die Bionik-Kompetenzen in Baden-Württemberg bündelt.

Lotus-Effect[®] – Sauber wie ein Lotusblatt

Vorbild Natur: Lotusblatt

Die Indische Lotusblume (*Nelumbo nucifera*) gilt im Hinduismus und Buddhismus als Symbol der Reinheit. Obwohl sie in schlammigen Tümpeln wächst, sind ihre Blätter stets makellos sauber (Abb. 9). Auf der mikro- und nanorauen, wasserabweisenden Oberfläche der Blätter können Schmutz und Wasser nur schlecht haften. Wassertropfen kugeln sich ab, rollen bei der geringsten Erschütterung vom Blatt ab und nehmen den Schmutz mit (Abb. 10). Dieser Selbstreinigungseffekt schützt die Blätter vor Verschmutzung und vor dem Befall durch Mikroorganismen wie Pilze oder Bakterien.



Abb. 9: Auf dem Blatt der Indischen Lotusblume (*Nelumbo nucifera*) hat sich ein kugelförmiger Wassertropfen gebildet.

Bionisches Produkt: Selbstreinigende Oberflächen

Die Botaniker Wilhelm Barthlott und Christoph Neinhuis haben während ihrer Zeit am Botanischen Garten Bonn das Geheimnis der Selbstreinigung bei Pflanzen entschlüsselt. Die Übertragung auf technische Oberflächen führte zu Produkten, die unter dem Markennamen Lotus-Effect[®]

weltweit vertrieben werden. Die Selbstreinigung wurde sehr erfolgreich auf Fassadenfarben übertragen und findet sich auch auf den Glasabdeckungen der Sensoren des LKW-Mautsystems auf deutschen Autobahnen.

Nachgefragt

Der Begriff *Lotus* hat in der Botanik mehrere Bedeutungen. Zum einen trägt die Pflanzengattung Hornklee den botanischen Namen *Lotus*. Zum anderen wird die Gattung *Nelumbo* umgangssprachlich als Lotus oder Lotos bezeichnet. Außerdem ist die Seerosenart *Nymphaea lotus* als Tigerlotus bekannt.

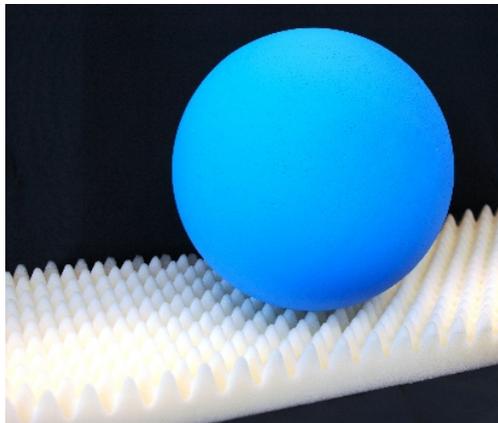


Abb. 10: Im Modell berührt ein kugelförmiger Wassertropfen (blau) die raue selbstreinigende Oberfläche (weiß) nur an wenigen Stellen.

Was bringt's der Umwelt?

- Pflanzenoberflächen sind durch ihre Selbstreinigungsfunktion vor dem Befall durch Mikroorganismen geschützt.
- Sogenannte "selbst"-reinigende Oberflächen in Natur und Technik benötigen jedoch Wasser zur Reinigung.
- Die selbstreinigende Fassadenfarbe Lotusan® ist ein kostengünstiges und ressourcenschonendes Produkt.

Stacheldraht – Wehrhaft wie Pflanzen

Vorbild Natur: Osagedorn

Pflanzen verteidigen sich gegen pflanzenfressende Tiere unter anderem mit Dornen und Stacheln. Auch der Osagedorn (*Maclura pomifera*) ist ein dorniger Baum, der früher von den amerikanischen Ureinwohnern zum Schutz ihrer Siedlungen und von Farmern als Hecke zur Einfriedung von Rinderweiden gepflanzt wurde (Abb. 11).



