



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Bionik: Pflanzliche Vorbilder für technische Entwicklungen
im Botanischen Garten der Universität Wien entdecken“

verfasst von / submitted by

Barbara Siedler

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2015 / Vienna, 2015

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 445 344

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium UF Biologie und Umweltkunde
und UF Englisch

Betreut von / Supervisor:

ao. Univ.-Prof. Dr. Michael Kiehn

Mitbetreut von / Co-Supervisor:

/

Danksagung

An erster Stelle möchte ich Herrn Univ.-Prof. Dr. Michael Kiehn meinen Dank für seine Betreuung und Unterstützung aussprechen. Trotz seiner zahlreichen Verpflichtungen habe ich stets wertvolles Feedback für meine Arbeit erhalten.

Ein großes Dankeschön gilt auch meinen StudienkollegInnen. Sie sind der Grund, warum die Studienzeit für mich so ein spannender, lustiger und erfüllender Lebensabschnitt geworden ist.

Danken möchte ich auch meiner Familie, besonders meiner Mutter, die sich über den Abschluss meines Studiums mindestens genauso freut wie ich. Vor allem möchte ich mich aber meinem Freund Matthias bedanken, da er mir immer zur Seite steht.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
1.1	Forschungsfrage und Forschungsrahmen	7
2	Bionik: Grundlagen	9
2.1	Definition	9
2.2	Begriffsabgrenzung: Was ist nicht „Bionik“?	9
2.2.1	Bionics	9
2.2.2	Technische Biologie	10
2.2.3	Biotechnik	10
2.3	Eigenschaften der Bionik	11
2.3.1	Bottom-up- und Top-down-Prozesse im Vergleich	11
2.3.2	Bionik und die Evolutionsstrategie	11
2.3.3	Nachhaltigkeit	12
3	Didaktische Überlegungen für das Thema „Bionik“ in einem Botanischen Garten	13
3.1	Bionische Aspekte könnten das Interesse an Pflanzen wecken	13
3.2	Der Botanische Garten als außerschulischer Lernort	13
3.3	Bionik in österreichischen Schulen	14
4	Fachinformationen und Didaktisierungsvorschläge	17
4.1	Diasporenausbreitung	17
4.1.1	Klettverschluss: <i>Arctium lappa</i> (Die Große Klette)	18
4.1.2	Salzstreuer: Mohnkapsel	21
4.1.3	Flug-Diasporen	23
4.2	Bau-Bionik mit pflanzlichen Vorbildern	33
4.2.1	Leichtbau	33
4.2.2	Falten	42
4.2.3	Stacheldrahtzaun: <i>Maclura pomifera</i> (Osagedorn)	50
4.3	Lotuseffekt	56
4.3.1	Experimentelle Übungen zum Lotuseffekt	59

5 Praxisumsetzung des Themas Bionik	65
5.1 Beispiel für ein mögliches zweistündiges Projekt	65
5.2 Mögliche experimenteller/ kreativer Schwerpunkte	66
5.3 Kreuzwörterrätsel	66
5.4 Übersicht: Projekte die Praxis umgesetzt	68
6 Conclusio und Ausblick	69
7 Literatur	71
8 Anhang	87

1 Einleitung

Diese Diplomarbeit stellt Fachinformationen und Vorschläge für Gartenführungen, sowie Unterlagen für forschendes und kreatives Erarbeiten für ein zukünftiges Bionik-Projekt der Grünen Schule zur Verfügung. **Bionik** setzt sich aus den zwei Wörtern „Biologie“ und „Technik“ zusammen;¹ als Wissenschaftsdisziplin lernt die Bionik von der Natur und wendet dieses Wissen für eigenständige Entwicklungen an.² Das große Potential der Bionik als Wissenschaftsdisziplin wird in dieser Arbeit offensichtlich.

Die Grüne Schule gehört zu der Core Facility Botanischer Garten der Universität Wien³ und bietet v.a. Führungen für Schulklassen an. Weiterbildungsmöglichkeiten für alle Altersstufen und Bildungsniveaus werden durch ein umfangreiches Programm abgedeckt.⁴

1.1 Forschungsfrage und Forschungsrahmen

Ein Ziel dieser Diplomarbeit ist es Informationen und Konzepte für GartenführerInnen der Grünen Schule im Zusammenhang mit dem Thema „Bionik“ vorzustellen. Die primäre Zielgruppe dieses Bionik-Projekts sind SekundarschülerInnen von 10 bis 14 Jahre. Werden die Fachinformationen zu den jeweiligen Themen vereinfacht, so ist dieses Projekt auch für VolksschülerInnen gut geeignet. Eine Anpassung für OberstufenschülerInnen ist durch die breitgefächerte Thematik schnell gefunden und somit die Vertiefung für anspruchsvolle Themen möglich.

Diese Diplomarbeit fokussiert sich auf die Pflanzen, die im Botanischen Garten der Universität Wien wachsen. Eine Voraussetzung für diese Diplomarbeit ist das Vorhandensein von entsprechender Literatur zum Thema „Bionische Entwicklungen mit botanischen Vorbildern“. GartenführerInnen ohne Kenntnisse im Bereich der Bionik, erhalten mit dieser Arbeit eine Handreichung, um sich das notwendige Wissen anzueignen und weitergeben zu können. Des Weiteren sollen die GartenführerInnen sich aus zahlreichen praktischen Projektideen die geeignete für ihre Gartenführungen aussuchen können.

¹vgl. Speck und Speck (2009, S. 22)

²vgl. Nachtigall (2002, S. 3)

³vgl. Botanischer Garten der Universität Wien (2015b)

⁴vgl. Grüne Schule (2015)

1 Einleitung

Obwohl diese Diplomarbeit sich auf die Umsetzung im Botanischen Garten der Universität Wien beschränkt, ist eine Übernahme mancher Konzepte auch in anderen Botanischen Gärten möglich. Thematisch sehr ähnlich zu dieser Diplomarbeit ist die Publikation von Speck et al., die verschiedene Stationen zum Thema Bionik im Botanischen Garten Freiburgs vorstellt.¹

¹vgl. Speck et al. (2006a)

2 Bionik: Grundlagen

2.1 Definition

Nachtigall definierte Anfang der 70er Jahre Bionik als: „Lernen von der Natur für eigenständiges ingenieurmäßiges Gestalten.“¹

Um die Definition richtig zu interpretieren, muss das Augenmerk auf „eigenständiges Gestalten“ gelegt werden. In der Tat liefert die Natur keine Baupläne, sondern sie kann immer nur als Anregung dienen. Direkte Kopien können daher auch nicht erfolgreich sein.²

Die Natur als Vorbild zu nehmen ist kein neuer Gedanke; der erste Bioniker im heutigen Sinn war wohl Leonardo da Vinci. Obwohl seine Flugmaschinen nicht flugfähig waren, so war seine Denkweise dem 16. Jahrhundert voraus.³

2.2 Begriffsabgrenzung: Was ist nicht „Bionik“?

2.2.1 Bionics

Wahrscheinlich wurde der Begriff „bionics“ 1960 vom amerikanischen Luftwaffenmajor J.E. Steele geprägt, dieser Begriff ist aber nicht mit der heutigen Definition von „Bionik“ ident. Steele definierte damals auf einem Kongress „bionics“ als: „Bionics - new frontiers of technology through fusion of the bio- and physiodisciplines.“⁴ Der Begriff „bionics“ ist weiter gefasst als die Definition von „Bionik“, daher wird der deutsche Begriff „Bionik“ mit „biomimetics“ oder „biomimicry“ im Englischen übersetzt.⁵

¹Nachtigall (2008, S.10)

²vgl. Nachtigall (2008, S.10)

³vgl. Cerman et al. (2005, S. 7-8)

⁴vgl. Nachtigall (2002, S. 5)

⁵vgl. Wikipedia (2015b)

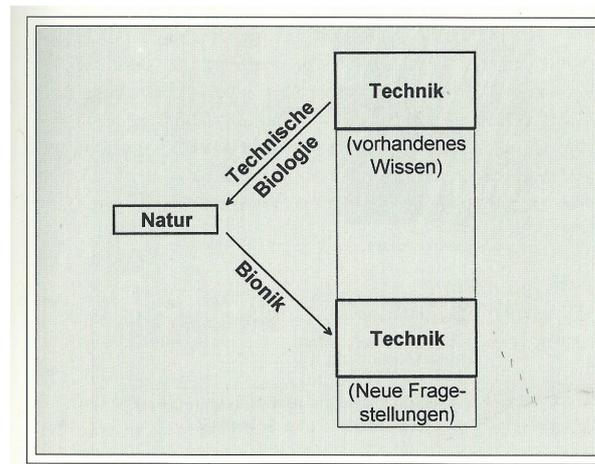


Abbildung 2.1:
Querverbindungen zwischen Technik,
Technischer Biologie und Bionik (Nachtigall,
1997, S. 3 Abb. 1)

2.2.2 Technische Biologie

Eine weitere wichtige Abgrenzung muss zur Technischen Biologie gezogen werden. Laut Nachtigall sind „Technische Biologie“ und „Bionik“ wie „zwei Seiten einer Medaille“.¹

Die Technische Biologie erforscht die Natur z.B. vom Standpunkt und mit den Mitteln der Technischen Physik. Die Aufgabe der Bionik ist es, von Grundlagenergebnissen Anregungen für neue nützliche Lösungen zu liefern.²

2.2.3 Biotechnik

Raoul Heinrich Francé, ein „Allround-Botaniker“ gilt als Bionikpionier.³ Francé nannte diesen Wissenschaftszweig selbst aber „Biotechnik“, doch dessen Bedeutung stimmt nicht mit der aktuellen Definition überein.⁴ Unter Biotechnik oder Biotechnologie wird heute „eine interdisziplinäre Wissenschaft, die sich mit der Nutzung von Enzymen, Zellen und ganzen Organismen in technischen Anwendungen beschäftigt“ verstanden.⁵

¹Nachtigall (1997, S. 2)

²vgl. Nachtigall (2008, S. 9)

³vgl. Cerman et al. (2005, S. 9)

⁴vgl. Nachtigall (2002, S. 70)

⁵Wikipedia (2015c)

2.3 Eigenschaften der Bionik

2.3.1 Bottom-up- und Top-down-Prozesse im Vergleich

Bei bionischen Entwicklungen wird prinzipiell zwischen „Bottom-up-Prozessen“ und „Top-down-Prozessen“ unterschieden. Diese beiden Prozesse haben unterschiedliche Ausgangspunkte.

Nach Speck et al. steht beim Bottom-up-Prozess „die reine Grundlagenforschung des Biologen am Anfang“.¹ Der Bottom-up-Prozess wird auch als „Biology Push“ bezeichnet.² Ein berühmtes Beispiel für eine Bottom-up-Entwicklung ist der Klettverschluss (auf Seite 18).³ Auch Arzt plädiert in seinem Buch „Kluge Pflanzen: Wie sie lügen, locken und sich wehren“ für die Notwendigkeit von Grundlagenforschung: „Man wird dieser Art Forschung nicht gerecht, wenn man sie nur unter dem Gesichtspunkt potenzieller Nützlichkeit oder eines finanziellen Payback beurteilt“.⁴ Die Entwicklung auf Basis eines Bottom-up-Prozesses kann also zu sehr erfolgreichen bionischen Produkten führen, ohne dass diese den Ausgangspunkt für die Forschung darstellen.

Im Gegensatz dazu ist beim Top-down-Prozess „eine konkrete Fragestellung des Industriepartners“ Voraussetzung.⁵ Der Top-down-Prozess kann auch als „Technology Pull“ bezeichnet werden.⁶ Biologen suchen „nach geeigneten biologische Vorbildern, mit deren Hilfe das bereits vorhandene technische Produkt bionisch verbessert werden kann“. Ein Beispiel hierfür ist auch das erste offizielle bionische Patent: „Der neue Streuer“, nach Vorbild der Mohnkapsel entwickelt von Raoul Heinrich Francé (auf Seite 21).⁷

2.3.2 Bionik und die Evolutionsstrategie

„Als Fundgrube technischer Innovationen haben sich in den letzten Jahren zunehmend Pflanzen und Tiere erwiesen, deren Vielfalt in einem 3,8 Milliarden Jahre andauernden Entwicklungsprozess entstanden ist.“⁸

Die Natur liefert unendlich viele Konzepte und Lösungen für Problemstellungen der Menschheit. Evolution ermöglicht laut Sauer et al. die optimale Anpassung an

¹vgl. Speck et al. (2006a, S. 92)

²vgl. Speck und Speck (2009, S. 22)

³vgl. Plant Biomechanics Group Freiburg (2015, Bionik - Bottom-up-Prozess)

⁴Arzt (2011, S. 33)

⁵vgl. Speck et al. (2006a, S. 92)

⁶vgl. Speck und Speck (2009, 22)

⁷vgl. Speck et al. (2006a, S. 92)

⁸Speck et al. (2006b, 44)

Umweltfaktoren und es handelt sich hierbei um ein Zusammenspiel der folgenden drei Faktoren: Mutation, Rekombination und Selektion.¹

Tatsächlich ist es auch bei komplexen Themen möglich, mit Hilfe der Evolutionsstrategie auf Lösungen zu kommen, die anders gar nicht möglich gewesen wären. So können durch „Versuch und Irrtum“ optimierte Strukturen entwickelt werden, ohne das dazugehörige Prinzip vollständig zu verstehen. Im Flugzeugbau werden z.B. per Computer kleine Details so lange zufällig geändert bis diese Änderungen virtuell zu einem besseren Ergebnis führen.²

2.3.3 Nachhaltigkeit

Da sich bionische Produkte die Natur als Vorbild nehmen, wäre es auch wünschenswert, dass sie in allen Bereichen vergleichbar nachhaltig sind.

Einige Grundprinzipien bionischer Designs sind nach Nachtigall:

- „Energieeinsparung statt Energieverschleuderung“
- „Direkte und indirekte Nutzung der Sonnenenergie“
- „Zeitliche Limitierung statt unnötige Haltbarkeit“
- „Totale Rezyklierung statt Abfallanhäufung“³

Nach Speck und Speck ist ein bionisches Produkt aber nicht automatisch „ökologisch“ oder „umweltverträglich“. „Nachhaltigkeit ist zwar ein intrinsisches Ziel bionischer Forschung, aber bionische Produkte können auch mit Materialien oder Materialkombinationen hergestellt werden, die keine Ökobilanz besitzen.“⁴ Es sollte also darauf geachtet werden, dass ein bionisches Produkt auch den Grundprinzipien der Nachhaltigkeit entsprechen.

Outdoorkleidung lässt z.B. analog zum Selbstreinigungseffekt (auf Seite 56) „Wasser, Schmutz und Öl“, abperlen. Jedoch werden u.a. PFC (Per- und Polyfluorierte Carbonate) frei, die unter Verdacht stehen, Mensch und Umwelt zu schädigen.⁵

Es scheint klar ersichtlich, dass die Einhaltung dieser bionischen Grundprinzipien bei der Entwicklung von Technologien zu einer Verbesserung des Umweltschutzes führen.

¹vgl. Sauer et al. (2010, S. 34-35)

²vgl. Nachtigall (1997, S. 105-107)

³Nachtigall (1997, S. 26-33)

⁴Speck und Speck (2008, S. 158)

⁵vgl. Spiegel Online (2013)

3 Didaktische Überlegungen für das Thema „Bionik“ in einem Botanischen Garten

3.1 Bionische Aspekte könnten das Interesse an Pflanzen wecken

Eine für manche auf den ersten Blick ungewöhnliche Verbindung von Pflanzen und Technik ist die Bionik mit Vorbildern aus der Botanik. Diese könnten das Interesse für die Pflanzenwelt als Inspirationsquelle bei technikinteressierten Personen wecken. SchülerInnen fragen sich vielleicht, wie ErfinderInnen zu ihren Ideen kommen, und tatsächlich suchten viele ErfinderInnen und EntdeckerInnen erfolgreich bei Pflanzen nach der Vorlage für eine Innovation.

Laut Michael Schaper im Editorial des GEOkompakt wären viele über „[d]as geheime Leben der Pflanzen“ überrascht:

„Könnte der Mensch seine Umgebung in extremem Zeitraffer wahrnehmen, würde er beim Anblick der Pflanzenwelt vermutlich ins Staunen kommen. Die vermeintlich unbeweglichen und passiven Gewächse würden sich als hochinteressante, agile und dynamische Lebewesen erweisen, die mit raffinierten Methoden ums Dasein kämpfen.“¹

3.2 Der Botanische Garten als außerschulischer Lernort

In dieser Diplomarbeit wird davon ausgegangen, dass eine interaktive Gartenführung inklusive praxisorientierter Umsetzung des Gelernten das fächerübergreifende Verständnis fördert und eine Verknüpfung zum Alltagsleben ermöglicht.

¹GEOkompakt (2014, S. 3)

3 Didaktische Überlegungen für das Thema „Bionik“ in einem Botanischen Garten

Nach Gropengießer und Kattmann sind die Aufgaben von Botanischen Gärten, vor allem „Arbeiten zur Pflanzensystematik, Pflanzengeographie, Vegetationsgeschichte, ökologische Forschung, Kultivierung potenzieller Zimmerpflanzen, Heilpflanzen und Artenschutz“. Jedoch sollten Botanische Gärten auch als Lernorte genützt werden.¹

Olga und Thomas Speck zufolge „stellen Botanische Gärten ideale Orte des Lehrens und Lernens für alle Altersgruppen dar“.² Bionik ist ein Paradebeispiel für ein „interdisziplinäres Forschungsfeld“ mit komplexen Themen. Im Botanischen Garten können SchülerInnen die Pflanzen in natura sehen und die Konzepte der Natur begreifen, die zur Entwicklung von vielen erfolgreichen Erfindungen des Alltags geführt haben.³

Des Weiteren beschreiben Speck und Speck das große Potenzial für Botanische Gärten nicht nur als Zentrum der Wissensvermittlung zu den Themen „Biodiversität“ oder „Natur- und Artenschutz“, sondern auch für die Forschungsrichtung „Bionik“.⁴ „Die hohe Artenzahl kultivierter Pflanzen“ hat laut Speck und Speck „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“.⁵ Im Botanischen Garten der Universität Wien sind es z.B. geschätzte 11 500 Pflanzenarten aus aller Welt auf einer Fläche von 8 ha.⁶

Gropengießer und Kattmann argumentieren, dass „empirische Studien die positiven Effekte von außerschulischem Unterricht auf Wissensvermittlung und auf die affektive Dimension [...] bestätigt“. Außerdem sollen eher leistungsschwächere SchülerInnen durch Exkursionen besonders gefördert werden.⁷ Nach Gropengießer und Kattmann sind Tiere im Allgemeinen ein beliebteres Thema als Pflanzen, jedoch meinen sie, dass ein Besuch im Botanischen Garten motivierend wirken könnte.⁸

3.3 Bionik in österreichischen Schulen

Obwohl das Thema Bionik komplex ist, soll gezeigt werden, dass es möglich ist, ausgewählte Themen und die Prinzipien der Bionik auch Kinder- und SchülerInnengruppen näherzubringen. In diesem Abschnitt wird auf österreichische Lehrpläne, mit Schwerpunkt auf die AHS/NMS, näher eingegangen.

¹vgl. Gropengießer und Kattmann (2008, S. 430)

²Speck und Speck (2008, S. 161)

³vgl. Speck und Speck (2008, S. 161)

⁴vgl. Speck und Speck (2008, S. 155-166)

⁵vgl. Speck und Speck (2008, S. 157)

⁶vgl. Botanischer Garten der Universität Wien (2015a)

⁷vgl. Gropengießer und Kattmann (2008, S. 428)

⁸vgl. Gropengießer und Kattmann (2008, S. 432)

Ein möglicher Ansatz wäre es, den vernetzten Ansatz der Bionik zu nutzen und sich ein Thema aus mehreren Blickwinkel anzusehen. So könnte z.B. ein Thema in Zusammenarbeit von den Lehrpersonen der naturwissenschaftlichen Fächer erarbeitet werden.

Biologie und Umweltkunde

„Fächerübergreifendes und projektorientiertes Arbeiten“ soll im Biologie und Umweltkunde-Unterrichts in der AHS-Unterstufe gefördert werden.¹ Zu den didaktischen Grundsätzen des Biologieunterrichts in der AHS-Oberstufe gehört auch die „methodische Vielfalt“ und diese inkludiert „praktische Tätigkeiten, Projekte, fächerübergreifenden Unterricht, Experimente, Freilandarbeit, Betriebserkundungen, offene und soziale Lernformen“.²

Ein Besuch in einem Botanischen Garten mit einem Projekt würde die Anforderungen von „methodischer Vielfalt“ im Biologieunterricht mehr als erfüllen.

Physik

Im Physik-Lehrplan für die 7. und 8. Klasse AHS wird „Bionik“ explizit im Zusammenhang mit „Materialwissenschaften“ erwähnt.³ Im Physik-Lehrplan der 2. Klasse AHS-Unterstufe gibt es den Themenschwerpunkt „Der Traum vom Fliegen“.⁴ Ein fächerübergreifendes Projekt mit Beispielen aus der Natur kann helfen, das Thema zu veranschaulichen.

Chemie

Ein Thema im Chemie-Unterricht der 4. Klasse AHS ist die verantwortungsbewusste Nutzung von Rohstoffen und die Wiederverwertung von Altstoffen, die auch dem Bionik-Prinzip der Nachhaltigkeit entspricht.⁵

Technisches Werken

Im Werkunterricht der Unterstufe gibt es den Themenschwerpunkt „Strömungstechnik“ indem die SchülerInnen u.a Flugmodelle bauen.⁶

¹vgl. Bundesministerium für Bildung und Frauen (2000a, S. 2)

²Bundesministerium für Bildung und Frauen (2004a, S. 2)

³vgl. Bundesministerium für Bildung und Frauen (2004b, S. 4)

⁴vgl. Bundesministerium für Bildung und Frauen (2000c, S. 3)

⁵vgl. Bundesministerium für Bildung und Frauen (2000b, S. 3)

⁶vgl. Bundesministerium für Bildung und Frauen (2000d, S. 5)

BHS

Im HAK-Lehrplan steht „Bionik“ explizit bei „angewandter Warenlehre“ im Fach „Technologie, Ökologie und Warenlehre“, das zum Cluster „Mathematik und Naturwissenschaften“ gehört, und in der 5. Klasse unterrichtet wird.¹

Bionik würde natürlich auch in fast jedem HTL-Zweig thematisch sehr gut passen.

Fachhochschulen und Universitäten

Das Angebot an Bionik-Lehrveranstaltungen an Österreichs Universitäten ist noch gering, aber die FH Villach bietet den Masterstudiengang „Bionik/Biomimetics in Energy Systems“ an.²

¹vgl. Bundesministerium für Bildung und Frauen (2014, S. 97)

²vgl. Fachhochschule Kärnten (2015)

4 Fachinformationen und Didaktisierungsvorschläge

4.1 Diasporenausbreitung

Eine wichtige „Ideenquelle“ für die Bionik waren und sind laut Speck et al. die Ausbreitungsformen bei Pflanzen.¹ So können festsitzende Pflanzen nur dann ihr Areal erweitern, wenn sie über Ausbreitungseinheiten (Diasporen) verfügen. Zu den Diasporen gehören Sporen, Samen, Schließfrüchte und vegetative Ausbreitungseinheiten.²

Warum haben aber viele Blütenpflanzen effektive Ausbreitungsmechanismen? Wenn die Nachkommen in unmittelbarer Nähe ihrer Mutterpflanzen wachsen würden, dann würde das zwei schwerwiegende Nachteile ergeben: Erstens würden die Nachkommen mit der Mutterpflanze um Nährstoffe und Licht konkurrieren und zweitens können die Pflanzen, wenn sich die Lebensbedingungen an einem Standort verschlechtern, nicht den Standort wechseln und somit wäre der Fortbestand der Pflanzenart gefährdet. Es ist daher für festsitzende Pflanzen meist eher vorteilhaft, dass ihre Nachkommen weit von der Mutterpflanze entfernt wachsen.³

Hinweis

Die Grüne Schule⁴ bietet das eigenständige Projekt „Früchte und Samenverbreitung“ an. Deswegen beschränkt sich diese Arbeit auf Beispiele der Früchte und Samenverbreitung, die als Vorbilder für bionische Entwicklungen wirkten.

¹vgl. Speck et al. (2006a, S. 94)

²vgl. Bresinsky et al. (2008, S. 1053)

³vgl. Beer et al. (2012, S. 30)

⁴Grüne Schule (2015)

Ausbreitungsmechanismen

Die wichtigsten Ausbreitungsmechanismen sind nach dem Lehrbuch der Botanik von Strasburger:

1. Zoochorie: Ausbreitung durch Tiere → z.B. *Arctium lappa* (auf dieser Seite)
2. Anemochorie: Windausbreitung → „Von Samen und Früchte fliegen lernen“ (auf Seite 23)
3. Hydrochorie: Wasserausbreitung
4. Autochorie: Selbstausbreitung ¹
 - a) → passive Selbstausbreitung z.B. *Papaver* (Mohn) (auf Seite 21) ²

4.1.1 Klettverschluss: *Arctium lappa* (Die Große Klette)

Georg de Mestral (1907-1990), ein Belgier, der in der Schweiz lebte, machte gerne mit seinem Hund Jagdausflüge. Zu Hause angekommen musste er aber oft seine Kleidung und das Fell seines Hundes von ungewollten Mitbringsele, nämlich Kletten, befreien. Eines Tages wollte er der Sache auf den Grund gehen und untersuchte eine Klette unter dem Mikroskop. Die Entscheidung, die Frucht genau zu untersuchen führte, ihn zu der Erfindung des Klettverschlusses.³

Über die Pflanze und ihren Ausbreitungsmechanismus

Die Fruchtstände der Klette werden durch Tiere übertragen (= Zoochorie). Es handelt sich dabei um Epizoochorie, weil die Fruchtstände im Fell, also an der Oberfläche der Tiere haften bleiben.⁴

Warum haften aber Kletten so erstaunlich gut an Fell oder Kleidung? Bei Kontakt verhängen sich ausreichend viele Stachelspitzen, die wie kleine Haken wirken, im Fell.⁵ Die Hüllblätter der Kletten haben meist zusätzlich hakig eingerollte Stachelspitzen und sind daher klettend.⁶ Die Fruchtstände von *Arctium lappa* sind keine Klettfrüchte, sondern Schüttelkletten. Wenn eine Klette entfernt wird, dann reißt deren Kopf nicht ab. Beim Entfernen werden aber die Einzelfrüchte, die **Achäne** mehrere Meter weit weggeschleudert.⁷

¹vgl. Bresinsky et al., 2008, S. 831-832

²vgl. Björkqvist et al. 2013, S. 212-213

³vgl. Speck et al. (2006a, S. 94)

⁴vgl. Bresinsky et al. (2008, S. 832)

⁵vgl. Coineau und Kresling (1989, S. 92)

⁶Lüder (2006, S. 468)

⁷vgl. Danert (1994, S. 326)

Die Früchte der Asteraceae sind Nüsse und werden **Achäne** genannt.¹

Der Klettverschluss

Die Funktionsweise des Klettverschlusses ist folgende: Ein Band entspricht den Fruchtständen mit durchtrennten dicken Schlingen, die als Haken dienen. Das zweite Band erfüllt die Aufgabe des Tierfells mit feinen Schlingen, in denen sich die Haken verfangen können.²

Die Erfindung des Klettverschlusses ist ein Paradebeispiel für den Bottom-up-Prozess (auf Seite 11). Mestral betrieb am Anfang reine Grundlagenforschung und hatte keine konkrete Fragenstellung. Durch Analyse und Abstraktion entwickelte sich aus Zwischenprodukten schließlich das marktreife bionische Produkt.³ Bis zum erfolgreichen industriellen Produkt dauert es acht Jahre und 1948 meldete Mestral schließlich seine Erfindung zum Patent unter den Namen Velcro® an. Der Begriff Velcro setzt sich aus den französischen Wörtern velours (= Samt) und crochet (= Häkchen) zusammen.⁴

4.1.1.1 Vorschläge für die Führung

Arctium lappa ist eine heimische Pflanze die man selbst in Städten bei Zäunen oder Wegrändern finden kann.⁵

Empfehlenswert wäre es eine Pflanze der Gattung *Arctium* (Kletten) in natura zu sehen. Sind Fruchtstände vorhanden, so kann mit den SchülerInnen ausprobiert werden, wie „anhänglich“ die Früchte sind.

Auch wenn es in einem Botanischen Garten keine Pflanze der Gattung *Arctium* gibt, kann das Thema durch Schautafeln, Modelle und andere Fruchtstände trotzdem anschaulich vermittelt werden.

4.1.1.1.1 Klettenwerfen

Zielsetzung

Gerade für jüngere SchülerInnen wäre ein Spiel am Ende einer Führung oder eines Projekts passend. Ein weiteres Ziel dieses Spieles ist es, dass die SchülerInnen die Kletten

¹vgl. Bresinsky et al., 2008, S. 830

²vgl. Coineau und Kresling (1989, S. 92)

³vgl. Speck et al. (2006a, S. 92)

⁴vgl. Speck et al. (2006a, S. 94)

⁵vgl. Wikipedia (2015g)

4 Fachinformationen und Didaktisierungsvorschläge

(Fruchtstände) anfassen und auch genauer betrachten. Auch können die SchülerInnen beim Entfernen der Kletten von der Zielscheibe oder von ihrer eigenen Kleidung sich selbst davon überzeugen, dass die Stachelspitzen elastisch sind und auch bei mehrmaliger Verwendung der Fruchtstand nicht zerstört wird.

Ablauf

Nach Straaß wäre ein mögliches Spiel „Klettenwerfen“. Es wird vorgeschlagen auf eine große Woldecke eine Zielscheibe zu malen. Die SchülerInnen können dann versuchen, ins Schwarze zu treffen. Eine mögliche Variante wäre, dass jedes Kind drei Kletten bekommt und die Punkte auf einer Liste zusammengezählt werden.¹

Wenn keine Kletten vorhanden sind, dann können auch kleine Plastikbälle mit Klettverschluss beklebt und gegen eine Zielscheibe geworfen werden.

4.1.1.1.2 Binokular

Zielsetzung

Mit älteren SchülerInnen könnten die Fruchtstände der Klette auch mit Binokularen im Institut betrachtet werden.

Ziel von Untersuchungen im Biologieunterricht (mit oder ohne Hilfsmittel) ist es, die Strukturen und Zusammenhänge des Untersuchungsobjekts besser zu verstehen.²

So ist es wahrscheinlich, dass SchülerInnen, die den Fruchtstand einer Pflanze der Gattung *Arctium* unter dem Binokular betrachten, ein besseres Verständnis für deren Ausbreitungsmechanismus entwickeln.

Ablauf

Idealerweise können die SchülerInnen in kleine Gruppe eingeteilt werden und jeder Gruppe sollte ein Binokular, ein Fruchtstand von *Arctium lappa* und ein kleines Stück eines Klettverschlusses zur Verfügung stehen.

Die SchülerInnen sollen den Fruchtstand unter dem Binokular untersuchen und auch das Entfernen des Fruchtstandes von einem Kleidungsstück. Ein Vergleich zwischen *Arctium lappa* und einem industriell hergestellten Klettverschluss wäre auch interessant.

¹vgl. Straaß (2011, S. 28-29)

²vgl. Graf (2004, S. 124-125)

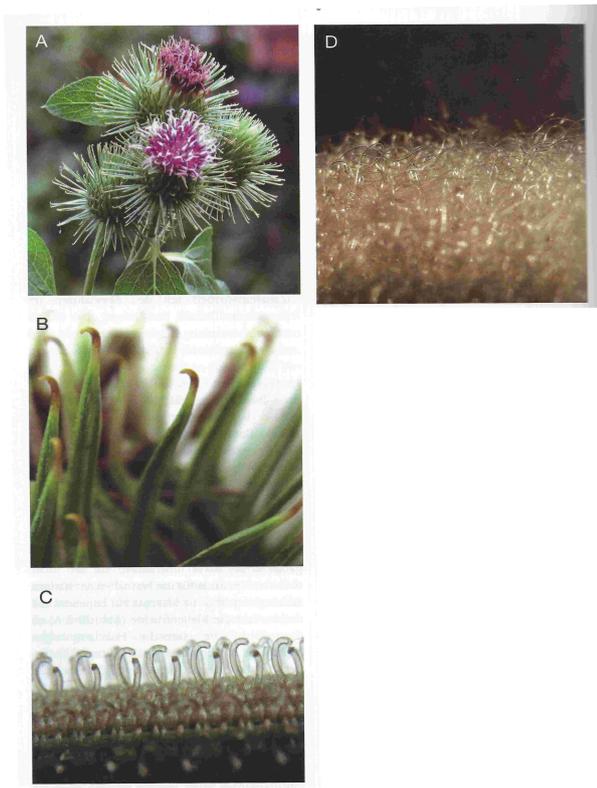


Abbildung 4.1:
Der Klettverschluss (Lüttge und Kluge,
2012, S. 624)



Abbildung 4.2:
Klettenwerfen (Straaß, 2011, S. 28)

4.1.2 Salzstreuer: Mohnkapsel

Raoul H. Francé war zu seiner Zeit ein bekannter Forscher und war unter anderem „Begründer der Lehre von Boden-Lebewelt“ (= Edaphons).¹

In seinem Buch „Die Pflanze als Erfinder“ (1920) schlägt er Naturvorbilder für technische Entwicklungen vor. Seiner Meinung nach sei „die Natur der größte Erfinder“. Im Vorfeld zu diesem Buch stand Francé vor folgendem Dilemma: Er wollte Boden ganz gleichmäßig mit Bodenlebewesen „impfen“, um ein besseres Erntergebnis zu erzielen. Er experimentierte mit mehreren Streuern, doch war das Ergebnis unregelmäßig und nicht zufriedenstellend. Dann kam er auf die Idee, sich die Mohnkapsel genauer anzuschauen.²

Als Ausbreitungsmechanismus haben *Papaver*-Arten (Mohn) eine passive Selbstausbreitung (Autochorie).³ Die Wände der Kapsel Früchte haben Poren, die bei unreifen Samen noch geschlossen sind. Wenn die Samen reif sind, dann werden sie durch

¹vgl. Nachtigall (1997, S. 9-10)

²vgl. Francé (1920, S. 5-7)

³vgl. Björkqvist et al. (2013, S. 212-213)

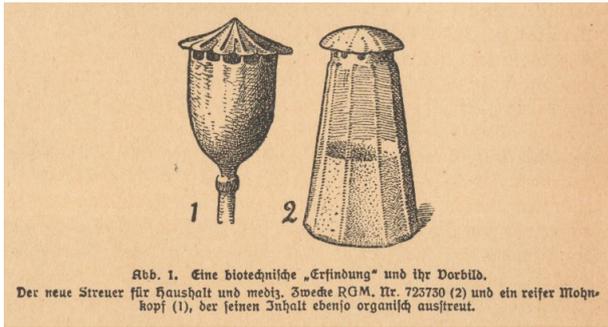


Abbildung 4.3:
Eine biotechnische „Erfindung“ und ihr Vorbild (Francé, 1920, S. 8)

Der neuer Streuer für Haushalt und mediz. Zwecke RGM. Nr. 723730 (2) und ein reifer Mohnkopf (1), der seinen Inhalt ebenso organisch ausstreut



Abbildung 4.4:
Mohnpflanze (Wikimedia Commons, 2015)

die neu entstandenen Löcher herausgeschleudert.¹ Dafür braucht es aber, im Gegensatz zur aktiven Selbstausbreitung, zuerst externe Einflüsse auf die Kapsel. So kann z.B. Wind den Fruchtsiel „in Schwingungen und Vibrationen versetzen“ und dies verursacht dann das Ausstreuen der Samen.²

Francé entdeckte, dass eine Mohnkapsel gefüllt mit Erde viel gleichmäßiger als ein normaler Streuer verteilt. Er meldete zum Patent seine Zeichnung eines Streuers „für Salz, für Puder und sonst[igen] medizinische Zwecke nach dem Modell der Mohnkapsel“. Seinen eigenen Angaben nach fühlte sich Francé gar nicht als Erfinder, sondern nur als „elender Kopist der Natur“.³

Diese Patent war insofern besonders interessant, weil es 1919 das erste bionische Patent war.⁴ Somit gilt Francé als „einer der Mitbegründer der Technischen Biologie und Bionik“.⁵

¹vgl. Schwanitz (2013, S. 26)

²vgl. Björkqvist et al. (2013, S. 212-213)

³vgl. Francé (1920, S. 7-8)

⁴vgl. Cerman et al. (2005, S. 10)

⁵vgl. Nachtigall (2002, S. 70)

4.1.3 Flug-Diasporen

Schon in der griechischen Mythologie finden wir bei der Sage „Dädalus und Ikarus“ den Menschheitstraum „wie ein Vogel fliegen zu können“.¹ Tatsächlich waren aber die ersten Fluggeräte deshalb erfolgreich, weil Pflanzensamen und nicht Vögel nachgeahmt wurden.²

Bei den Windfliegern dienen die Anpassungen der Diasporen dazu, den Luftwiderstand zu erhöhen und dadurch die Sinkgeschwindigkeit zu verringern.³ Ein langsames Sinken der Diasporen bedeutet eine längere Flugzeit und daher eine weitere Entfernung zur Mutterpflanze.

Kein Fliegen ohne Auftrieb

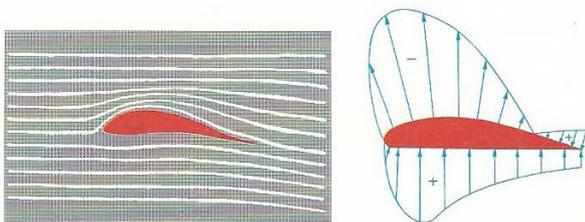


Abbildung 4.5:
Auftriebskraft (Coineau und Kresling,
1989, S. 54)

Wichtig für das Verständnis des Fliegens von Objekten die schwerer als Luft sind, ist der dynamische Auftrieb.⁴ Der Auftrieb ist die Kraft, die dem Gewicht eines Flugzeugs entgegenwirkt. Bei einem Flugzeug wird der Auftrieb hauptsächlich mit dessen Flügeln produziert.⁵

Weitere Beispiele

Natürlich gibt es beim Thema Fliegen auch viele bionische Vorbilder aus der Tierwelt. Relativ ausführlich sind diese z.B. in Coineau und Kresling (1989): Erfindungen der Natur (S. 54-80) zusammengestellt.