Abb. 11: Osagedorn (*Maclura pomifera*) mit Dornen und Laubblättern

Bionisches Produkt: Der Stacheldraht

Der Amerikaner Lucien B. Smith erfand und patentierte 1867 den ersten Stacheldraht nach dem Vorbild der dornigen Äste des Osagedorns. Er bestand aus Draht, an dem kleine und spitze Holzstücke befestigt waren. Im Jahre 1873 patentierten drei amerikanische Unternehmer einen Stacheldraht, der nur aus Metall bestand und wesentlich einfacher und billiger industriell herzustellen war (Abb. 12).

Nachgefragt

Der Osagedorn gehört wie die Maulbeerbäume (Gattung *Morus*) und die Gummibäume (Gattung *Ficus*) zur Familie der Maulbeergewächse (*Moraceae*). Das ursprüngliche Verbreitungsgebiet des Osagedorns liegt im Süden der USA. Dort siedelten die amerikanischen Ureinwohner vom Stamm der Osage, nach denen der Baum benannt ist.



Abb. 12: Der Stacheldraht besteht aus zwei verdrehten Metalldrähten mit hervorstehenden scharfkantigen Spitzen.

Was bringt`s der Umwelt?

- Die Erfindung des Stacheldrahts hatte sowohl positive als auch negative soziale Auswirkungen.
- Viehzüchter und Landwirte nutzten den Stacheldraht, um ihre Weiden und Felder zu schützen.
- Der Stacheldraht war eine billige Methode, um den Viehtrieb zu kontrollieren. Viele Cowboys verloren dadurch ihre Arbeit.
- Durch die teilweise illegale Einzäunung großer Landstriche mit Stacheldraht wurden kleine Viehzüchter und amerikanische Ureinwohner ihres Landes beraubt.
- Der Stacheldraht ist ein Symbol der Unterdrückung und wurde vielfach in Kriegen verwendet.

Klettverschluss – Haften ohne Klebstoff

Vorbild Natur: Klette und Tierfell

Der Schweizer Ingenieur George de Mestral ging gerne mit seinem Hund auf die Jagd. Am Abend hingen an seiner Kleidung und am Fell seines Hundes zahlreiche Klettfrüchte. Er untersuchte die Kletten und entdeckte kleine Häkchen (Abb. 13). Diese Häkchen sind so elastisch, dass sie auch dann nicht abbrechen, wenn man sie aus dem Fell zieht oder von der Kleidung löst.



Abb. 13: Klettfrüchte der Kleinen Klette (*Arctium minus*)

Bionisches Produkt: Der Klettverschluss

Nach dem Vorbild der Klettfrüchte im Tierfell entwickelte George de Mestral innerhalb von acht Jahren nach der Entdeckung des Prinzips den Klettverschluss (Abb. 14). Er meldete seine Erfindung 1951 in der Schweiz zum Patent an. Der Klettverschluss besteht aus einem Haken- und einem Flauschband. Das Hakenband besitzt wie die Klettfrucht eine große Anzahl elastischer Häkchen. Das Flauschband entspricht dem

Tierfell und besteht aus vielen feinen, geschlossenen Schlaufen, die sich in den Häkchen verfangen können. Der Klettverschluss ist heute eines der bekanntesten und wirtschaftlich erfolgreichsten bionischen Produkte.

Nachgefragt

Im Laufe der Evolution haben sich aus den unterschiedlichsten Pflanzenstrukturen Häkchen entwickelt, die der Ausbreitung von Früchten oder Fruchtteilen dienen. Bei der Echten Nelkenwurz (*Geum urbanum*) sind es umgebildete Griffel, bei den Fruchtsänden der Klette (Gattung *Arctium*) sind es Blütenhüllblättern und bei den Schneckenklee-Arten (Gattung *Medicago*) sind es Stacheln auf den Fruchtblättern.