¹vgl. Wikipedia (2015h)

²vgl. Silvertown (2009, S. 101-102)

³vgl. Leins und Erbar (2008, S. 274)

⁴vgl. Wikipedia (2015e)

⁵vgl. NASA (2015)

4.1.3.1 Fliegertypen

Die verschiedenen „Fliegertypen in der Pflanzenwelt“ nach Beer et al. mit einigen ausgewählten Vertretern:

1. Haarflieger

- a) Schirmflieger: **Löwenzahn** (*Taraxacum* spp.), **Wiesen-Bocksbart** (*Tragopogon pratensis*), Greiskraut (*Senecio* spp.), Kohl-Gänse-distel (*Sonchus oleraceus*), Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense*), Echter Baldrian (*Valeriana officinalis*)
- b) Schopfflieger: Weide (*Salix* spp.), Wollgras (*Eriophorum vaginatum*), Weidenröschen (*Epilobium* spp.), Platane (*Platanus* spp.)
- c) Federschweifflieger: Gewöhnliche Waldrebe (*Clematis vitalba*)
- d) Haarflieger mit allseitiger Behaarung: Herbst-Anemone (*Anemone hepatica*), Baumwolle (*Gossypium* spp.), Strauchheibisch (*Hibiscus syriacus*)

2. Flügelflieger

- a) Gleit- und Segelflieger: Ulme (*Ulmus* spp.), Birke (*Betula* spp.), **Zanonia** (*Alsomitra macrocarpa*), Trompetenbaum (*Catalpa bignonioides*), Blauglockenbaum (*Paulownia tomentosa*)
- b) Schraubenflieger/ Propellerfrüchte/ Dynamikflieger: Ahorn (*Acer* spp.), Fichte (*Picea* spp.), Linde (*Tilia* spp.), Hainbuche (*Carpinus betulus*)
- c) Schraubendrehflieger: Esche (*Fraxinus excelsior*), Tulpenbaum (*Liriodendron tulipifera*), Götterbaum (*Ailanthus altissima*)

3. Ballonflieger: Blasenstrauch (*Colutea arborescens*)¹

4.1.3.2 Beispiel eines Gleit-und Segelfliegers: *Alsomitra macrocarpa*

(Flugmodell nach dem Vorbild der Samen von *Alsomitra macrocarpa* auf Seite 32)

Über die Pflanze

Die Gattung *Alsomitra* gehört zu den Kürbisgewächsen (Cucurbitaceae) und ist mit nur zwei Arten in Südostasien vertreten.² *Alsomitra macrocarpa* ist in folgenden Ländern Südostasiens verbreitet: Indonesien, Malaysia, Neuguinea, Philippinen und Thailand.³

¹vgl. Beer et al., 2012, S. 45-81

²vgl. Danert (1994, S. 87-88)

³vgl. Wikipedia (2014)



Abbildung 4.6:
Samen der *Alsomitra macrocarpa* (Hoshi, 2007)



Abbildung 4.7:
Nurflügler-Gleiter (Plant Biomechanics Group Freiburg und Kompetenznetz Biomimetik, 2013)

Frühere Bezeichnungen von *Alsomitra macrocarpa* (Blume) M. Roem. waren u.a. *Macrozanonia macrocarpa* (Blume) Cogn. und *Zanonia macrocarpa* Blume (Basionym).¹

Alsomitra macrocarpa wurde früher fälschlicherweise der Gattung *Zanonia* zugeordnet, aber der Name hat sich bis heute als Trivialname durchgesetzt.²

Das besondere der Samen von *Alsomitra macrocarpa* ist, dass sie hervorragende Gleitflieger sind und einen großen Durchmesser, ca. 12 cm, haben.³ Der außerordentliche stabile Gleitflug liegt vor allem daran, dass der Samenkern sich genau am Schwerpunkt des Flugsamens befindet.⁴

Alsomitra wächst als Liane 5 m über das Baumkronendach des Regenwalds.⁵ Die Frucht von *Alsomitra* ist eine Beere mit vielen geflügelten Samen.⁶ Wenn die fußballgroße Frucht reif ist, reißt sie auf und die Samen gleiten aus der Frucht.⁷ Die Frucht befindet sich in ca. 30 m Höhe und die Samen haben eine ungefähre Sinkgeschwindigkeit von 18 cm/ Sekunde. Selbst bei Windstille ist daher ein 240 m langer Flug möglich; mit Wind können die Samen mehr als 10 km weit fliegen.⁸

Die Anfänge des Fliegens

Die beiden Österreicher Ignaz Etrich und sein Sohn Igo wollten Otto Lilienthals Arbeit im Flugzeugbau fortsetzen. Lilienthal war zunächst sehr erfolgreich, 1891 konnte er als Erster

¹vgl. GRIN - Germplasm Resources Information Network, 2013

²vgl. Danert (1994, S. 87-88)

³vgl. Danert (1994, S. 87-88)

⁴vgl. Beer et al. (2012, S. 68-69)

⁵vgl. Silvertown (2009, S. 102-103)

⁶vgl. Erhardt et al. (2008, S. 438)

⁷vgl. Silvertown (2009, S. 102-103)

⁸vgl. Gebeshuber et al. (2009, S. 41)

4 Fachinformationen und Didaktisierungsvorschläge

mehrere hundert Meter gleiten, aber 1896 starb er bei einem seiner Flugversuche. Als das erste Flugzeug der Etrichs zu Bruch ging, dachten sie an den schrecklichen Unfall Lilienthals und entschlossen, ein stabileres Flugzeug zu bauen. Zufällig erfuhren die Etrichs von den Forschungen Friedrich Ahlborns.¹

Ahlborn war ein Realgymnasiumslehrer in Hamburg und studierte das Flugverhalten von Tieren und später von den Samen der Art *Alsomitra macrocarpa*. Seine Forschungsergebnisse beeinflussten stark die Entwicklung der Etrichs.²

Der Pflanzensamen von *Alsomitra* waren Vorbild für die Entwicklung eines **Nurflügelflugzeugs**, das in der Lage war, eine Masse von 70 kg in einem 300 m Gleitflug zu transportieren. Dieses Flugzeug schaffte es aber nicht einen 40 PS-Motor auszugleichen und Dank eines neuen Vorbilds - der Taube - kam Igo Etrich auf die Idee sein Flugzeug mit einem Schwanz auszustatten. 1910 entstand dann auch das Flugzeug „Etrichtaube“, welche auch als Aufklärer im Ersten Weltkrieg eingesetzt wurde.³

Nurflügel/Nurflügelzeug/Nurflügler „ist die Bezeichnung für Flugzeuge mit einer speziellen konstruktiven Auslegung bei denen auf ein gesondertes abgesetztes Höhenleitwerk und auf Seitenleitwerke verzichtet wird“.⁴

Für den Freizeitsport gibt es Hängegleiter, motorlose Nurflügler, deren Gleitflug vergleichbar mit dem von *Alsomitra*-Samen ist.⁵

Hinweis

Ein gutes Video vom Gleitflug der *Alsomitra macrocarpa* Samen gibt es von BBC.⁶

¹vgl. Coineau und Kresling (1989, S. 58-59)

²vgl. Hirschel et al. (2012, S. 29)

³vgl. Coineau und Kresling (1989, S. 58-59)

⁴Wikipedia (2015j)

⁵vgl. Richter (1985, S. 95)

⁶BBC Earth News (2009): http://news.bbc.co.uk/earth/hi/earth_news/newsid_8391000/8391345.stm

4.1.3.3 Beispiele für Haarschirmflieger

(Fallschirm nach dem Vorbild der „Pusteblume“ auf Seite 29)

4.1.3.3.1 Cayleys Fallschirm

Sir George Cayley (1773-1857) gehörte dem englischen Landadel an und beschäftigte sich mit der Flugphysik. 1829 erforschte Cayley das Flugverhalten der Früchte des Wiesen-Bocksbart und diese dienten ihm als Vorbild für die Entwicklung eines Fallschirms. Cayley erkannte, dass sich die Früchte nach einer Störung, z.B. durch eine Luftböe, wieder selbst in die Ruhelage einschwenken können. Verantwortlich dafür ist der tiefe Schwerpunkt und die nach außen hochgezogene tragende Fläche der Früchte. Cayley übernahm diese beiden Prinzipien und ihm gelang es, den ersten autostabilen Fallschirm zu entwickeln.¹

4.1.3.3.2 Pflanzliche Vorbilder

Der Wiesen-Bocksbart (*Tragopogon pratensis* L.)

Ein synonyme Bezeichnung für *Tragopogon pratensis* L. ist laut GRIN *Tragopogon orientalis* L.²

Der Wiesen-Bocksbart ist fast in ganz Europa verbreitet und hat als Lebensraum Fettwiesen, Wegränder und Halbtrockenrasen.³ Die Blütezeit des Wiesen-Bocksbart ist von Mai bis Juli. Namensgeber für die Blume waren ihre abgeblühten Blüten, die an einen Ziegenbart erinnern.⁴

Der Wiesen-Bocksbart gehört zu den Asteraceae (Korbblütler) und breitet sich durch Windausbreitung aus.⁵ Wie bei vielen Asteraceae tragen die Achäne des Wiesen-Bocksbart einen **Pappus**, der als Fallschirm dient.⁶ Durch die Verwebung der Pappusstrahlen ist der Pappus besonders dicht und kann daher besser fliegen.⁷

Beim **Pappus** handelt es sich um aus dem Kelch hervorgegangene Borsten oder Haare an den Früchten vieler Asteraceae.⁸

¹vgl. Nachtigall (2008, S. 14-15)

²vgl. GRIN - Germplasm Resources Information Network (2012)

³vgl. Schauer et al. (2012, S. 468)

⁴vgl. Gebeshuber, Gruber, Menasse-Wiesbauer, und Marschall (2009)

⁵vgl. Godet (1992, S. 138)

⁶vgl. Brückner (2013, S. 52)

⁷vgl. Lüder (2006, S. 489)

⁸vgl. Polunin (1977, S. XIII)

„Pustelblume“ bei Wiesen-Bocksbart und Löwenzahn

Wenn kein Wiesen-Bocksbart im Garten wächst, so wäre es möglich, als Ersatz den sehr viel häufigeren Löwenzahn herzuzeigen.

Die Gattung Löwenzahn gehört wie der Wiesen-Bocksbart zu den Korbblütlern und Haarschirmfliegern.¹

Der Gewöhnliche Löwenzahn (*Taraxacum officinale* F.H. Wigg. aggr.)

Nach GRIN wird der Gewöhnliche Löwenzahn zu der Artengruppe „*Taraxacum officinale* F.H. Wigg. aggr.“ zusammengefasst. Früher gehörte diese Gruppe zur Sektion *Ruderalia*.²

Die Blütezeit des Löwenzahns ist März bis Juli.³



Abbildung 4.8:
Fruchstand des Wiesen-Bocksbarts,
Tragopogon pratensis, Müritz-Gebiet
(Wikimedia Commons, 2006e)



Abbildung 4.9:
Makroaufnahme eines Fruchstandes von
Taraxacum sect. *Ruderalia* (Pustelblume)
(Wikimedia Commons, 2006c)

¹vgl. Leins und Erbar (2008, S. 277)

²vgl. GRIN - Germplasm Resources Information Network (2014)

³vgl. Lüder (2006, S. 489)

4.1.3.4 Experimentelle und kreative Übungen zum Thema Flugsamen

Zielsetzung

Bei den folgenden Übungen stehen die verschiedenen Flug-Diasporen Modell für die Flugobjekte, die die SchülerInnen anfertigen werden. An das Prinzip des Bottom-up-Prozesses (auf Seite 11) bei bionischer Forschung sollen die SchülerInnen durch ihr eigenes Experimentieren herangeführt werden.

4.1.3.4.1 Fallschirm nach dem Vorbild der „Pustebblume“

Diese Bastelidee wurde von wikiHow¹ teilweise übernommen und adaptiert.

Zielsetzung

Auf den ersten Blick sieht der Papier-Fallschirm dem Pappus eines Wiesen-Bocksbarts oder Löwenzahns nicht ähnlich. Wichtig für diese Übung ist es daher, dass die SchülerInnen an die Analogien zwischen dem Modell (Pappus) und dem bionischen Produkt (Fallschirm) und die Überlegungen von Cayley herangeführt werden. Des Weiteren sollen die SchülerInnen durch Versuch und Irrtum selbst ein geeignetes Gewicht für ihren Fallschirm finden.

Materialien

- Scheren
- Servietten
- Garn
- Kleine Gewichte, die man in einem Botanischen Garten findet (z.B. Steinchen, kleine Nüsse usw.) oder Büroklammern

Bastelanleitung

1. Garn schneiden: 4 Stück ca. 30 cm lang (Länge eines A4-Blattes).
2. Die Serviette muss einlagig sein → mehrlagige Servietten zuerst zerlegen
3. Drücke die Enden der Serviette zusammen und binde jeweils ein Stück Garn an.
4. Knote die Enden der 4 Garnstücke in der Mitte des Fallschirms zusammen. Schneide ca. 1 cm nach dem Knoten den Garn ab.

¹wikiHow (2015): Methode 2 von 4: Bau eine Papier-Fallschirm

4 Fachinformationen und Didaktisierungsvorschläge

5. Schneide ein ca. 15 cm langes Stück Garn ab und binde es an den Knoten.
6. Such ein passendes kleines Gewicht im Botanischen Garten.
7. Befestige dein Gewicht an dem 15 cm langen Stück Garn.
8. Lass deinen Fallschirm fliegen!



Abbildung 4.10:
Ein Servietten-Fallschirm (wikiHow, 2015)

4.1.3.4.2 Flugwettbewerb

Zielsetzung

Diese Übung ist besonders individuell, da sich jede/r SchülerIn selbstständig ein pflanzliches Modell aussuchen kann. Wichtig für diese Übung ist es, dass die SchülerInnen verstehen, dass sie für ihre Entwicklung zuerst die wichtigsten Merkmale der pflanzlichen Modelle abstrahieren müssen.

Ablauf

Wer kann den besten Papierflieger nach Pflanzenvorbild konstruieren?

Die SchülerInnen können zu jeder Jahreszeit flugfähige Früchte und Samen in Botanischen Gärten sammeln. Sie können sich dann individuell für ein pflanzliches Vorbild entscheiden und es versuchen nachzubauen.¹

Materialien

- A4-Papier
- Schere
- Kleber
- Klebeband/ Kleber

¹vgl. Speck et al. (2006a, S. 93)

4.1.3.4.3 Flugmodell nach dem Vorbild der Samen von *Alsomitra macrocarpa*

Zielsetzung

Die SchülerInnen, auch jüngere, sollen die Analogien eines *Alsomitra*-Samens mit einem Nurflügler-Gleiter (siehe Abbildung 4.7 auf Seite 25) erkennen. Die SchülerInnen sollen das Flugverhalten ihres Flugmodells beobachten und eventuell durch Gewichte den Flieger optimieren.

Materialien

- Schautafeln
- Flugmodell (siehe Abbildung 4.11 auf der nächsten Seite)
- Scheren
- Stifte
- eventuell: Büroklammern oder Ähnliches

Ablauf

Ideal wäre es, bei einer Führung zumindest einen *Alsomitra macrocarpa* Samen herzeigen zu können. Alternativ kann ein Foto von diesem in Originalgröße ausgedruckt und als Schautafel verwendet werden.

Wenn keine *Alsomitra*-Samen vorhanden sind, können auch die Diasporen des Typus „Gleit- und Segelflieger“ von anderen Pflanzen untersucht werden. Beispiele hierfür sind: Ulme, Birke, Trompetenbaum und Blauglockenbaum.

Die SchülerInnen schneiden ein Flugmodell aus und testen das Flugverhalten auf einer Wiese aus. Bevor es zu einer Flugschau geht, sollen die Flieger mit den Namen beschriftet werden. Die SchülerInnen können auch versuchen, den Gleitflug zu verbessern, z.B. indem sie eine Büroklammer an der Stelle des Samenkerns montieren.

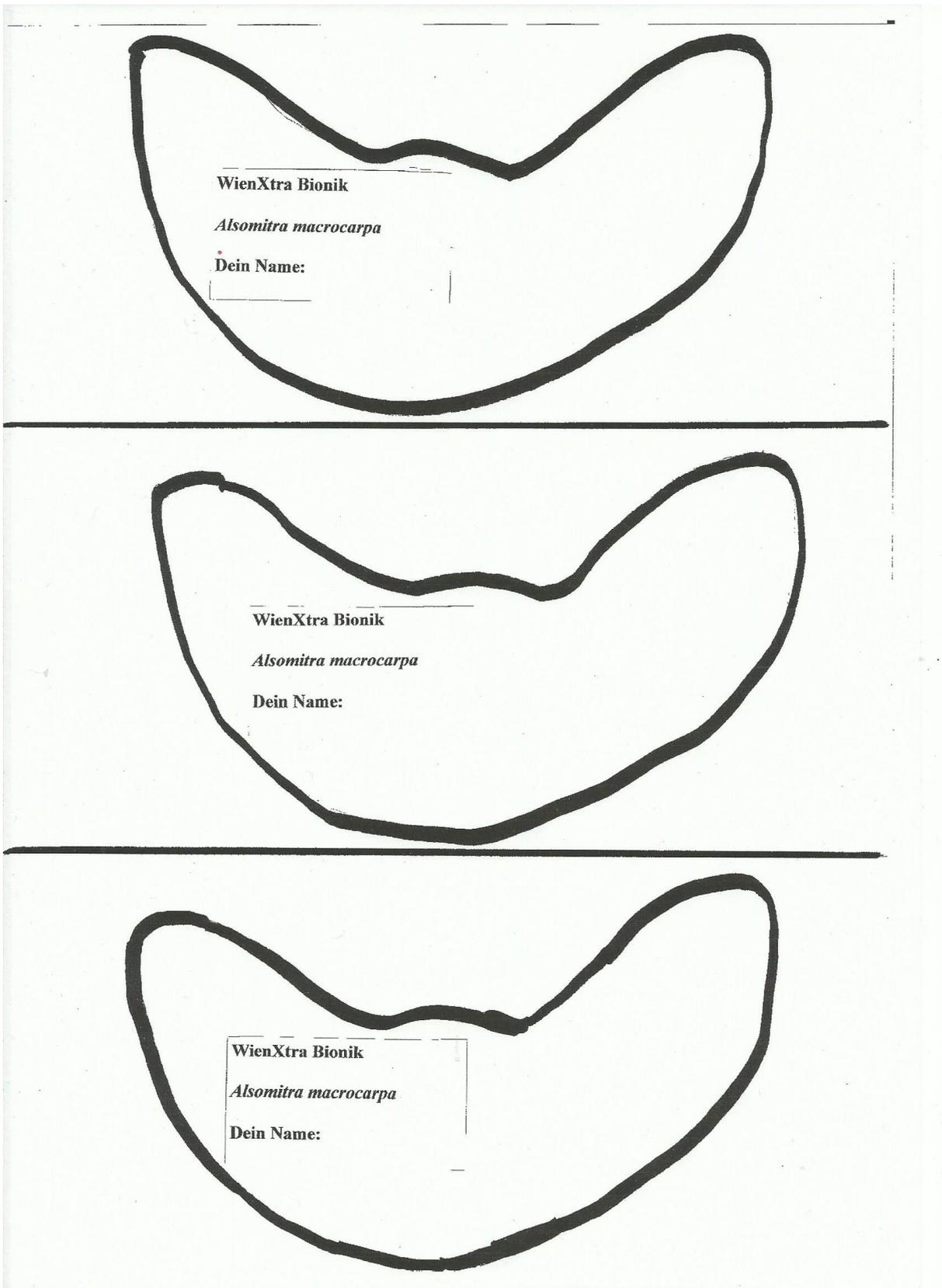


Abbildung 4.11:
Flugmodell von *Alsomitra macrocarpa* Samen (Wikimedia Commons, 2011a, als Vorlage)

4.2 Bau-Bionik mit pflanzlichen Vorbildern

4.2.1 Leichtbau

„Leichtbauweise ist eine Konstruktionsphilosophie, die maximale Gewichtseinsparung zum Ziel hat.“¹

4.2.1.1 Crystal Palace: *Victoria amazonica* (Riesenseerose)



Abbildung 4.12:
Sir Joseph Paxton (Wikimedia
Commons, 2012)

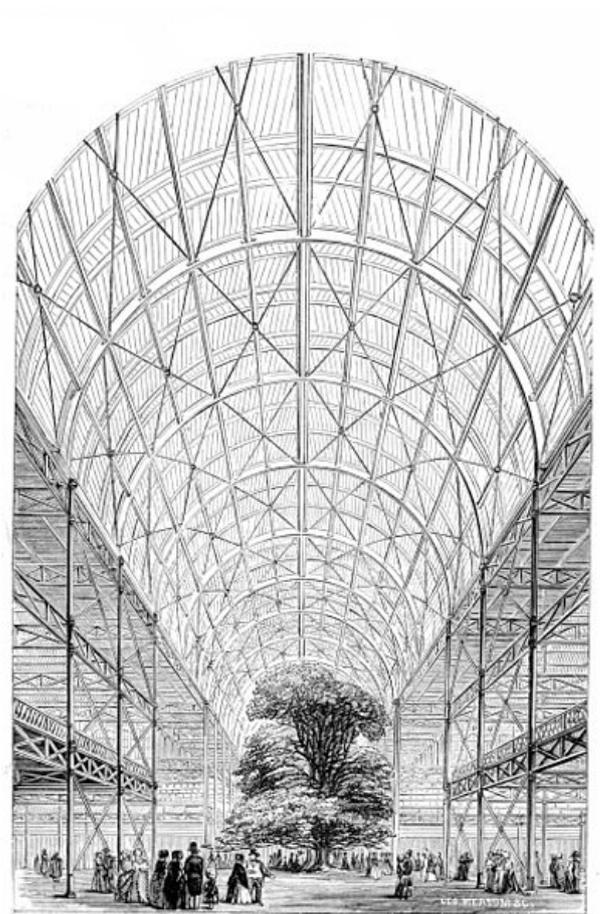


Abbildung 4.13:
The Crystal Palace, 1851 (Wikimedia
Commons, 2013b)
View of the Interior of the Transept of the
Crystal Palace

¹Wikipedia (2015i)

Der Crystal Palace

„[The] Crystal Palace was one of the most influential buildings ever erected.”¹

Der Crystal Palace wurde von Sir Joseph Paxton für die erste Weltausstellung 1851 in London entworfen.² Das Komitee der Weltausstellung stellte den Ingenieur aber vor eine scheinbar unlösbare Aufgabe. Das Gebäude sollte:

1. sehr groß sein - so groß, dass mehrere der damals größten Gebäude hineinpassen würden
2. entsprechend der Größe so billig, wie noch nie ein Gebäude zuvor, sein
3. der Bau muss in Wochen und nicht in Jahren fertig sein
4. und das ganze Gebäude musste entfernbar sein, ohne dass die Landschaft, inklusive Bäume, Schaden nimmt³

233 Entwürfe wurden zuvor beim Komitee eingereicht und alle wurden, weil sie nicht den Vorgaben entsprachen, abgelehnt. Das Unternehmen Weltausstellung - „The Great Exhibition” drohte zu scheitern.⁴ Einige Konservative im Baukomitee wollten Paxtons Entwurf, der später eingereicht wurde, aber nicht akzeptieren, weil Paxton weder Ingenieur noch Architekt war.⁵ Wer war also dieser Paxton und warum schaffte er das scheinbar Unmögliche?

Sir Joseph Paxton war zunächst nur Gärtner für den Grafen von Devonshire, aber bewies sich auch bald als sehr erfolgreicher Ingenieur.⁶ Bevor Paxton den Crystal Palace entwarf, hatte er schon Erfahrung im Bau von Glashäusern. 1831/32 entwickelte er bereits ein neuartiges Prinzip für die Glaseindeckung: „Grat und Rinne” („ridge-and-furrow”) die den Bau geneigten Glasflächen erleichterte. Das Great Conservatory in Chatsworth wurde unter Paxton von 1836-1840 gebaut und viele der damaligen Entwicklungen waren dann auch für den späteren Crystal Palace nützlich. Wichtige Entwicklungen waren das „gefaltetene” Dach und der Wasserablauf für Regen- und Kondenswasser durch Rinnenträger. Für seine neuartige Dachkonstruktion benötigte Paxton möglichst große Glasscheiben 1,22 m (4 feet), die eigens für ihn produziert wurden.⁷

Der Crystal Palace gilt als „Pionierwerk des rationalen Bauens” und der Präfabrikation, da alle Einzelteile eine standardisierte Größe hatten und vorgefertigt wurden. Dies waren auch

¹McKean (1999, S. 1)

²vgl. Merin (2013)

³vgl. McKean (1999, S. 6)

⁴vgl. McKean (1999, S. 9)

⁵vgl. Schneider (2005, S. 74)

⁶vgl. Coineau und Kresling (1989, S. 29)

⁷vgl. Schneider (2005, S. 70-71)

die Voraussetzungen dafür, dass das Ausstellungsgebäude in nur 17 Wochen mit 80 Mann, hauptsächlich Hilfsarbeiter, fertiggestellt wurde.¹

Die Besucher konnten ein, für die Zeit, einmaliges Raumerlebnis genießen, so war die 8,4 ha große fünfschiffige Halle nur durch Glas und Eisen begrenzt. Dass der Palace auch von seinen Zeitgenossen als schön empfunden wurde, war im 19. Jahrhundert nicht selbstverständlich. Stahl wurde hauptsächlich für „Zweckbauten“ wie Bahnhofshallen verwendet und der Eiffelturm wurde nach seiner Erbauung zur „Schande von Paris“ erklärt. Die Vorteile Stahls gegenüber Steins sind aber offensichtlich: Schmiedeeisen ist viermal so schwer, aber vierzigmal so zug- und biegefest. Tatsächlich ermöglichte Eisen eine Revolution im Bauweisen: Der **Skelettbau** war möglich.²

Skelettbau: „Bauweise aus einem Gerippe von Holz, Stein, Stahl oder Stahlbeton über einem Rastersystem. Das Skelett übernimmt alle tragenden Funktionen [...]“³

Ein Vergleich der St. Paul's Cathedral mit dem Crystal Palace zeigt dessen revolutionäres Design (s. Tabelle 4.1). Der Crystal Palace übertraf die St. Paul's Cathedral eindeutig in der Fläche, bei deutlich geringeren Materialverbrauch und kann (für damalige Zeiten) als Bauwerk nach Leichtbauprinzip angesehen werden.

	St. Paul's Cathedral	Crystal Palace
Länge x Breite x Höhe	158 m x 75 m x 111 m Breite der Querschiffe Höhe der Kuppel	600 m x 120 m x 34 m
Wandstärke	4 m	20 cm
Bauzeit	35 Jahre	17 Wochen
Fertigstellung	20er des 18. Jahrhunderts	1851

Tabelle 4.1:
Vergleich der St. Paul's Cathedral mit dem Crystal Palace (vgl. Gympel, 2005, S. 75, McKean, 1999, S. 1 und Wikipedia, 2015k)

Leider wurde der Crystal Palace 1936 in einem Feuer zerstört.⁴

Das Vorbild: *Victoria amazonica*

Nach GRIN - Germplasm Resources Information Network sind frühere Bezeichnungen von *Victoria amazonica* (Poepp.) J.C. Sowerby u.a., *Victoria regia* Lindl und *Victoria regina* R.H. Schomb.⁵

¹vgl. Gympel (2005, S. 75-77)

²vgl. Gympel (2005, S. 75-77)

³Gympel (2005, S. 114)

⁴vgl. Merin (2013)

⁵vgl. GRIN - Germplasm Resources Information Network, 1997

4 Fachinformationen und Didaktisierungsvorschläge

Als Gärtner zog Joseph Paxton erfolgreich *Victoria amazonica* in einem Gewächshaus auf und brachte sie sogar, als Erster in Europa, 1849 zum Blühen.¹ Paxton war beeindruckt von *Victoria amazonicas* riesigen Schwimmblättern, deren Durchmesser bis zu zwei Meter betragen kann, und vor allem von deren Tragfähigkeit. Selbst bei enormer zusätzlicher Belastung tauchten die Blätter nicht unter. Paxton hatte sogar seine achtjährige Tochter auf ein Blatt von *Victoria amazonica* gestellt. Die außerordentliche Tragfähigkeit des Schwimmblattes verdankt *Victoria amazonica* einem „Netz von strahlenförmigen und konzentrischen Rippen“, die sich auf der Unterseite des Schwimmblattes befinden und das Blatt „versteifen“. Die Beschäftigung als Gärtner mit der Riesenseerose führte ihn auch zu seinen innovativen Bauweisen.² (siehe Abbildungen 4.15 und 4.16 auf der nächsten Seite)

Die Analogie zwischen *Victoria amazonica* und dem Crystal Palace nach Coineau und Kresling sind in der Tabelle (4.2) zusammengefasst.

<i>Victoria amazonica</i>	Crystal Palace
die „dicken radialen Blattrippen“	„die langen Tragbalken“
„kreisförmig angeordneten Zwischenstege, die die Blattrippen untereinander verbinden und die Struktur versteifen“	„die 'Regenrinnen von Paxton', unterspannte Querbalken aus Holz“
„Membran der Blattspreite“	„das verglaste Dach“
„das Blatt, das auf der Wasseroberfläche ruht“	das Dach liegt „in regelmäßigen Abständen auf Stützen auf“
Regenwasser kann „durch ein paar feine Löcher abgestorbener Zellen in der Blattspreite ablaufen“ (ansonsten würde das Blatt bei einem Regenschauer untergehen)	die „Paxton-Rinnen“ - Regenwasser und Kondenswasser werden „durch die tragende Eisenstruktur nach unten abgeleitet“

Tabelle 4.2:

Analogien: Crystal Palace - *Victoria amazonica* (vgl. Coineau und Kresling, 1989, S. 29)

Das pflanzliche Vorbild für den Crystal Palace kann man im Botanischen Garten der Universität Wien in einem geheizten Victoriahaus jedes Jahr ab Mai besichtigen.³

Passende Infoblätter der Grünen Schule

Botanischer Garten der Universität Wien 2001a: Entdeckung und Einführung nach Europa

Botanischer Garten der Universität Wien, 2001b: Verbreitung und Biologie

¹vgl. Schneider (2005, S. 73)

²vgl. Coineau und Kresling (1989, S. 29)

³vgl. Botanischer Garten der Universität Wien (2001b)

4.2.1.1 Vorschläge für die Führung

Die Blätter, eventuell auch deren Unterseite, von *Victoria amazonica* ansehen. Zusätzlich können Schautafeln mit Fotos vom Crystal Palace hergezeigt werden und die Gruppe kann mögliche Analogien zwischen der Pflanze und dem Gebäude erraten.



Abbildung 4.14:
Victoria amazonica (Wikimedia Commons, 2005a)



Abbildung 4.15:
Unterseite von *Victoria amazonica* (Wikimedia Commons, 2008)

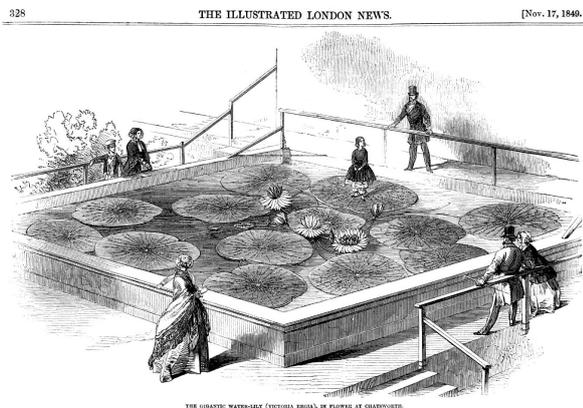


Abbildung 4.16:
Paxtons Tochter steht auf einem Blatt von *Victoria amazonica*, 1849 (Wikimedia Commons, 2005c)
The Gigantic Waterlily (Victoria Regia), In Flower At Chatsworth, 17 November 1849, The Illustrated London News

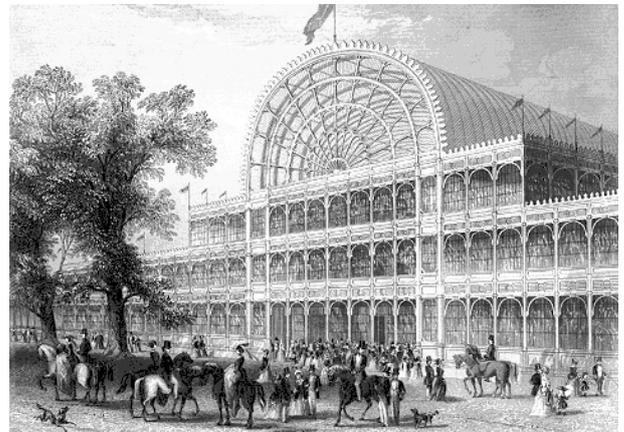


Abbildung 4.17:
The Crystal Palace, 1851 (Merin, 2013)

4.2.1.2 Hochbaukonstruktionen vom Bambus inspiriert

Nach Nachtigall könnte ein Vergleich zwischen technischen und pflanzlichen Hochbaukonstruktionen eventuell der Technik neue Impulse geben.¹ Bambus- und Pfahlrohrarten gehören zu den Riesen der Poaceae (Süßgräser) und wären daher ideale Vorbilder.²

In der Natur gibt es keinen Getreidehalm, der 100 Meter hoch ist, aber in Malaysia gibt es z.B. Bambus-Baugerüste, die bis zu 80 Meter hoch sind.³ Nachtigall warnt aber vor einer Verherrlichung natürlicher Konstruktionen, denn Pflanzen werden auch plumper wenn sie höher werden. Die „Kicksches Gesetz der proportionalen Widerstände“ bieten hierfür eine einfache Rechnung: Dicke \sim Länge^{1,5}.⁴

	Verhältnis Höhe zu Dicke
Getreidehalm	500
Bambus	136
Tanne	42
Mammutbaum	15

Tabelle 4.3:

Verhältnis Höhe zu Dicke bei pflanzlichen „Bauwerken“ (vgl. Nachtigall, 1997, S. 13 Abb. 7)

Phyllostachys ist eine Bambusgattung. Mit dem Begriff „Bambus“ ist die ganze Unterfamilie Bambusoideae gemeint. Bambus werden u.a. durch holzige Halme charakterisiert.⁵ Als „Halme“ werden die hohle oder markhaltige Stängel der Poaceae bezeichnet.⁶ Die Halme der Bambusoideae sind, wie von bei meisten Poaceae, hohlzylindrisch. Bei Bambus handelt es sich um eine evolutionär entwickelte, mechanisch hoch stabile Leichtbaukonstruktion, die wenig Festigungsgewebe benötigt.⁷

Bäume u.a. haben sekundäres Dickenwachstum - bei diesem wird Kambium gebildet.⁸ Süßgräser können nur sehr limitiert auf mechanische Störungen mit adaptiven Wachstum reagieren, weil sie nicht zum sekundären Dickenwachstum befähigt sind, und benötigen daher andere Strategien. Das lokale Knicken der Halme kann beim Bambus mit sehr geringem Materialaufwand verhindert werden. Die Halme sind von massiven **Nodien** begrenzt. Außerdem werden die Halme durch lange hohle **Internodien** unterteilt.⁹

¹vgl. Nachtigall (1997, S.11;13)

²vgl. Speck und Speck (2007, S. 21)

³vgl. Nachtigall und Blüchel (2001, S. 151)

⁴vgl. Nachtigall (1997, S. 12-13)

⁵vgl. Botanischer Garten der Universität Wien (2007a)

⁶vgl. Wagenitz (2008, S. 135)

⁷vgl. Speck und Speck (2007, S. 21)

⁸vgl. Wagenitz (2008, S. 82)

⁹vgl. Speck und Speck (2007, S. 21)

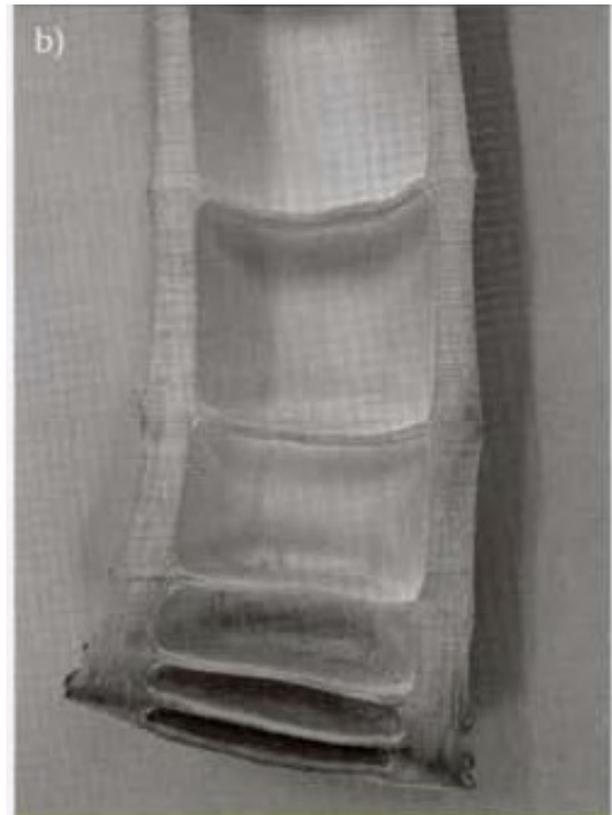
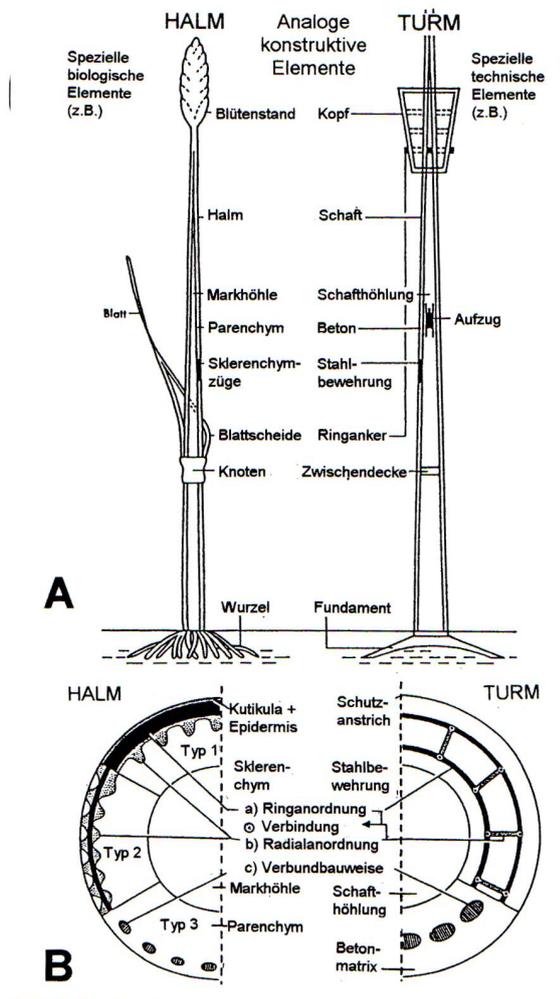


Abbildung 4.18: Biologische und technische Hochbauten im theoretischen Vergleich (Nachtigall und Blüchel, 2001, 151)

„Analoga“: Ein „Riesengetreidehalm“ müsste so plump ausfallen wie der „schlankeste“ Industrieschornstein

Abbildung 4.19: *Phyllostachys pubescens*: Längsschnitt durch die Halmbasis (Speck und Speck, 2007, 21 Abb. 3)

Riesenbambus (*Phyllostachys pubescens*), (b) Längsschnitt durch die Halmbasis. Man erkennt die sich zur Basis hin verkürzenden Internodien und die sich verdickende Halmwand

4 Fachinformationen und Didaktisierungsvorschläge

Ein **Nodus/Knoten** ist der „Bereich der Sprossachse, an dem ein oder mehrere Blätter ansetzen“.¹ Das **Internodium** bezeichnet das „Stück eines Stängels zwischen den Knoten, das definitionsgemäß keine Blätter trägt“.²

Prof. Dr. Claus Mattheck fand mit seinem Forschungsteam heraus, dass gekreuzte Zugverspannungen in den Querwänden des Bambus das Einbeulen verhindern. Weitere Merkmale eines schlanken Halmes sind, dass die Internodienlänge zur Halmbasis abnimmt, währenddessen die Dicke der Halmwand zunimmt.³

Passende Infoblätter der Grünen Schule

Botanischer Garten der Universität Wien (2007a): Die Bambusgattung *Phyllostachys*

Botanischer Garten der Universität Wien (2014): Der Riesenbambus - *Dendrocalamus giganteus*

Objekte, die im Botanischen Garten der Universität Wien zur Demonstration der Leichtbauweise genutzt werden können:

Im Botanischen Garten gibt es die Bambusart *Phyllostachys viridiglaucescens* seit 1893, welche inzwischen eine Fläche von 300 m² einnimmt.⁴

Im Tropenhaus des Botanischen Gartens wächst *Dendrocalamus giganteus* (Riesenbambus) und dort befindet sich auch ein aufgeschnittener Halbachsenabschnitt des Riesenbambus.⁵

¹Wagenitz (2008, S. 174)

²Wagenitz (2008, S. 159)

³vgl. Speck und Speck (2007, S. 20-21)

⁴vgl. Botanischer Garten der Universität Wien (2007a)

⁵vgl. Botanischer Garten der Universität Wien (2014)

4.2.1.2.1 Leichtbau-Turm

Zielsetzung

Die SchülerInnen sollen den Bambus in natura genau betrachten, um zumindest einige seiner Leichtbau-Elemente zu verstehen. Die SchülerInnen können dann versuchen, die gewonnenen Erkenntnisse praktisch beim Bau ihres Turmes umzusetzen.

Materialien

- eine Büroklammerbox o.Ä.

pro Gruppe

- 5 A4-Blätter
- Schere
- Klebeband

Ablauf

Vor dem Basteln sollte der Bambus nach Möglichkeit zuerst in natura besichtigt werden. Ein Längsschnitt durch einen getrockneten Halm, oder ein Foto dessen, dient der Veranschaulichung der Nodien.

Die Aufgabenstellung lautet: Mit fünf A4-Blättern einen Turm so hoch wie möglich zu bauen. Die SchülerInnen sollen in Gruppen aus drei oder vier SchülerInnen zusammenarbeiten. Ein erfolgreicher Turm kann von alleine stehen und z.B. eine Büroklammerbox tragen. Für einen stabilen Turm sind eine gute, solide Basis und mehrere punktuelle Verstärkungen nach Vorbild des Bambus Voraussetzung.

4.2.2 Falten

Geht man mit offenen Augen durch die Natur, so stößt man in der Pflanzen- und Tierwelt auf unzählige Formen von Falten. In diesem Abschnitt wird auf die Bedeutung von Falten in der Botanik näher eingegangen.

Die Blätter der meisten Pflanzen sind z.B. gefaltet und aufgerollt, wenn sie noch in der Knospe sind.¹ Zum Beispiel warten die Blüten der Mohnblume auf den optimalen Zeitpunkt um sich aus ihrer Knospe zu entfalten.²

Einige Vorteile von Falten in der Natur sind nach Schmid et al.:

- Falten brauchen weniger Platz
- Falten schützen empfindliche Stellen
- Falten halten mehr aus (z.B. Windkräfte)³

Palmwedel und Faltdach

Die Vorteile von Palmwedeln der Fächerpalmen sind nach Schmid et al. folgende: Die Zickzackfaltung macht es möglich, dass ein Palmblatt stärkere Windkräfte standhalten als ein Blatt ohne Falten.⁴ Die Falten eines Palmwedels erhöhen nicht nur dessen Stabilität, sondern sie reduzieren auch die Verdunstung der Blätter.⁵

Die Tunnelausfahrt des Mont-Blanc-Tunnels auf der französischen Seite ist ein berühmtes Beispiel für ein Bauwerk mit Faltdach. Die Analogien zu den Faltungen eines Palmblattes sind leicht ersichtlich.