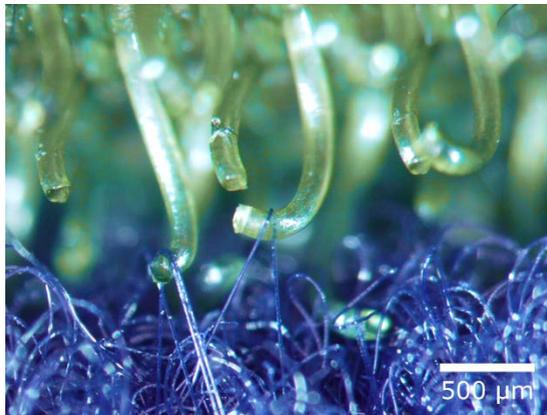


Abb. 14: Vergrößerte Aufnahme des Klettverschlusses mit Hakenband (oben) und Flauschband (unten)

Was bringt's der Umwelt?

- Der reversible Klebemechanismus trägt zur Ressourcenschonung durch wiederholte Verwendung und verlängerte Lebensdauer künstlicher Produkte bei.
- Das Kleben ohne Klebstoffe trägt zum Umweltschutz bei, da umweltschädliche Stoffe vermieden werden.
- Das Verständnis der Vermehrungsmechanismen von Pflanzen ist eine Ideenquelle für weitere technische Lösungen.

Technischer Pflanzenhalm – Stabil und leicht

Vorbild Natur: Pfahlrohr, Bambus und Schachtelhalm

Schachtelhalm, Bambus und Pfahlrohr sind mit ihren hohlen Stängeln und dünnen Halmwänden leicht und stabil zugleich. Betrachtet man einen Schachtelhalm unter dem Mikroskop, sieht man im Querschnitt, dass selbst die dünne Halmwand noch von Kanälen durchzogen ist (Abb. 15).

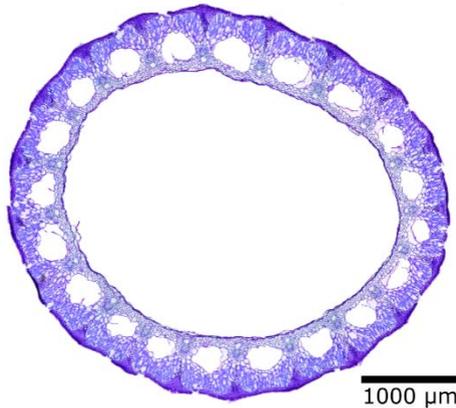


Abb. 15: Querschnitt eines Winter-Schachtelhalms (*Equisetum hyemale*) unter dem Lichtmikroskop

Bionisches Produkt: Der „Technische Pflanzenhalm“

Biologen des Botanischen Gartens Freiburg haben zusammen mit Ingenieuren des Textilinstituts Denkendorf nach dem Vorbild von Schachtelhalm, Bambus und Pfahlrohr den „Technischen Pflanzenhalm“ entwickelt und patentieren lassen (Abb. 16). Er verbindet Leichtigkeit mit Stabilität und in den Hohlräumen können Versorgungsleitungen sowie Sensor- und Aktorkabel verlegt werden. Der „Technische Pflanzenhalm“ kann beispielsweise in der Luft- und Raumfahrt oder im Automobil- und Sportgerätebau eingesetzt werden.

Nachgefragt

Das Pfahlrohr (*Arundo donax*) ist ein bis zu sechs Meter hohes, verholztes Gras. Es bildet z. B. in der südfranzösischen Camargue dichte Bestände und wird dort auch gerne als Windschutz angepflanzt. Das Pfahlrohr wird auch Klarinettenrohr genannt, weil aus seinen Halmen die Rohrblätter für Holzblasinstrumente wie Klarinette, Oboe und Dudelsack hergestellt werden.



Abb. 16: „Technischer Pflanzenhalm“ in verschiedenen Ausführungen (Einfach- oder Doppelgeflecht, kreisrunder oder sternförmig gelappter Umriss)

Was bringt`s der Umwelt?

- Leichtbaukonstruktionen sind ressourcenschonend.
- Der technische Pflanzenhalm ist vollständig recyclebar, wenn Naturfasern wie z. B. Flachs- oder Hanffasern in einer Matrix aus Naturstoffen wie z. B. Polymilchsäure (Polylactat) oder Lignin verwendet werden.
- Schadensresistente Bauteile haben eine längere Lebensdauer und tragen so zur Nachhaltigkeit durch Abfallvermeidung bei.

Neuer Streuer – Präzise und patent

Vorbild Natur: Die Mohnkapsel

Die an langen Stängeln sitzenden Mohnkapseln sind mit einer Vielzahl von Samen gefüllt (Abb. 17). Sobald der Wind über die Mohnkapseln streicht, werden die Samen durch kleine Poren am oberen Ende der Kapsel herausgeschüttelt, vom Wind mitgerissen und bis zu 4 Meter von der Pflanze entfernt verteilt. Dabei werden sie gleichmäßig über den umgebenden Boden verteilt.



Abb. 17: Durch Windstöße fallen die Samen aus den Poren der Mohnkapsel und werden durch den Luftstrom gleichmäßig verteilt.

Bionisches Produkt: Der „Neue Streuer“

Der Botaniker Raoul Heinrich Francé hatte die Aufgabe, eine Bodenfläche gleichmäßig mit „Kleinstlebewesen“ zu beimpfen. Er probierte verschiedene existierende Streuer und Zerstäuber aus, war aber mit dem Ergebnis nie zufrieden. Deshalb zeichnete er einen "neuen Streuer für Salz, für Puder und medizinische Zwecke" nach dem Vorbild der Mohnkapsel (Abb. 18). Für seine Erfindung erhielt er 1920 das erste deutsche Patent für ein bionisches Produkt.

Nachgefragt

Obwohl Pflanzen an ihren Standort gebunden sind, haben sich im Laufe der Evolution vielfältige Mechanismen entwickelt, die es ihnen ermöglicht, neue Lebensräume zu erobern. Die Ausbreitung ihrer Samen und Früchte kann durch Tiere, den Menschen, Wind und Wasser erfolgen. Diese Ausbreitungsmechanismen waren und sind eine wichtige Inspirationsquelle für die Bionik. Der Steuer war nie als Salzstreuer für den Hausgebrauch gedacht, bei dem eine „punktgenaue“ Streuung des Salzes erwünscht ist, sondern zur gleichmäßigen Verteilung des Streugutes auf einer Fläche.

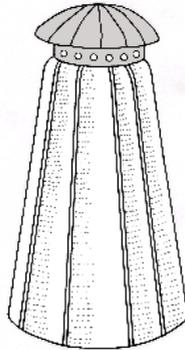


Abb. 18: Zeichnung des „neuen Streuers“ von Francé

Was bringt´s der Umwelt?

- Die Auseinandersetzung mit den Ausbreitungsmechanismen der Pflanzen ist ein wichtiger Ideengeber für technische Lösungen.

Selbstreparatur – Kein Privileg der Natur

Vorbild Natur: Die Pfeifenwinde

Pflanzen haben im Laufe der biologischen Evolution eine Vielzahl von Mechanismen entwickelt, äußere und innere Verletzungen schnell zu versiegeln und anschließend zu heilen. Bei den Stängeln der Pfeifenwinde (*Aristolochia macrophylla*), einer nordamerikanischen Liane, kommt es zur schnellen Wundversiegelung durch Reparaturzellen, die in Risse quellen, die während des sekundären Dickenwachstums im äußeren Festigungsgewebe entstehen (Abb. 19).