Ein weiteres Herausragen des Daches des Mont-Blanc-Tunnels ist durch die dünnwandige Konstruktion Dank der Faltungen möglich.⁶

(siehe Abbildungen 4.21 und 4.20 auf der nächsten Seite)

Die Miura-Faltung und das Blattmodell

Blätter können aus mechanischer Sicht auch als Leichtbaukonstruktionen definiert werden. Das Blattadersystem versorgt nicht nur, sondern sorgt auch für die Versteifung des Faltsystems.⁷

¹vgl. Kobayashi et al. (1998, S.147)

²vgl. DasErste.de (2009)

³vgl. Schmid, Speck, und Speck (2009, S. 34-35)

⁴vgl. Schmid et al. (2009, S. 35)

⁵vgl. TECHNOSEUM - Landesmuseum für Technik und Arbeit in Mannheim (2013)

⁶Coineau und Kresling (1989, S.33)

⁷vgl. Schmid et al. (2009, S.37)



Abbildung 4.20:
Zwergpalme (*Chamaerops humilis*)
(Wikimedia Commons, 2005b)



Abbildung 4.21:
Tunnelausfahrt des Mont-Blanc-Tunnels
auf französischer Seite (Wikimedia
Commons, 2011c)

Der japanische Physiker K. Miura entwickelte einen Faltmechanismus für Sonnenkollektoren einer Raumstation. Das besondere an Miuras Faltkonstruktion ist, dass es möglich ist „die ganze Konstruktion auf einmal in den drei Raumrichtungen zu öffnen und auch wieder zu einem Faltpaket zusammenzuschieben“.¹

Pflanzliche Vorbilder fand Miura bei den Blättern von Hainbuche (*Carpinus betulus*) und Rot-Buche (*Fagus sylvatica*). Die Blätter der beiden Baumarten haben relativ einfache und regelmäßig gewellte Faltmuster und -mechanismen.² (s. Abbildungen 4.22 und 4.23 auf der nächsten Seite)

Die Analogien zwischen den Laubblättern und der Miura-Faltung (auf Seite 48) sind aber nicht mehr offensichtlich. Ein Papiermodell eines Laubblattes (auf Seite 46) kann als Veranschaulichung der schrittweisen Entwicklung eines Bionik-Produkts genutzt werden.

Das Thema Falten im Unterricht

Nach Schmid et al. sind Falten auch ein ideales Thema für projektorientierten Unterricht mit experimentellen Arbeiten. Ein weiterer Vorteil von einem Faltpjekt ist die Option, mit wenig und günstigeren Materialien praktisch arbeiten zu können.³

Hinweis

Auch bei Tieren gibt es interessante Falten, z.B. Hinterflügel von manchen Insekten.⁴

¹vgl. Nachtigall (2002, S.161)

²vgl. Kobayashi et al. (1998, S.147)

³vgl. Schmid et al. (2009, S.43)

⁴vgl. Schmid et al. (2009, S. 34; 36)



Abbildung 4.22:
Hainbuche (*Carpinus betulus*)
(Wikimedia Commons, 2006a)



Abbildung 4.23:
Rot-Buche (*Fagus sylvatica*) (Wikimedia
Commons, 2007b)

4.2.2.1 Experimentelles Arbeiten zum Thema Falten

Abhängig vom Schwerpunkt des Projekts und dem Alter der SchülerInnen können die Modelle entweder als Demonstration vom/von der GartenführerIn hergezeigt werden oder auch von der SchülerInnengruppe selbst gebastelt werden.

4.2.2.1.1 DEMO Stabilität von Falten

Diese Bastelidee wurde von Schmid et al.¹ teilweise übernommen und adaptiert.

Zielsetzung

Ziele dieses Experiment ist es, dass die SchülerInnen nicht einfach nur dem/der GartenführerIn glauben müssen, dass Falten die Stabilität erhöhen, sondern dies auch selbst beobachten können.

Materialien

- Bastelvorlage (siehe Abbildung 4.24 auf der nächsten Seite)
- Schere
- zwei Becher
- eine Münze

¹Schmid, Speck, und Speck (2009, S. 41; Kopiervorlage 1)

Ablauf

1. Schneide die Bastelvorlage in der Hälfte durch.
2. Die Hälfte ohne Linien bleibt so, wie sie ist.
3. Falte die andere Hälfte wie eine Ziehharmonika mit abwechselnd Berg- und Talfalten. (siehe Abbildung 4.25 auf der nächsten Seite)
4. Vergleiche nun die Stabilität der beiden A5-Blätter miteinander:
5. Stelle zwei Becher in einem Abstand von ca. 10 cm auf einen Tisch. (siehe Abbildung 4.26 auf der nächsten Seite)
 - a) Lege zuerst das ungefaltete Blatt auf die Becher, wie eine Brücke, und lege dann eine Münze auf dieses Blatt. → was geschieht?
 - b) Lege dann das gefaltete Blatt auf die Becher und dann wieder dieselbe Münze auf das gefaltene Blatt. → was geschieht?
6. Die SchülerInnen überlegen lassen, warum es zu unterschiedlichen Ergebnissen kommt.

Bastelvorlage Stabilität von Falten

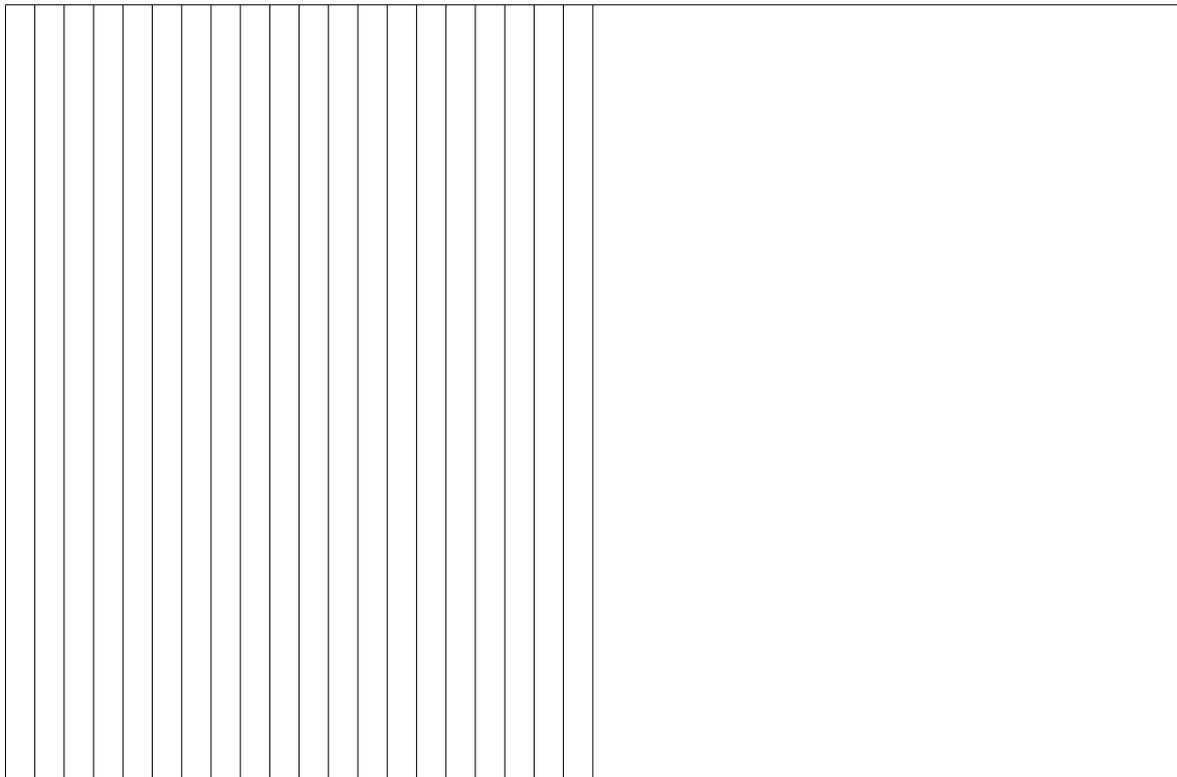


Abbildung 4.24: Bastelvorlage Stabilität von Falten (von der Verfasserin)

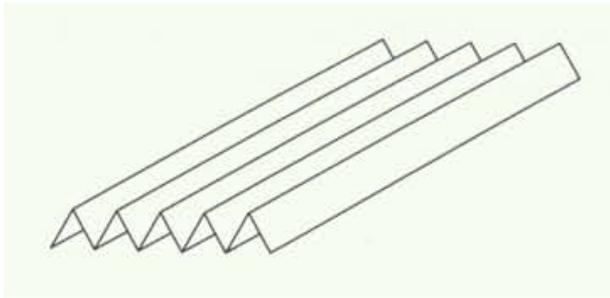


Abbildung 4.25:
Stabilität von Falten: Berg- und Talfalten
(Schmid et al., 2009, S. 41;
Kopiervorlage 1; Abb. 2)

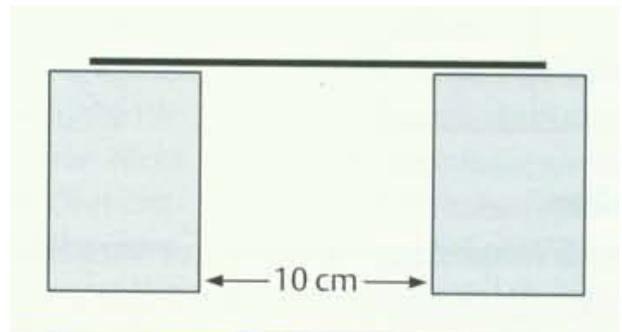


Abbildung 4.26:
Stabilität von Falten: Versuchsanordnung
(Schmid et al., 2009, S. 41;
Kopiervorlage 1; Abb. 6)

4.2.2.1.2 Das Blattmodell

Diese Bastelidee wurde von Schmid et al.¹ teilweise übernommen und adaptiert.

Zielsetzung

Mit Hilfe des Blattmodells können die SchülerInnen besser verstehen, wie sich aus einer Knospe ein Blatt entfaltet. Diese Übung ist auch für jüngere SchülerInnen gut geeignet. Außerdem kann dieses Modell auch als Vorbereitung für die Miura-Faltung (auf Seite 48) dienen.

Materialien

- Bastelvorlage (siehe Abbildung 4.29 auf der nächsten Seite)
- Schere
- eventuell: Lineal

Ablauf

1. Schneide das Modell aus.
2. Es ist hilfreich, wenn man die Seitenrippenlinien zuerst mit Schere und Lineal leicht einritz.
3. Falte das Modell entsprechend der zwei Linientypen:
 - a) die gestrichelten Linien werden zu Talfalten:

¹Schmid, Speck, und Speck (2009, S. 42; Kopiervorlage 2)

- b) die durchgezogenen Linien werden zu Bergfalten.
- 4. Schiebe das Blattmodell zusammen (siehe Abbildung 4.28).
- 5. Die SchülerInnen den Prozess beschreiben lassen.



Abbildung 4.27:
Hainbuche (*Carpinus betulus*) (Wikimedia Commons, 2007a) [gespiegelt]

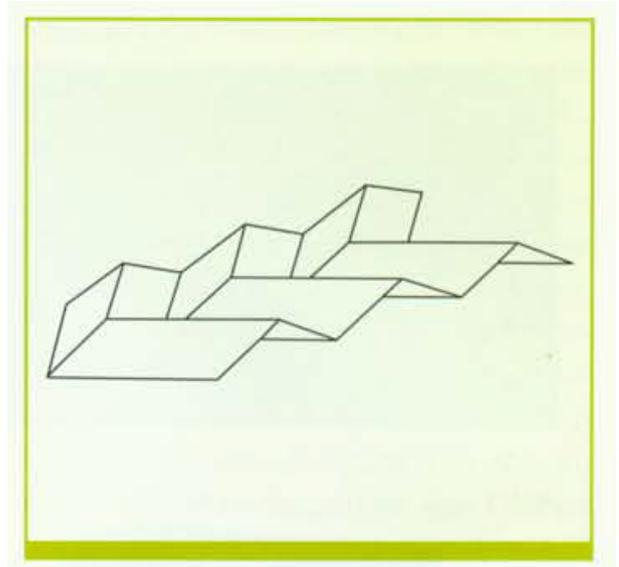


Abbildung 4.28:
Blattmodell: halb entfalteter Zustand (Schmid et al., 2009, S. 38; Abb.12)

Bastelvorlage Blattmodell

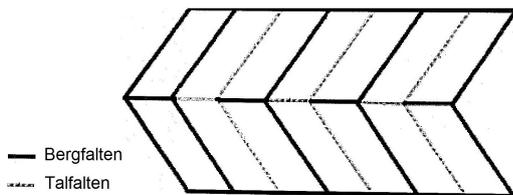


Abbildung 4.29:
Blattmodell mit Beschriftung (Schmid et al., 2009, S. 42; Kopiervorlage 2 - verändert)

4.2.2.1.3 Miura-Faltung

Zielsetzung

Die SchülerInnen sollen selbst entdecken, wie ihr Papier mit Hilfe der Miura-Faltung mit nur einer Bewegung gefaltet und entfaltet werden kann. Außerdem sollen sie durch den Vergleich mit einem konventionell gefalteten Papier die Vorteile dieser Falttechnik erkennen.

Benötigte Materialien

- Bastelvorlage: am besten beidseitig, farbig kopiert (siehe Abbildung 4.30 auf der nächsten Seite)
- ein Lineal
- eine Schere
- (eine Unterlage für den Tisch, z.B. einen Karton)

Bastelanleitung

1. Zuerst ein Muster (z.B. Strich-Strich) mit einem Lineal und einer Schere ritzen.
2. Das Blatt wenden und das andere Muster (z.B. Strich-Punkt) ritzen.
3. Entlang den geritzten Linien falten: Tal- und Bergfalten.
4. Die ganze Struktur mit einer Bewegung zusammen- und entfalten.

Ablauf

Interessant ist der Vergleich von zwei gleich großen Papierstücken: Eines wird „normal“ gefaltet, das andere mit der Miura-Faltung. Wie viele Schritte sind notwendig, um das „normal“ gefaltene Papier so klein wie das Miura-Faltpaket zu bekommen? Im Vergleich dazu braucht die Miura-Faltung nur einen einzigen Schritt.

Des Weiteren kann man auch die SchülerInnen überlegen lassen, was mögliche Anwendungsgebiete von der Miura-Faltung (abgesehen vom Sonnensegel) sein könnten.

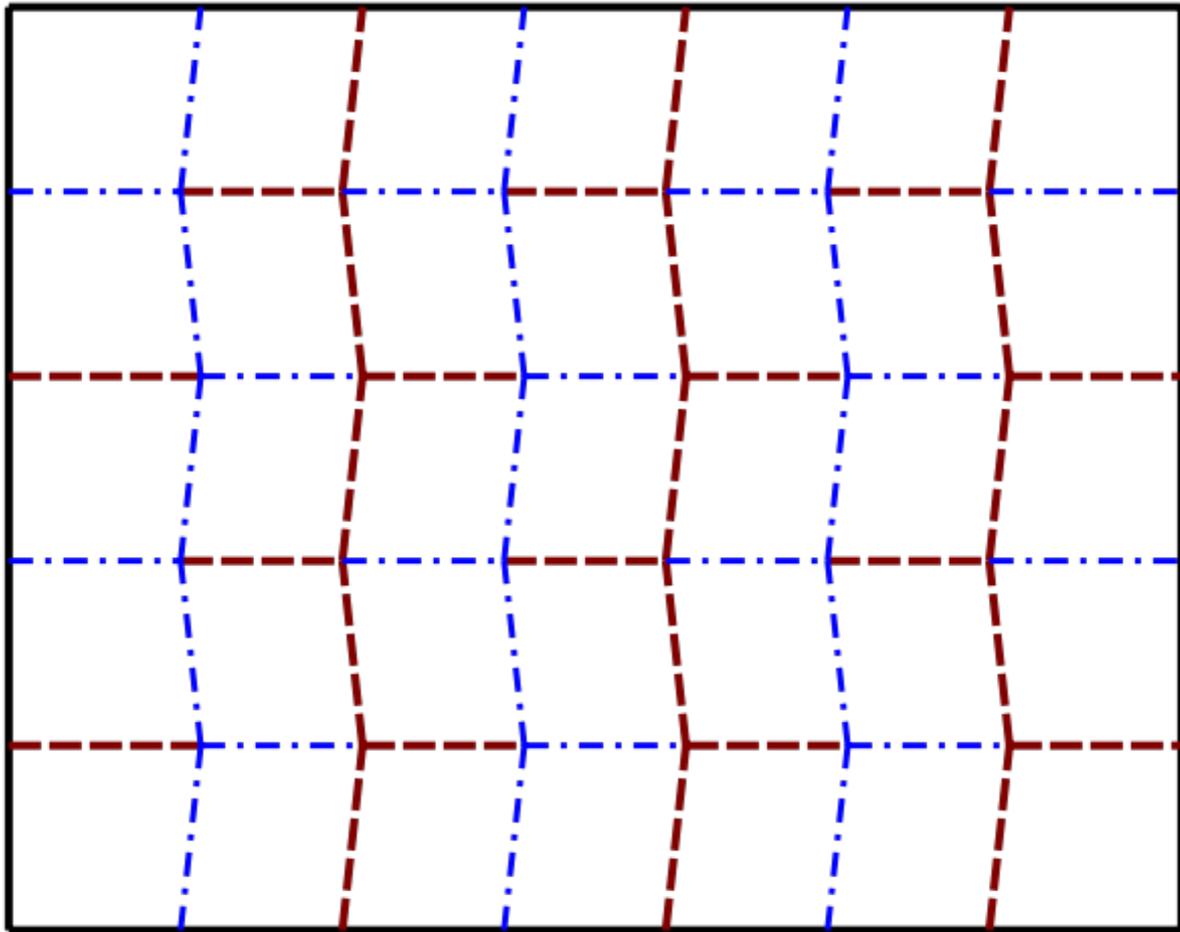


Abbildung 4.30: Bastelvorlage Miura-Ori Faltmuster (Wikimedia Commons, 2011b)

Z.B. rote Linien = Strich-Strich = Bergfalten; blaue Linie = Strich-Punkt = Talfalten

4.2.3 Stacheldrahtzaun: *Maclura pomifera* (Osagedorn)

Aufgrund der natürlichen Verbreitung von *Maclura pomifera* bezieht sich der folgende Abschnitt ausschließlich auf die Situation in Nordamerika.

Die Zäune der ersten europäischen Siedler in Nordamerika

Zäune sind und waren immer ein Teil der kultivierten Landschaft, um zu zeigen, dass das eingezäunte Land sich in Privatbesitz befindet. Die ersten Zäune in Nordamerika waren eine Ansammlung von Gestrüpp und Ästen, die zu undurchdringbare Hindernisse angehäuft wurden. Auch wurden Baumstümpfe als Zäune verwendet. Bei dem „worm fence“, vermutlich von den amerikanischen Ureinwohnern entwickelt, und dem „post-and-rail fence“, eine Entwicklung die aus Europa stammte, wurden Holzstämme verwendet.¹ Bis 1860/1870 bestanden die meisten Zäune aus Holz oder ansonsten waren sie aus Steinen oder Hecken.²

Hecken

Warder argumentiert schon 1858 in seinem Buch für die Verwendung von Hecken als lebende Zäune. Dies ist keine neue Idee, da Hecken auch schon in der Bibel oder bei Homer erwähnt wurden. Hecken wären Warders Meinung nach gerade für Gebiete in Nordamerika geeignet, in denen es keine Steine oder keinen Wald als Zaunmaterial gäbe.³

Von den 1860er bis zu den Anfängen der 1880er gab es in der Prärie tatsächlich nur eine Möglichkeit zum Einzäunen - mit Hecken. Die beliebteste Heckenpflanze war zu dieser Zeit *Maclura pomifera*.⁴

Ein deutlicher Nachteil von Hecken war, dass es vier Jahre lang dauert, bis die Hecke ausreichend gewachsen war und vollen Schutz bieten konnte.⁵

Maclura pomifera

(USA: „osage-orange“ oder „bois d'arc“)

Warder plädiert für den Gebrauch von *Maclura pomifera* als Hecken, weil sie seiner Meinung nach bei richtiger Pflege perfekte lebende Zäune sind. Die positiven Aspekte von *Maclura pomifera* als Hecke sind nach Warder ihre geringen Kosten, ihre Widerstandsfähigkeit, und

¹vgl. Raup (1947, S. 1-5)

²vgl. Webb (1931, S. 281)

³vgl. Warder (1858, S. 16-17)

⁴vgl. Webb (1931, S. 280-282)

⁵vgl. Webb (1931, S. 292)

dass ihre Wurzeln nicht austreiben.¹ Mit ihren bis zu drei cm langen Dornen waren sie durchaus wehrhafte lebende Zäune.²

Im Süden, z.B. in Staaten wie Texas und Arkansas, war das ursprüngliche Anbauggebiet von *Maclura pomifera* und die Samen wurden in den Norden exportiert.³ Es wurde auch reger Handel, inklusiver Spekulationsgeschäfte, mit deren Samen betrieben.⁴ Der Preis für ein „bushel“ [ca. 35 Liter] Samen startete bei 8\$ und stieg bis auf 50\$.⁵

Die Situation in den „Great Plains“

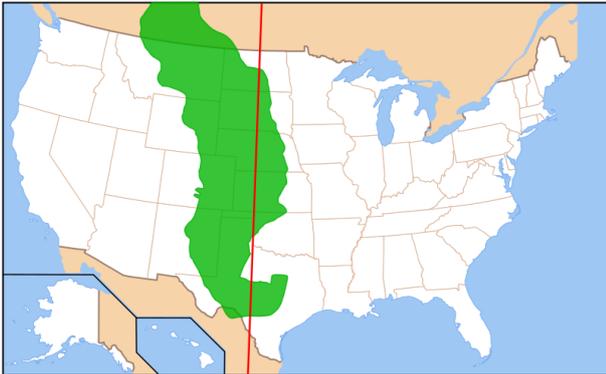


Abbildung 4.31:
Die „Great Plains“ (Wikimedia Commons,
2006b)

Die „Great Plains“ sind grün eingezeichnet.
Der 100ste westliche Meridian ist der rote
Strich.

Die „Great Plains“, die Prärien des Westens, liegen östlich der Rocky Mountains und reichen von Kanada bis nach Texas. Es handelt sich hierbei um die bis heute intensiv landwirtschaftlich genutzte Mitte Nordamerikas.⁶ Die Pioniere standen vor einem Problem, da ihnen weder ausreichend Steine noch Holz als Zaunmaterial zur Verfügung standen. Zäune waren aber eine unabdingbare Notwendigkeit in einem Land voller Weidevieh.⁷ Es gab viele öffentliche Diskussionen, weil sich die Viehzüchter meistens weigerten, Zäune für ihre Tiere aufzustellen und sie lieber frei herumlaufen ließen. So mussten aber die anderen Bauern ihre Felder vor den Tieren schützen und ihre Felder einzäunen.⁸

¹vgl. Warder (1858, S. 38-39)

²vgl. Botanischer Garten der Universität Wien (2007b)

³vgl. Webb (1931, S. 291)

⁴vgl. Webb (1931, S. 280-282)

⁵vgl. Webb (1931, S. 291)

⁶vgl. Wikipedia (2015f)

⁷vgl. Webb (1931, S. 280-281)

⁸vgl. Webb (1931, S. 287-288)

4 Fachinformationen und Didaktisierungsvorschläge

In den „Great Plains“ war nach einer großen Umfrage in 1871 der Preis für Zaunmaterial 60 bis 300 % höher als in den anderen Gebieten.¹ Tatsächlich war in den Jahren 1870-1880 die Zaunproblematik das überwiegende Thema der Zeitungen in den „Great Plains“.²

Von den 1860er bis Anfang der 1880er konnten die Bauern der Prärie nur Hecken als lebende Zäune verwenden.³ Einer Umfrage des Agrarministeriums im Jahr 1871 ergab, dass die Osagedorn-Hecke in manchen Regionen als überwiegender Zauntyp verwendet wurde, z.B. im Cloud County in Kansas mit 100%.⁴

Stacheldrahtzäune

Für die wirtschaftliche Besiedlung der „Great Plains“ war ein Produkt der Industriellen Revolution Voraussetzung - der Stacheldrahtzaun. Dieser entstand in und für die Prärien.⁵

Vor dem Stacheldrahtzaun wurden schon Drähte aber ohne Stacheln, sogenannte „smooth wire“, verwendet. Diese glatten Drähte hatten aber vor allem den Nachteil, dass Tiere diesen ohne Verletzungen wegdrücken konnten. Da aber nur Hecken mit Stacheln Vieh wirklich aufhalten konnten, war es logisch, einen Drahtzaun mit Stacheln nach Vorbild der Hecken zu versehen. In den westlichen Staaten gab es 696 Patente für Stacheldrahtzäune, mehr als in allen anderen Staaten gemeinsam. Wahrscheinlich war J. F. Glidden, ein Bauer von De Kalb in Illinois, der Erfinder des ersten Stacheldrahtzauns.⁶

Kellys Stacheldrahtzaun

1868 reichte Michael Kelly das Patent für seinen Stacheldrahtzaun ein.⁷ Kellys Patent war eine Verbesserung von einem Patent eines anderen, William D. Hunt.⁸

Als Inspiration für seine Erfindung diente ihm der Baum *Maclura pomifera*.⁹

„My invention relates to imparting to fences of wire a character approximating to that of a thorn-hedge. I prefer to designate the fence so produces as a 'thorny fence'.”¹⁰

Neu an Kellys Zaun sind die scharfen „Dornen“ (s. Abb. 4.33 auf der nächsten Seite D/E); diese sollen ihn vor der Zerstörung durch die Weidetiere bewahren. Vorteile von diesem

¹vgl. Webb (1931, S. 286)

²vgl. Webb (1931, S. 282)

³vgl. Webb (1931, S. 290-291)

⁴vgl. Webb (1931, S. 284-285)

⁵vgl. Webb (1931, S. 295-296)

⁶vgl. Webb (1931, S. 297-298)

⁷vgl. Cerman et al. (2005, S. 8-9)

⁸vgl. Webb (1931, S. 301)

⁹vgl. Cerman et al. (2005, S. 8-9)

¹⁰Kelly (1868, S. 2)



Abbildung 4.32:
Maclura pomifera (Wikimedia Commons,
2004)

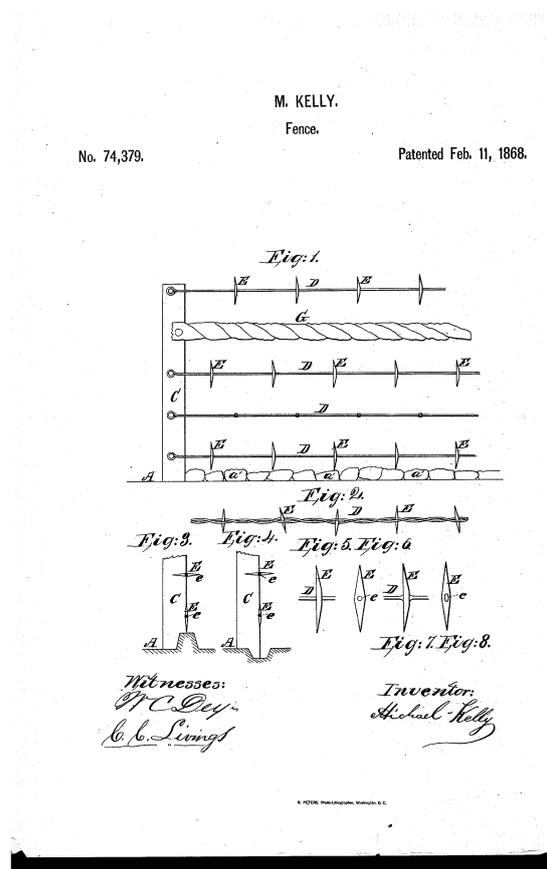


Abbildung 4.33:
Patentanmeldung von Michael Kelly:
„Improvement in Fences” 1868 (Kelly,
1868, S. 1)

Zaun sind auch, dass er nur ein Viertel an Draht braucht, aber trotzdem effektiver ist.¹ Zusätzlich hat er sich überlegt, die Drähte zu verdrehen. Kelly konnte sein Patent erfolgreich an die Firma Thorn Wire Hedge Company verkaufen, die es auch genützt hat.

Kellys Stacheldrahtzaun erwies sich aber in der Herstellung als zu teuer. Als eigentlicher Durchbruch der Erfindung „Stacheldrahtzaun” gilt 1874 das Nachfolgepatent von Joseph Gidden und Jacob Haish.²

Der Erfolg des Stacheldrahtzauns

Der Stacheldrahtzaun war von Beginn an ein sehr erfolgreiches Produkt und der Preis sank dank maschineller Verarbeitung so stark, dass nun auch in der Prärie leistbare Zäune möglich waren.³

¹vgl. Kelly (1868, S. 2-3)

²vgl. Cerman et al. (2005, S. 8-9)

³vgl. Webb (1931, S. 309-310)

4 Fachinformationen und Didaktisierungsvorschläge

So wichtig Stacheldrahtzäune für die erfolgreiche Bewirtschaftung der „Great Plains“ war, stießen die Bauern auch auf Widerstand. Da Stacheldrahtzaun nun so billig war, konnten so riesige Gebiete wie noch nie zuvor eingezäunt werden. Viehtreiber mit kleinen Herden ohne eigenem Land wussten nicht, wo sie ihre Tiere weiden lassen sollten. Manche Viehtreiber waren so verzweifelt, dass sie Zäune von Großgrundbesitzern immer wieder durchschnitten. Es gab auch Proteste, da sich Tiere immer wieder schwer verletzten.¹

Heutige Situation

Heute können leicht elektrische Zäune in der Landwirtschaft verwendet werden, die bei den Tieren keinen bleibenden Schaden hinterlassen.²

Nicht unerwähnt sollte auch die Verwendung von Stacheldrahtzäunen gegen Menschen bleiben. So ist es kein Zufall, dass Amnesty International ein Stück Stacheldrahtzaun als Logo verwendet.³

Passende Infoblätter der Grünen Schule

Botanischer Garten der Universität Wien (2007b): *Maclura pomifera* (Osagedorn)

4.2.3.1 Vorschläge für die Führung

Zielsetzung

Die SchülerInnen sollen die Abwehrmechanismen von Pflanzen wie *Maclura pomifera* im Botanischen Garten entdecken und eventuell auch deren Dornen berühren. So ist es auch möglich, dass sie den Abwehrmechanismus Dornen im wahrsten Sinn des Wortes „begreifen“. Bei dieser Demonstration wäre es auch wichtig, auf die Verletzungsgefahr von Tier und Mensch bei Hecken und bei Stacheldrahtzäunen hinzuweisen.

Ablauf

GartenführerInnen können den Effekt von Stacheldrahtzäunen veranschaulichen. Eine Möglichkeit wäre es, ein Stück Stacheldrahtzaun in einen Rahmen oder in eine Box zu spannen und die Verletzungsgefahr mit Hilfe einer Frucht zu demonstrieren.

Weiters kann auch ein Stück Stacheldrahtzaun mit *Maclura pomifera* verglichen und Ähnlichkeiten gesucht werden.

¹vgl. Webb (1931, S. 314-316)

²vgl. Wikipedia (2015d)

³vgl. Wikipedia (2015a)

Ebenso ist es interessant, sich die Wehrmechanismen anderer Pflanzen, z.B. die Stacheln eines Rosenbusches, anzuschauen.



Abbildung 4.34: Stacheldrahtzaun für Demonstrationszwecke (Bild von der Verfasserin)

4.3 Lotuseffekt

Alle Lebewesen besitzen Grenzflächen, die dafür sorgen, dass zwei Phasen voneinander getrennt sind. Diese Grenzflächen wurden für Jahrmillionen von der Evolution optimiert und können daher Lösungen für Probleme, die Techniker jahrzehntelang nicht lösen konnten, sein.¹ Neinhuis und Barthlott entschlüsselte die Funktionsweise von „selbstreinigenden Oberflächen“, die bereits 1998 in den meisten Ländern als „Lotus-Effect®“ patentiert wurden.²

Für einen Wassertropfen in der Luft, der keine Oberfläche berührt, ist die kugelige Form die „energetisch stabilste Konfiguration“. Kommt eine Flüssigkeit mit der Oberfläche eines Feststoffes in Kontakt, hängt es von der Oberflächenenergie des Feststoffes und der Flüssigkeit ab, ob und wie sehr die Flüssigkeit die Oberfläche benetzt wird.³

Voraussetzungen für den Selbstreinigungseffekt sind Oberflächenrauigkeit, Wasser abstoßende Oberfläche und die hohe Oberflächenspannung des Wassers.⁴

Laut Neinhuis und Barthlott wird der wasserabweisende Effekt durch verschiedene Mikrostrukturen, die eine raue Oberfläche zur Folge haben, hervorgerufen. Wasser, das auf wasserabweisende Blätter aufkommt, nimmt sofort eine kugelige Form an und rollt vom Blatt hinunter. Die kugeligen Wassertropfen nehmen beim Abrollen Schmutzpartikel auf und als Resultat sind die Blätter nicht nur wasser-, sondern auch schmutzabweisend.⁵

Mit der Gleichung nach Young kann man sich den Kontaktwinkel zwischen einer Flüssigkeit und einer Oberfläche ausrechnen (siehe Abbildung 4.35 auf der nächsten Seite). Ab einem Kontaktwinkel von 90° werden Oberflächen als hydrophob und ab 140° als superhydrophob bezeichnet.⁶

Neinhuis und Barthlott untersuchten 200 hydrophobe Pflanzen und gaben u.a. den Kontaktwinkel dieser Pflanzen an. *Nelumbo nucifera* hat einen Kontaktwinkel von 162°, aber es gibt auch noch Pflanzen mit einem höheren Kontaktwinkel (z.B. *Bomarea spec.* mit 169°).⁷

Der Selbstreinigungseffekt von Oberflächen wurde erfolgreich bei technischen Produkten nachgeahmt und umgesetzt. Beispiele dafür sind Fassadenbeschichtung für Häuser und Sprays zur Imprägnierung.⁸ Ein weiteres Beispiel ist der „FFS (Future Sand Solutions) -

¹vgl. Cerman et al. (2005, S. 27-28)

²vgl. Speck et al. (2006a, S. 95)

³vgl. Lüttge et al. (2010, S.1167)

⁴vgl. Plant Biomechanics Group Freiburg (2010a)

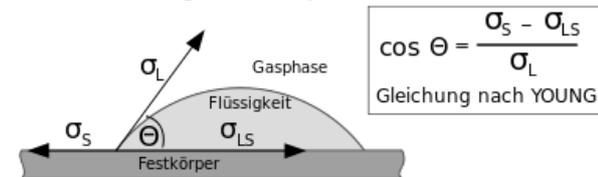
⁵vgl. Neinhuis und Barthlott (1997, S. 667; 671)

⁶vgl. Lüttge et al. (2010, S.1167)

⁷vgl. Neinhuis und Barthlott (1997, S.668;670)

⁸vgl. Gereben-Krenn et al. (2009, S. 106)

Methode des liegenden Tropfens



σ_L = Oberflächenspannung der Flüssigkeit
 σ_S = Oberflächenenergie des Festkörpers
 σ_{LS} = Grenzflächenenergie zwischen Flüssigkeit und Festkörper
 Θ = Kontaktwinkel

Abbildung 4.35:
 Kontaktwinkel (Wikimedia Commons,
 2010)

hydrophobic sand“, der nicht nur hydrophob sondern auch ölbindend ist und sehr viele Anwendungsbereiche hat, u.a. für die Feuerwehr beim Auslaufen vom Öl.¹

Es gibt auch hydrophoben Sand als Kinderspielzeug, oft mit der Bezeichnung „Magischer Sand“, zu kaufen.²

Passende Infoblätter der Grünen Schule

Botanischer Garten der Universität Wien (2008): *Nelumbo nucifera*

Pflanzen im Botanischen Garten der Universität Wien, bei denen man den Lotuseffekt gut beobachten kann, sind zum Beispiel:

- *Nelumbo nucifera* (Indische Lotusblume)
- *Brassica oleracea* var. *gongylodes* L. (Kohlrabi)
- *Tropaeolum* L. (Kapuzinerkresse)
- *Haworthia* ssp.

¹vgl. Mercado House GmbH (2007-2012)

²vgl. Neatorama (2006)

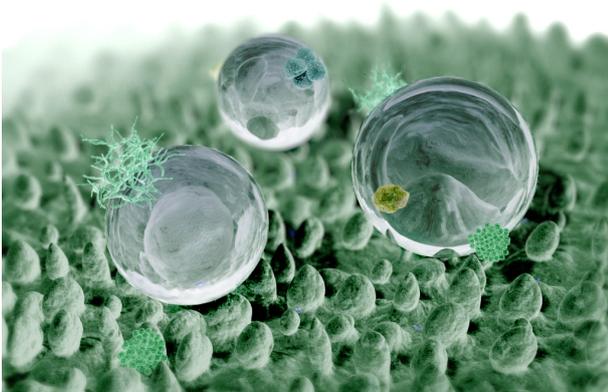


Abbildung 4.36:
Computer graphic of a lotus leaf surface
(Wikimedia Commons, 2007c)



Abbildung 4.37:
Selbstreinigendes Glas (Wikimedia
Commons, 2006d)
Unterschied zwischen einer normalen und
einer hydrophoben Glasoberfläche.



Abbildung 4.38:
Nelumbo nucifera (Wikimedia Commons,
2013a)

4.3.1 Experimentelle Übungen zum Lotuseffekt

Zielsetzung

Das Ziel dieser Übungen ist es, den Lotuseffekt bei ausgewählten Pflanzen zu beobachten. Indem die SchülerInnen auch selbst Experimente durchführen, ist es wahrscheinlich, dass sie danach auch einen komplexen Vorgang besser verstehen werden.¹

4.3.1.1 DEMO Lotuseffekt entdecken

Zielsetzung

Die SchülerInnen können sowohl den Lotuseffekt in natura als auch die erfolgreiche Übertragung des Effekts auf eine Fliesenversiegelung sehen. Sinnvoll ist es auch, eine normale Fliese ohne Versiegelung zu zeigen, damit die SchülerInnen den Unterschied beim Abfließen des Wassers erkennen können.

Materialien

- eine Pflanze mit Lotuseffekt
- Aschewasser: z.B. ein verbranntes Papier in einer Thermoskanne mit Wasser vermischen
- Zwei Fliesen: eine mit Lotuseffekt

Ideal ist es selbstverständlich, den Namensgeber des Lotuseffekts *Nelumbo nucifera* in natura zu sehen und die Blätter mit Aschewasser zu „beschmutzen“. Alternativ können aber auch Kohlrabi (im Nutzgartenbereich, oder ein vorher gekaufter) oder Kapuzinerkresse hergezeigt werden.

Fliesen mit Lotuseffekt

Um die technische Umsetzung des Lotuseffekts zu demonstrieren braucht es nicht viel. Eine Möglichkeit wäre, zwei normale Badzimmerfliesen und eine Versiegelung in einem Baumarkt zu kaufen. Eine der beiden Fliesen wird dann mit der Versiegelung bestrichen. Die unterschiedlichen Reaktionen in Kontakt mit Wasser können leicht bei einer Führung demonstriert werden. Um den Effekt noch besser zu sehen, empfiehlt sich z.B. die Verwendung von Aschewasser. Dieser Versuch lässt sich zu jeder Jahreszeit durchführen

¹vgl. Graf (2004, S. 127)

4 Fachinformationen und Didaktisierungsvorschläge

und bietet auch die Möglichkeit, dass die SchülerInnen selbst die Fliesen beschmutzen dürfen.

Ein Produkt, das in österreichische Baumärkte leicht zu finden ist, wäre beispielsweise „DUSCH-BAD-DICHT“ von der Firma MEM®.¹

4.3.1.2 Magischer Sand

Zielsetzung

Vor allem für jüngere SchülerInnen bieten sich im Zuge eines Projektes auch spielerische Versuche mit „Magischem Sand“ an. Bei dieser Übung können die SchülerInnen die Reaktionen eines hydrophoben Stoffes, in diesem Fall von Sand, erleben und dadurch werden sie eventuell auch das Prinzip des hydrophoben Blatt von *Nelumbo nucifera* besser verstehen.