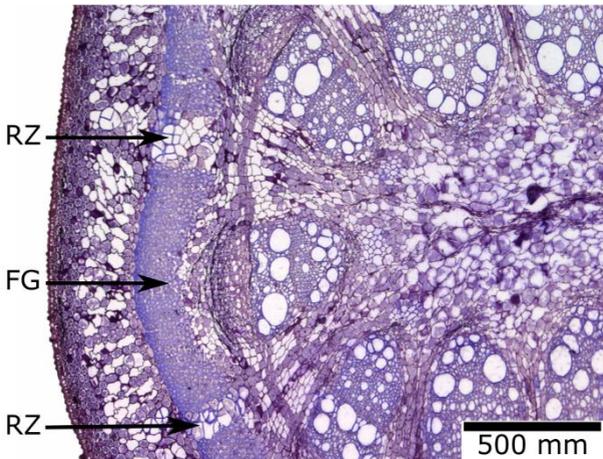


Abb. 19: Mikroskopischer Querschnitt durch den Stängel einer Pfeifenwinde (*Aristolochia macrophylla*) mit Reparaturzellen (RZ), die während des Wachstums entstandene Risse im ringförmigen äußeren Festigungsgewebe (FG) verschließen.

Bionisches Produkt: Selbstversiegelnder Schaum

Das Prinzip der schnellen Wundversiegelung wurde auf eine bionische Schaumbeschichtung für pneumatische Systeme, wie z. B. Schlauchboote oder Tensairity®-Strukturen, übertragen. Der Luftdruckabfall konnte so entweder ganz gestoppt werden oder um den Faktor 100 bis 1000 reduziert werden.

Nachgefragt

Wundversiegelung und Wundheilung sind im Pflanzenreich vielfach unabhängig in verschiedene Entwicklungslinien „erfunden“ worden. Ihre unterschiedlichen Prinzipien sind Inspirationsquelle für verschiedene technische Materialien mit Selbstreparaturfunktion. So wurde beispielsweise nach dem Vorbild der Wundversiegelung der Mittagsblume *Delosperma cooperi* (Abb. 20) ein polymerbasiertes Material mit Formgedächtniseffekt entwickelt, das Risse innerhalb von 60 Minuten heilen kann.



Abb. 20: Die Wundreaktion (Pfeil) der sukkulenten Blätter der Mittagsblume (*Delosperma cooperi*) diente als Vorbild für ein selbstheilendes Formgedächtnismaterial.

Was bringt's der Umwelt?

- Die Selbstreparaturfunktion von Produkten schont Ressourcen.
- Produkte mit Selbstreparaturfunktion haben eine längere Service-dauer und Lebenszeit.
- Die Selbstreparaturfunktion von Produkten trägt zur Verringerung des Abfallaufkommens bei.

Fassadenverschattung – Beweglich ohne Gelenke

Vorbild Natur: Die Blüte der Paradiesvogelblume

Pflanzenbewegungen werden oft übersehen, weil Pflanzen an ihren Standort gebunden sind und weil die Bewegungen ihrer Pflanzenteile für das menschliche Auge entweder zu schnell (Fangbewegungen fleischfressender Pflanzen, wie Venusfliegenfalle oder Wasserschlau) oder zu langsam (Wachstumsbewegungen) sind. Umso faszinierender ist es, dass Pflanzenbewegungen ohne Gelenke mit gleitenden Teilen auskommen. So zum Beispiel die Blüte der Paradiesvogelblume (*Strelitzia reginae*) (Abb. 21). Sie wird von Vögeln bestäubt, die sich auf einer oben offenen „Sitzstange“ aus zwei miteinander verwachsenen violetten Blütenblättern niederlassen. Durch das Gewicht des Vogels wird die Sitzstange nach unten gedrückt. Dadurch klappen die Seiten nach außen, Staubblätter und Griffel werden frei und die Bestäubung ist möglich.



Abb. 21: Blütenstand der Paradiesvogelblume (*Strelitzia reginae*) mit zwei Blüten. Jede Blüte mit ihren orangen Blütenblättern hat eine violette Sitzstange für Nektarvögel.