Materialien

- „Magischer Sand“
- Tischabdeckung
- Wasser
- Pappbecher
- Plastikbesteck

Ablauf

Der „Magische Sand“ sollte in ausreichender Menge vorhanden sein. Anfangs kann man die SchülerInnen frei experimentieren lassen und später ihnen konkrete Arbeitsaufträge geben.

¹vgl. MEM (1999-2007)

4.3.1.3 Experiment: Zerstörung der selbstreinigenden Oberfläche

Dieser Versuch wurde teilweise von der Plant Biomechanics Group Freiburg¹ übernommen.

Zielsetzung

Ziel dieses Experiments ist es, dass die SchülerInnen herausfinden, welche Eigenschaften des Blattes oder des Wassers zu dem Lotuseffekt führen.

Materialien

Frische Blätter von

- Kapuzinerkresse oder Kohlrabi: 3 Blätter pro Gruppe
- Pflanzen ohne Lotuseffekt (z.B. ein Laubbaum): 1 Blatt pro Gruppe

Weitere Materialien

- Wasser: ein kleiner Behälter oder ein Pappbecher pro Gruppe
- Wattestäbchen
- Seife
- Pipetten: eine Pipette pro Gruppe
- eventuell eine Lupe²

Die SchülerInnen sollen sich in kleinen Gruppen aufteilen.

Versuchsablauf

1. Auf zwei Blätter, ein Blatt mit und ein Blatt ohne Lotuseffekt, Wasser mit einer Pipette tropfen und die Form der Tropfen vergleichen.
2. Eine Fläche des Blattes von Kapuzinerkresse oder Kohlrabi fest mit einem Wattestäbchen zerreiben (ohne das Blatt zu zerreißen). Auf das behandelte Blatt und ein unbehandeltes Blatt Wasser tropfen und die Form der Tropfen vergleichen.
3. Auf ein Blatt mit Lotuseffekt Seife mit einem Wattestäbchen auftragen. Auf das behandelte Blatt und ein unbehandeltes Blatt Wasser tropfen und die Form der Tropfen vergleichen.³

Arbeitsblatt

→ auf Seite 63

¹Plant Biomechanics Group Freiburg (2015)

²vgl. Plant Biomechanics Group Freiburg (2010b)

³vgl. Plant Biomechanics Group Freiburg (2010b)

Erklärungen zu den Versuchen

Versuch 2

Durch das Abreiben wird die Wachsschicht, die das Wasser abstoßt, der Blätter entfernt. Die Oberflächenspannung des Wassers bleibt unverändert, aber durch die veränderte Oberfläche formen die Wassertropfen keine Kugeln mehr.¹

Versuch 3

Durch den Kontakt mit Seife wird die Oberflächenspannung des Wassers zerstört.²

¹vgl. Plant Biomechanics Group Freiburg (2010a)

²vgl. Plant Biomechanics Group Freiburg (2010a)

Arbeitsblatt zu Zerstörung des Lotuseffekts

Versuch	Blatt 1	Blatt 2	Deine Erklärung
1	mit Lotuseffekt: unbehandelt *	ohne Lotuseffekt: unbehandelt *	
2	mit Lotuseffekt: unbehandelt	mit Lotuseffekt: mit Wattestäbchen abgerieben *	
3	mit Lotuseffekt: unbehandelt	mit Lotuseffekt: mit Wattestäbchen Seife auftragen *	

*Skizziere oder beschreibe, was du bei den * jeweiligen Versuchen siehst!*

Deine Erklärung: Beschreibe in Stichwörtern, warum es bei den jeweiligen Versuchen zu unterschiedlichen Ergebnissen bei Blatt 1 und Blatt 2 kommt.

5 Praxisumsetzung des Themas Bionik

5.1 Beispiel für ein mögliches zweistündiges Projekt

		Thema	Materialien	ab Seite	
Begrüßung					
Einführung		Was ist Bionik	Schautafeln	9	
		Rätsel austeilen	Rätsel, Clipboards und Stifte	66	
Pflanzen im Garten		Große Klette (<i>Articum lappa</i>) - Klettverschluss	Schautafeln, Klettverschluss, Kletten	18	
		Mohn - Salzstreuer	Schautafel	21	
		Osagedorn - Stacheldrahtzaun	Schautafel, DEMO Stacheldrahtzaun	50	
	Lotuseffekt		zur Auswahl:		59
			Lotosblume (<i>Nelumbo nucifera</i>)	Schautafeln, 2 Fliesen, 1 Spritzflasche mit Asche und Wasser	
			Kapuzinerkresse		
			Kohlrabi		
	Leichtbau		Haworthia		
		Bambus: <i>Phyllostachys</i> im Garten	Schautafeln	38	
		Bambus: Riesenbambus im Tropenhaus			
	<i>Victoria amazonica</i> - Crystal Palace	Schautafeln	33		
Ergebnis-sicherung		Rätsel vergleichen			
Schwerpunkt		zur Auswahl		66	
Verabschied-ung					

Tabelle 5.2: Beispielhafter Ablauf eines zweistündigen Bionik-Projekts

5.2 Mögliche experimenteller/ kreativer Schwerpunkte

Für in zweistündiges Projekt stehen folgende Themen zur Auswahl.

- Flugsamen (auf Seite 23)
- Hochbau inspiriert vom Bambus (auf Seite 38)
- Falten (auf Seite 42)
- Lotuseffekt (auf Seite 56)

Die einzelnen Übungen können nach Schwerpunkt ausgewählt oder auch kombiniert werden.

Thema	Experimentelle und kreative Übungen	Empfohlene SchülerInnengruppe	ca. Zeitdauer	ab Seite
Flugsamen	Fallschirm nach dem Vorbild der „Pustebblume“	3./4. Unterstufe	30 Min.	29
	Flugwettbewerb	3./4. Unterstufe	45 Min.	30
	Flugmodell nach dem Vorbild der Samen von <i>Alsomitra macrocarpa</i>	Volksschule, 1./2. Unterstufe	15 Min.	31
Hochbau	Leichtbau-Turm	Volksschule, Unterstufe	25 Min.	41
Falten	DEMO Stabilität von Falten	von GartenführerIn durchgeführt	10 Min.	44
	Das Blattmodell	Volksschule, 1./2. Unterstufe	15 Min.	46
	Miura-Faltung	3./4. Unterstufe	25 Min.	48
Lotuseffekt	DEMO Lotuseffekt entdecken	von GartenführerIn durchgeführt	10 Min.	59
	Zaubersand	Volksschule, 1./2. Unterstufe	25 Min.	60
	Zerstörung der selbstreinigenden Oberfläche	3./4. Unterstufe, Oberstufe	35 Min.	61

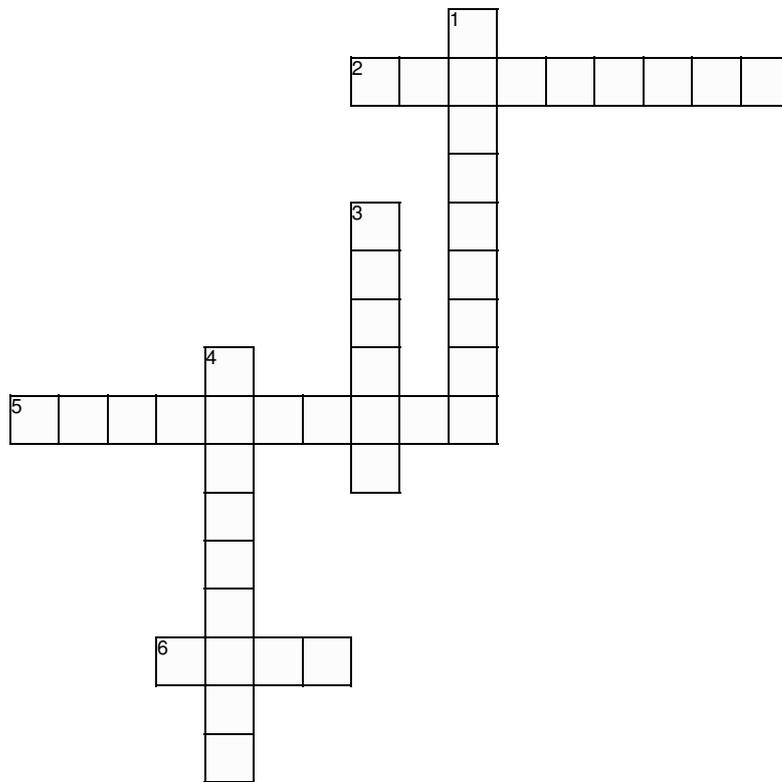
Tabelle 5.4: Schwerpunkte

5.3 Kreuzworträtsel

Das Kreuzworträtsel wurde mit Hilfe der Website Teacher's Corner¹ erstellt (auf der nächsten Seite)

¹The Teachers Corner (1998-2015): <http://worksheets.theteacherscorner.net/make-your-own/crossword/#>

Name: _____

BionikCreated on TheTeachersCorner.net Crossword Maker**Across**

2. Die Königin der Seerosen und Vorbild für den Crystal Palace in London. Victoria ...
5. Auf den Blättern dieser Pflanze haftet nichts, kein Schmutz, nicht einmal Klebstoff, und auch Wasser perlt von ihnen ab.
6. Raoul Heinrich Francé entwickelte einen Salzstreuer, nach dem Vorbild einer ...kapsel.

Down

1. Das junge Blatt dieses Baumes öffnet sich besonders gleichförmig. Das inspirierte den Astrophysiker Koryo Miura bei der Entwicklung eines Sonnensegels für das Weltall.
3. Das höchste Gras im Botanischen Garten.
4. Dieser Baum war Vorbild für den Stacheldrahtzaun.

5.4 Übersicht: Projekte die Praxis umgesetzt

Datum	Art	
10.11.2013	Familientage WienXtra	Zwei zweistündige Projekte; Alter: 8-14 Jahre, mit Geschwistern und Eltern
05.05.2014	Einstündige Führung	2. Klasse BAKIP
13.06.2014	Zweistündiges Projekt	3. Klasse Gymnasium mit Freifach Bionik
15.06.2014	Familientage WienXtra	Zwei zweistündige Projekte; Alter: 8-14 Jahre, mit Geschwistern und Eltern
17.06.2014	Einstündige Führung	3.Klasse des GWIKU 18, Haizingergasse 37
18.06.2014	Zweistündiges Projekt	3. Klasse Gymnasium mit Freifach Bionik
01.07.2015	Einstündige Rätselrallye	1. Klasse HAK

Tabelle 5.5: Übersicht: Projekte in die Praxis umgesetzt

6 Conclusio und Ausblick

Die gebuchten Projekte und Führungen haben gezeigt, dass Interesse an der Umsetzung des Themas Bionik in einem Botanischen Garten besteht. Die erfolgreiche Realisierung indiziert darüber hinaus, dass der Botanische Garten einen geeigneten Lernort darstellt. Des Weiteren belegt diese Diplomarbeit, dass ausreichend Fachliteratur und Ideen für experimentelle und kreative Übungen im Bereich Bionik vorhanden sind.

Meiner persönlichen Erfahrung nach ist ein zweistündiges Projekt in jedem Fall einer einstündigen Führung vorzuziehen, da die selbständige Umsetzung der Ideen seitens der SchülerInnen einen wesentlichen Aspekt darstellt und hierfür genügend Zeit eingeplant werden sollte. Im Sinne des vernetzenden Lernens wäre es wünschenswert, das Thema Bionik noch vermehrt in den naturwissenschaftlichen Lehrplänen einzubauen.

Im Anschluss zu dieser Diplomarbeit gibt es noch viele Möglichkeiten dieses Projekt weiter auszubauen. Beispiele für Themen um die das Bionik-Projekt noch erweitert werden könnte sind „Photovoltaik“, „selbstreparierende Strukturen“, die „Universalkerbkontur von Mattheck“ und „umweltverträgliche Verpackungen“. Ebenso ist eine speziellere Anpassung auf die AHS-Oberstufe oder den BMHS-Bereich möglich.

Darüber hinaus wären Erweiterungen des Angebots im Botanischen Garten der Universität Wien zielführend; beispielsweise könnte das Thema Bionik allen GartenbesucherInnen nähergebracht werden. So könnten bei den angeführten Pflanzen Tafeln mit Informationen zu den bionischen Produkten angebracht werden. Des Weiteren könnten diese Informationen den GartenbesucherInnen in Form von Broschüren oder der Erweiterung der „Botanical Garden“-App zur Verfügung gestellt werden.

7 Literatur

- Arzt, V., 2011. Kluge Pflanzen: Wie sie locken, lügen und sich wehren. Wilhelm Goldmann Verlag, München.
- BBC Earth News, 03.12. 2009. Vine seeds become 'giant gliders'. Walker, M, (24.08.15).
URL http://news.bbc.co.uk/earth/hi/earth_news/newsid_8391000/8391345.stm
- Beer, R., Wiegel, U., Martens, A., Purschke, I., 2012. Von Früchten und Samen das Fliegen lernen. Ein Praxishandbuch zur Bionik für Mensch ab acht. Baden-Württemberg Stiftung gGmbH, Stuttgart.
- Björkqvist, I., Bothmer, R., Sonesson, H., Dahlgren, G., Küttel, M., Dahlgren, R., Engstrand, L., Nilsson, Ö., Oredsson, A., Runemark, H., et al., 2013. Systematische Botanik. Springer, Berlin, Heidelberg, (23.09.15).
URL <https://books.google.at/books?id=6hOnBgAAQBAJ>
- Botanischer Garten der Universität Wien, 2001a. Die Königin - *Victoria amazonica* - Entdeckung und Einführung nach Europa. Kiehn, M., (13.03.15).
URL http://www.botanik.univie.ac.at/hbv/download/ib_victoria_entdeckung_einfuehrung.pdf
- Botanischer Garten der Universität Wien, 2001b. Die Königin - *Victoria amazonica* - Verbreitung und Biologie. Kiehn, M., (13.03.15).
URL http://www.botanik.univie.ac.at/hbv/download/ib_victoria_verbreitung_biologie.pdf
- Botanischer Garten der Universität Wien, 2007a. Die Bambusgattung *Phyllostachys* - insbesondere *Phyllostachys viridiglaucescens* - Poaceae. Kiehn, M. und Knickmann B., (13.03.15).
URL http://www.botanik.univie.ac.at/hbv/download/ib_nelumbo_nucifera.pdf
- Botanischer Garten der Universität Wien, 2007b. Osagedorn - *Maclura pomifera* - Moraceae. Knickmann, B., (13.03.15).
URL http://www.botanik.univie.ac.at/hbv/download/ib_maclura_pomifera.pdf
- Botanischer Garten der Universität Wien, 2008. Indische Lotosblume - *Nelumbo nucifera* - Nelumbonaceae. Winding, G. und Knickmann, B., (13.03.15).
URL <http://www.botanik.univie.ac.at/hbv/index.php?nav=ib2>

7 Literatur

- Botanischer Garten der Universität Wien, 2014. Der Riesenbambus - *Dendrocalamus giganteus*. Eberwein, R., Kiehn, M. und Knickmann, B., (20.09.15).
URL http://www.botanik.univie.ac.at/hbv/download/ib_dendrocalamus_giganteus.pdf
- Botanischer Garten der Universität Wien, 31.08. 2015a. Fakten. (01.09.15).
URL <http://www.botanik.univie.ac.at/hbv/index.php?nav=fp1>
- Botanischer Garten der Universität Wien, 31.08. 2015b. Kontakt. (01.09.15).
URL <http://www.botanik.univie.ac.at/hbv/index.php?nav=2>
- Brückner, C., 03.06. 2013. Übung „Funktionelle Morphologie der Blüten, Früchte und Samen“ - 7. integrierte Vorlesung: Ausbreitungsbiologie. (22.09.15).
URL https://www2.hu-berlin.de/biologie/arboretum/skripte/brueckner/uebung/bl_fr_sa_7.pdf
- Bresinsky, A., Körner, C., Kadereit, J., Neuhaus, G., Strasburger, E., Sonnewald, U., 2008. Strasburger - Lehrbuch der Botanik, 36. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag.
- Bundesministerium für Bildung und Frauen, 11.05. 2000a. Lehrpläne der AHS-Unterstufe: Biologie und Umweltkunde. (23.09.15).
URL https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/ahs5_779.pdf?4dzgm2
- Bundesministerium für Bildung und Frauen, 11.05. 2000b. Lehrpläne der AHS-Unterstufe: Chemie. (24.09.15).
URL https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/ahs6_780.pdf?4dzgm2
- Bundesministerium für Bildung und Frauen, 11.05. 2000c. Lehrpläne der AHS-Unterstufe: Physik. (23.09.15).
URL https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/ahs16_791.pdf?4dzgm2
- Bundesministerium für Bildung und Frauen, 11.05. 2000d. Lehrpläne der AHS-Unterstufe: Technisches Werken. (26.10.15).
URL https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/ahs17_792.pdf?4dzgm2
- Bundesministerium für Bildung und Frauen, 08.07. 2004a. Lehrpläne der AHS-Oberstufe: Biologie und Umweltkunde. (24.09.15).
URL https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_neu_ahs_08_11860.pdf?4dzgm2
- Bundesministerium für Bildung und Frauen, 08.07. 2004b. Lehrpläne der AHS-Oberstufe: Physik. (24.09.15).
URL https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_neu_ahs_10_11862.pdf?4dzgm2
- Bundesministerium für Bildung und Frauen, 2014. Lehrplan der Handelsakademie: BGBl. II - Ausgegeben am 27. August 2014 - Nr. 209.
URL https://www.hak.cc/files/attachments/service_attachments/Lehrplan_HAK_2014.pdf

- Cerman, Z., Barthlott, W., Nieder, J., 2005. Erfindungen der Natur. Bionik - Was wir von Pflanzen und Tieren lernen können. Rowohlt Taschenbuch Verlag.
- Coineau, Y., Kresling, B., 1989. Erfindungen der Natur. Bionik - Die Technik lernt von Tieren und Pflanzen. Tessloff.
- Danert, S., 1994. Blütenpflanzen 2; Die große farbige Enzyklopädie Urania Pflanzenreich in vier Bänden, 1. Auflage. Urania-Verlag, Leipzig [u.a.].
- DasErste.de, 09.09. 2009. Falten in der Natur. Aus der Sendung vom 03.01.2010, 16:30, SWR Fernsehen. (18.10.15).
 URL <http://www.swr.de/naturwunder/thema-3-falten-in-der-natur/-/id=1223312/did=5324086/nid=1223312/n4od2k/index.html>
- Erhardt, W., Götz, E., Bödeker, N., Siegmund, S., 2008. Der große Zander: Enzyklopädie der Pflanzennamen. 1. Familien und Gattungen. Ulmer, Stuttgart.
- Fachhochschule Kärnten, 25.08. 2015. Bionik/Biomimetics in Energy Systems. (22.10.15).
 URL <http://www.fh-kaernten.at/unser-studienangebot/bauingenieurwesen-architektur/ueberblick/bauingenieurwesen-architektur/master/bionik-biomimetics-in-energy-systems/studienplan/>
- Francé, R. H., 1920. Die Pflanze als Erfinder. Kosmos, Gesellschaft der Naturfreunde, Stuttgart.
- Gebeshuber, I., Gruber, W., Menasse-Wiesbauer, E., Marschall, T., 2009. ES FLIEGT, ES FLIEGT. Eine Mitmachausstellung zum Thema Fliegen für Kinder von 6-12 Jahren. Materialien für Pädagoginnen und Pädagogen. ZOOM Kindermuseum, Wien, (19.10.15).
 URL http://www.kindermuseum.at/jart/prj3/zoom/resources/uploads/Es%20fliegt_Paedagoginnentext.pdf
- GEOkompakt, 03 2014. Das geheime Leben der Pflanzen (Nr. 38).
- Gereben-Krenn, B.-A., Jaenicke, J., Jungbauer, W., 2009. BIO LOGISCH 2, 11. Auflage. E. DORNER.
- Godet, J.-D., 1992. Pflanzen Europas: Kräuter und Stauden. Arois-Verlag, Schweiz: Hinterkappelen/ Bern.
- Graf, E. H., 2004. Biologiedidaktik für Studium und Unterrichtspraxis, 1. Auflage. Auer, Donauwörth.
- GRIN - Germplasm Resources Information Network, 09.05. 1997. Victoria amazonica. (02.09.15).
 URL <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?41592>

7 Literatur

- GRIN - Germplasm Resources Information Network, 25.03. 2012. *Tragopogon pratensis* L. (17.10.15).
URL <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?36818>
- GRIN - Germplasm Resources Information Network, 15.03. 2013. *Alsomitra macrocarpa*. (02.09.15).
URL <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?466473>
- GRIN - Germplasm Resources Information Network, 23.05. 2014. *Taraxacum officinale* F.H. Wigg. aggr. (18.10.15).
URL <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?80051>
- Grüne Schule, 16.07. 2015. (02.09.15).
URL http://www.botanik.univie.ac.at/hbv/gruene_schule/
- Gropengießer, H., Kattmann, U., 2008. *Fachdidaktik Biologie. Die Biologiedidaktik begründet von Dieter Eschenhagen, Ulrich Kattmann und Dieter Rodi*, 8. Auflage. Aulis Verlag Deubner.
- Gympel, J., 2005. *Geschichte der Architektur: von der Antike bis heute*. Könemann.
- Hirschel, E., Prem, H., Madelung, G., 2012. *Aeronautical Research in Germany: From Lilienthal until Today*. Engineering online library. Springer, Berlin, Heidelberg.
URL <https://books.google.at/books?id=eJ7oCAAQBAJ>
- Hoshi, T., 2007. *Bild von Alsomitra macrocarpa Samen*. (29.09.15).
URL <http://www.hoshi-lab.info/miracle/air.html>
- Kelly, M., 11.02. 1868. US Patent 74,379: Improvement in fences. (17.10.15).
URL <http://www.google.com/patents/US74379>
- Kobayashi, H., Kresling, B., Vincent, J. F. V., 1998. The geometry of unfolding tree leaves. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 265 (1391), 147–154.
URL <http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/265/1391/147.abstract>
- Leins, P., Erbar, C., 2008. *Blüte und Frucht: Morphologie, Entwicklungsgeschichte, Phylogenie, Funktion und Ökologie*. Schweizerbart.
- Lüder, R., 2006. *Grundkurs Pflanzenbestimmung: eine Praxisanleitung für Anfänger und Fortgeschrittene*. Quelle & Meyer.
- Lüttge, U., Kluge, M., 2012. *Botanik: Die einführende Biologie der Pflanzen*. Wiley VCH Verlag GmbH.
- Lüttge, U., Kluge, M., Thiel, G., 2010. *Botanik: die umfassende Biologie der Pflanzen*. Wiley-VCH, Weinheim u.a.