Bionisches Produkt: Fassadenverschattung

Der Bewegungsmechanismus der Blüte der Paradiesvogelblume wurde von Biologen des Botanischen Gartens Freiburg und Architekten und Bauingenieuren der Universität Stuttgart untersucht, abstrahiert und technisch umgesetzt. Das bionische Produkt (Flectofin[®]) ist wie das biologische Vorbild ein gelenkfreier, stufenlos verstellbarer Klappmechanismus (Abb. 22). Der Klappmechanismus kann überall dort eingesetzt werden, wo bewegliche Lamellen benötigt werden, wie z. B. bei Fassadenverschattungen. Am Gärtnerstützpunkt des Botanischen Gartens wird eine Wand mit Flectofin[®]-Elementen verschattet.

Nachgefragt

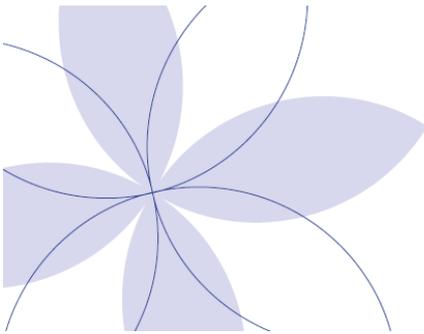
Viele Vogelblumen haben rote oder orange Blüten, die für Vögel besonders gut sichtbar sind. Da die Kolibris der „Neuen Welt“ frei vor den Blüten schweben können, brauchen sie im Gegensatz zu den Nektarvögeln der „Alten Welt“ keine Sitzstange, um an den Nektar der Blüten zu gelangen. In Europa gibt es dagegen keine blütenbestäubenden Vögel.



Abb. 22: Detailansicht der bionischen Fassadenverschattung Flectofin[®] bestehend aus zwei offenen Lamellen.

Was bringt's der Umwelt?

- Scharnierlose Bauteile tragen durch geringeren Verschleiß zur Ressourcenschonung bei.
- Scharnierlose Komponenten tragen zu einer geringeren Abfallerzeugung bei, da sie weniger anfällig für Beschädigungen durch Bewegung sind.
- Die hohe Ästhetik und Funktionalität der Bewegung erhöht die Wertschätzung der biologischen Vorbilder.



Literatur zum Weiterlesen

Knippers, J., Schmidt, U., Speck T. (eds.) (2019): Bionisch bauen – Von der Natur lernen. Basel (Birkhäuser).

Speck, T., Speck, O. (2008): Bionik: Interdisziplinäre Forschung und Bildung in Botanischen Gärten. In: Hurka, H. (ed.) Botanische Gärten gestalten Zukunft – Umweltkommunikation, Artenschutz und Genetische Ressourcen, Sonderband der Osnabrücker Naturwissenschaftliche Mitteilungen, 33/34: 155 – 173.

Speck, T., Speck, O. (2015): Bionik in Botanischen Gärten – eine Chance für Forschung, Lehre und Bildung. In: M. Looß (ed.), 10 Jahre Grüne Schule Braunschweig, 26 – 31. TU Braunschweig.

Speck, T., Speck, O., Neinhuis, C. Bargel, H. (2012): Bionik – Faszinierende Lösungen der Natur für die Technik der Zukunft. Freiburg (Lavori).

Vogellehner, D. (1996): Botanischer Garten der Universität Freiburg 1620–1995: Entwicklungen, Zusammenhänge, Dokumente, Freiburg im Breisgau.

Wagner, E.-M. (2007): Der Botanische Garten der Universität Freiburg. In: Mertens, Dieter und Smolinsky, Heribert (Hrsg.) 550 Jahre Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Festschrift, Band 2. Von der hohen Schule zur Universität der Neuzeit.

Herausgegeben vom Botanischen Garten der Albert-Ludwigs-Universität
Freiburg i. Br.

Direktor: Prof. Dr. Thomas Speck

Text: Dr. Olga Speck & Prof. Dr. Thomas Speck

Layout & Herstellung: Dr. Olga Speck

1. Auflage 2019

2. überarbeitete Auflage 2023