- McKean, J., 1999. Lost masterpieces; Joseph Paxton: Crystal Palace; Ferdinand Dutert: Palais des Machines; McKim Mead & White: Pennsylvania Station, 1. Auflage. Architecture 3s. Phaidon, London.
- MEM, 1999-2007. DUSCH-BAD-DICHT. (30.08.15).
 URL http://www.mem.de/produkte/trockene_haeuser/abdichtung_und_reparatur/produkt_db/dusch-bad-dicht.html
- Mercado House GmbH, 2007-2012. FSS Hydrophobic Sand - wasserabweisend und ölbindend. (22.02.15).
 URL <http://www.mercado-house.com/de/FSS-Hydrophobic-Sand/>
- Merin, G., 05.07. 2013. AD Classics: The Crystal Palace / Joseph Paxton. (02.09.15).
 URL <http://www.archdaily.com/397949/ad-classic-the-crystal-palace-joseph-paxton/>
- Nachtigall, W., 1997. Vorbild Natur. Springer-Verlag GmbH, Berlin [u.a.].
- Nachtigall, W., 2002. Bionik: Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Springer-Verlag GmbH.
- Nachtigall, W., 2008. Bionik: lernen von der Natur. Beck'sche Reihe. Beck, München.
- Nachtigall, W., Blüchel, K. G., 2001. Das große Buch der Bionik. RM-Buch-und-Medien-Vertrieb, Rheda-Wiedenbrück u.a.
- NASA, 05.05. 2015. What is Lift. (28.10.15).
 URL <http://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/lift1.html>
- Neatorama, 06.06. 2006. Magic Sand Remains Dry After Being Submerged in Water. (30.08.15).
 URL https://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=-1id-gHQjbs
- Neinhuis, C., Barthlott, W., 1997. Characterization and distribution of water-repellent, self-cleaning plant surfaces. *Annals of Botany* 79 (6), 667 – 677, (17.11.13).
 URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305736497904005>
- Plant Biomechanics Group Freiburg, 2010a. Zerstörung der Blattoberfläche bzw. der Oberflächenspannung des Wassers: Erklärung.
 URL http://www.bionik-online.de/wp-content/uploads/2012/05/Lotus_Zerstoerung_05_Erklaerung1.pdf
- Plant Biomechanics Group Freiburg, 2010b. Zerstörung der Blattoberfläche bzw. der Oberflächenspannung des Wassers: Versuch.
 URL http://www.bionik-online.de/wp-content/uploads/2012/05/Lotus_Zerstoerung_02_Versuch1.pdf

7 Literatur

- Plant Biomechanics Group Freiburg, 25.09. 2015. BIONIK-ONLINE.DE - Bionik - Biology goes Technics. (29.09.15).
URL <http://www.bionik-online.de/>
- Plant Biomechanics Group Freiburg und Kompetenznetz Biomimetik, 14.01. 2013. Bionik-Vitrine: Bionikpioniere - Igo Etrich. (02.09.15).
URL <http://www.bionik-vitrine.de/igo-etrich.html>
- Polunin, O., 1977. Pflanzen Europas. BLV Verlagsgesellschaft, München, Bern, Wien.
- Raup, H. F., 1947. The fence in the cultural landscape. *Western Folklore* 6 (1), S. 1–7 & 9–12, (02.04.15).
URL <http://www.jstor.org/stable/1497448>
- Richter, W., 1985. Pflanzen - Vorbilder der Technik; für Freunde der Natur und Technik. LB-Naturbücherei. Landbuch, Hannover.
- Sauer, S., Herdy, M., Speck, T., Speck, O., 2010. Evolutionsstrategie: Optimieren nach dem Vorbild der Natur – Interdisziplinäre Arbeitsweise der Biomechanik und Bionik. *Praxis der Naturwissenschaften - Biologie* 6/59, 34–41.
- Schauer, T., Caspari, C., Caspari, S., 2012. Die Pflanzen Mitteleuropas: Über 1500 Arten. BLV Buchverlag.
- Schmid, A., Speck, T., Speck, O., 2009. Falten in Natur und Technik – Interdisziplinäre Arbeitsweise der Biomechanik und Bionik. *Praxis der Naturwissenschaften – Biologie* 7/58, 34–44.
- Schneider, J., Dezember 2005. Ingenieurporträt Joseph Paxton. *Deutsche Bauzeitung* (db)(05.10.15).
URL http://www.baunetzwissen.de/dl/1484583/artikel_paxton_db_12_2005.pdf
- Schwanitz, F., 2013. Die Entstehung der Kulturpflanzen. *Verständliche Wissenschaft*. Springer Berlin Heidelberg.
URL <https://books.google.at/books?id=W-zSBgAAQBAJ>
- Silvertown, J., 2009. *An Orchard Invisible: A Natural History of Seeds*. University of Chicago Press.
- Speck, O., Harder, D. L., 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* (in press).
- 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, T., Speck, O., 2007. Bambus – Verholztes Gras und wichtige Nutzpflanze. Praxis der Naturwissenschaften - Biologie 4/56, 20 – 25.
- Speck, T., Speck, O., 2008. Bionik: Interdisziplinäre Forschung und Bildung in Botanischen Gärten. H. Hurka (ed.) Botanische Gärten gestalten Zukunft – Umweltkommunikation, Artenschutz und Genetische Ressourcen, Sonderband der Osnabrücker Naturwissenschaftliche Mitteilungen 33/34, 155 – 173.
- Speck, T., Speck, O., 2009. Bionische Innovationen. Tec21, 2009, Vol.135(37-38), 22–25.
- Spiegel Online, 16.06. 2013. Chemie in Outdoor-Kleidung: Der Beigeschmack von Abenteuer. Baier, H., (23.09.15).
URL <http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/natur-outdoorkleidung-mit-schaedlicher-chemie-a-904837.html>
- Straaß, V., 2011. Mit Kindern die Natur entdecken: 88 Ideen für Spiel und Spaß rund ums Jahr, 2., überarbeitete Auflage, Neuausgabe Auflage. BLV Buchverlag GmbH & Company.
- TECHNOSEUM - Landesmuseum für Technik und Arbeit in Mannheim, 2013. Bionik. Unterrichtsmaterialien für Schulen. (19.10.2015).
URL http://www.technoseum.de/fileadmin/media/pdf/pdf_Schulen_Unterrichtsmaterial/Lehrerhefte/Lehrerheft_Bionik.pdf
- The Teachers Corner, 1998-2015. Crossword Puzzle Maker. (02.09.15).
URL <http://worksheets.theteacherscorner.net/make-your-own/crossword/#>
- Wagenitz, G., 2008. Wörterbuch der Botanik: Morphologie, Anatomie, Taxonomie, Evolution; mit englisch-deutschem und französisch-deutschem Register. Nikol.
- Warder, J., 1858. Hedges and Evergreens: A Complete Manual for the Cultivation, Pruning, and Management of All Plants Suitable for American Hedging; Especially the Maclura, Or Osage Orange...To which is Added, a Treatise on Evergreens ... A. O. Moore.
- Webb, W. P., 1931. The Great Plains. Ginn and Company, USA.
- wikiHow, 17.10. 2015. Einen Fallschirm basteln. (18.10.15).
URL <http://de.wikihow.com/Einen-Fallschirm-basteln>
- Wikimedia Commons, 05.01. 2004. Starr 040105-0081 Maclura pomifera.jpg. (02.09.15).
URL http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Starr_040105-0081_Maclura_pomifera.jpg
- Wikimedia Commons, 22.12. 2005a. Botanischer Garten Berlin Viktoria-Seerosen 2.jpg. (02.09.15).
URL https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Botanischer_Garten_Berlin_Viktoria-Seerosen_2.jpg
- Wikimedia Commons, 06.04. 2005b. Chamaerops humilis leaves.jpg. (02.09.15).
URL https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chamaerops_humilis_leaves.jpg

7 Literatur

- Wikimedia Commons, 23.04. 2005c. Victoria Regia LIN 1849-.jpg. (02.09.15).
URL https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Victoria_Regia_LIN_1849-.jpg
- Wikimedia Commons, 06.07. 2006a. Carpinus betulus ies.jpg. (02.09.15).
URL http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carpinus_betulus_ies.jpg
- Wikimedia Commons, 20.09. 2006b. Map of Great Plains.svg. (25.08.15).
URL https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Map_of_Great_Plains.svg
- Wikimedia Commons, 12.05. 2006c. PustebblumenMakro.JPG. (17.10.15).
URL <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PustebblumenMakro.JPG>
- Wikimedia Commons, 17.03. 2006d. Signapur Klare Sicht 1.jpg. (02.09.15).
URL http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Signapur_Klare_Sicht_1.jpg
- Wikimedia Commons, 01.07. 2006e. Tragopogon pratensis.jpeg. (17.10.15).
URL https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tragopogon_pratensis.jpeg
- Wikimedia Commons, 15.04. 2007a. Carpinus betulus2 ies.jpg. (02.09.15).
URL http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carpinus_betulus2_ies.jpg
- Wikimedia Commons, 17.06. 2007b. Fagus sylvatica leaf 2P.jpg. (02.09.15).
URL https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fagus_sylvatica_leaf_2P.jpg
- Wikimedia Commons, 06.12. 2007c. Lotus3.jpg. (02.09.15).
URL <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Lotus3.jpg>
- Wikimedia Commons, 13.04. 2008. Victoria amazonica back side.jpg. (02.09.15).
URL http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Victoria_amazonica_back_side.jpg
- Wikimedia Commons, 08.06. 2010. Kontaktwinkel.svg. (02.09.15).
URL <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kontaktwinkel.svg>
- Wikimedia Commons, 13.04. 2011a. Alsomitra macrocarpa seed (syn. Zanonía macrocarpa).jpg. (02.09.15).
URL https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alsomitra_macrocarpa_seed_%28syn._Zanonía_macrocarpa%29.jpg
- Wikimedia Commons, 25.11. 2011b. Miura-Ori CP.svg. (02.09.15).
URL https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Miura-Ori_CP.svg
- Wikimedia Commons, 20.08. 2011c. Mont Blanc Tunnel French Side.jpg. (02.09.15).
URL https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mont_Blanc_Tunnel_French_Side.jpg
- Wikimedia Commons, 01.06. 2012. Joseph Paxton by Octavius Oakley, c1850.jpg. (02.09.15).
URL https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Joseph_Paxton_by_Octavius_Oakley,_c1850.jpg

Wikimedia Commons, 18.09. 2013a. Nelumbo nucifera 01.JPG. (02.09.15).
URL http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nelumbo_nucifera_01.JPG?uselang=de

Wikimedia Commons, 15.11. 2013b. The Crystal Palace page 38.jpg. (02.09.15).
URL http://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_Crystal_Palace_page_38.jpg

Wikimedia Commons, 23.06. 2015. Papaver in Kicin (3).JPG. (02.09.15).
URL https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Papaver_in_Kicin_%283%29.JPG

Wikipedia, 03.11. 2014. Alsomitra macrocarpa. (01.09.15).
URL https://de.wikipedia.org/wiki/Alsomitra_macrocarpa

Wikipedia, 01.09. 2015a. Amnesty International. (02.09.15).
URL https://de.wikipedia.org/wiki/Amnesty_International

Wikipedia, 26.08. 2015b. Biomimetics. (02.09.15).
URL <https://en.wikipedia.org/wiki/Biomimetics>

Wikipedia, 06.08. 2015c. Biotechnologie. (06.09.15).
URL <https://de.wikipedia.org/wiki/Biotechnologie>

Wikipedia, 18.08. 2015d. Electric fence. (02.09.15).
URL https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_fence

Wikipedia, 20.06. 2015e. Fliegen (Fortbewegung). (02.09.15).
URL https://de.wikipedia.org/wiki/Fliegen_%28Fortbewegung%29

Wikipedia, 01.09. 2015f. Great Plains. (02.09.15).
URL https://en.wikipedia.org/wiki/Great_Plains

Wikipedia, 16.09. 2015g. Große Klette. (06.11.15).
URL https://de.wikipedia.org/wiki/Gro%C3%9Fe_Klette

Wikipedia, 24.08. 2015h. Ikarus. (02.09.15).
URL <https://de.wikipedia.org/wiki/Ikarus>

Wikipedia, 16.06. 2015i. Leichtbauweise. (28.10.15).
URL <https://de.wikipedia.org/wiki/Leichtbauweise>

Wikipedia, 22.06. 2015j. Nurflügel. (28.10.15).
URL <https://de.wikipedia.org/wiki/Nurfl%C3%BCgel>

Wikipedia, 27.10. 2015k. St Paul's Cathedral. (28.10.15).
URL https://en.wikipedia.org/wiki/St_Paul's_Cathedral

Weiterführende Literatur

Für diese Diplomarbeit legte ich meinen Schwerpunkt auf pflanzliche Vorbilder, die es im Botanischen Garten der Universität Wien gibt. Aus diesem Grund wird hier aus meiner Sicht wichtige vertiefende und weiterführende Literatur kurz angeführt.

Allgemeine Bionik-Bücher mit Beispielen aus Botanik und Zoologie

- Cerman, Z., Barthlott, W., Nieder, J., 2005. Erfindungen der Natur. Bionik - Was wir von Pflanzen und Tieren lernen können. Rowohlt Taschenbuch Verlag.
- Coineau, Y., Kresling, B., 1989. Erfindungen der Natur. Bionik - Die Technik lernt von Tieren und Pflanzen. Tessloff.
- Marguerre, H., 1991. Bionik - Von Der Natur Lernen. Wiley-VCH Verlag GmbH.
- Nachtigall, W., 1997. Vorbild Natur. Springer-Verlag GmbH, Berlin [u.a.].
- Nachtigall, W., Blüchel, K. G., 2001. Das große Buch der Bionik. RM-Buch-und-Medien-Vertrieb, Rheda-Wiedenbrück u.a.
- Nachtigall, W., 2002. Bionik: Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Springer-Verlag GmbH.
- Nachtigall, W., 2003. Bau-Bionik. Engineering Online Library. Springer-Verlag GmbH, Berlin [u.a.].
- Nachtigall, W., 2008. Bionik; lernen von der Natur. Beck'sche Reihe; 2436: C. H. Beck Wissen. Beck, München.
- Richter, W., 1985. Pflanzen - Vorbilder der Technik; für Freunde der Natur und Technik. LB-Naturbücherei. Landbuch, Hannover.
- Rossmann, T., Tropea, C. (Hrsg.), 2005. Bionik - Aktuelle Forschungsergebnisse in Natur-, Ingenieur- und Geisteswissenschaft. Springer, Berlin [u.a.].

Weitere pflanzliche Vorbilder für die Bionik, die aber in dieser Arbeit nicht behandelt werden

Blattbewegung bei *Mimosa pudica* L.

- Ueda, M., Yamamura, S., 1999. The chemistry of leaf-movement in mimosa pudica I. Tetrahedron 55 (36), 10937–10948.
- Patil, H., Vaijapurkar, S., 2007. Study of the geometry and folding pattern of leaves of mimosa pudica. Journal Of Bionic Engineering, Vol.4(1), pp.19-23.

Photovoltaik

- Dannenberg, M., 2012. Energien der Zukunft; Sonne, Wind, Wasser, Biomasse, Geothermie. Primus-Verl., Darmstadt.

Selbstreparierende Strukturen

- Rampf, M., Speck, O., Speck, T., Luchsinger, R. H., 2011. Self-repairing membranes for inflatable structures inspired by a rapid wound sealing process of climbing plants. Journal of Bionic Engineering 8 (3), 242–250.

Universalkerbkontur - Methode der Zugdreiecke

- Mattheck, C., 1998. Design in Nature: Learning from Trees. U.S. Government Printing Office.

Verpackung

- Küppers, E. W. U., 2002. Bionik der Verpackung: Grenzflächen des Lebens. Biologie in unserer Zeit 32 (4), 218–226.

Tabellenverzeichnis

4.1	Vergleich der St. Paul's Cathedral mit dem Crystal Palace (vgl. Gympel, 2005, S. 75, McKean, 1999, S. 1 und Wikipedia, 2015k)	35
4.2	Analogien: Crystal Palace - <i>Victoria amazonica</i> (vgl. Coineau und Kresling, 1989, S. 29)	36
4.3	Verhältnis Höhe zu Dicke bei pflanzlichen „Bauwerken“ (vgl. Nachtigall, 1997, S. 13 Abb. 7)	38
5.2	Beispielhafter Ablauf eines zweistündigen Bionik-Projekts	65
5.4	Schwerpunkte	66
5.5	Übersicht: Projekte in die Praxis umgesetzt	68

Abbildungsverzeichnis

2.1	Querverbindungen zwischen Technik, Technischer Biologie und Bionik (Nachtigall, 1997, S. 3 Abb. 1)	10
4.1	Der Klettverschluss (Lüttge und Kluge, 2012, S. 624)	21
4.2	Klettenwerfen (Straaß, 2011, S. 28)	21
4.3	Eine biotechnische „Erfindung“ und ihr Vorbild (Francé, 1920, S. 8)	22
4.4	Mohnpflanze (Wikimedia Commons, 2015)	22
4.5	Auftriebskraft (Coineau und Kresling, 1989, S. 54)	23
4.6	Samen der <i>Alsomitra macrocarpa</i> (Hoshi, 2007)	25
4.7	Nurflügler-Gleiter (Plant Biomechanics Group Freiburg und Kompetenznetz Biomimetik, 2013)	25
4.8	Fruchtstand des Wiesen-Bocksbarths, <i>Tragopogon pratensis</i> , Müritz-Gebiet (Wikimedia Commons, 2006e)	28
4.9	Makroaufnahme eines Fruchtstandes von <i>Taraxacum</i> sect. Ruderalia (Pustebblume) (Wikimedia Commons, 2006c)	28
4.10	Ein Servietten-Fallschirm (wikiHow, 2015)	30
4.11	Flugmodell von <i>Alsomitra macrocarpa</i> Samen (Wikimedia Commons, 2011a, als Vorlage)	32
4.12	Sir Joseph Paxton (Wikimedia Commons, 2012)	33
4.13	The Crystal Palace, 1851 (Wikimedia Commons, 2013b)	33
4.14	<i>Victoria amazonica</i> (Wikimedia Commons, 2005a)	37
4.15	Unterseite von <i>Victoria amazonica</i> (Wikimedia Commons, 2008)	37
4.16	Paxtons Tochter steht auf einem Blatt von <i>Victoria amazonica</i> , 1849 (Wikimedia Commons, 2005c)	37
4.17	The Crystal Palace, 1851 (Merin, 2013)	37
4.18	Biologische und technische Hochbauten im theoretischen Vergleich (Nachtigall und Blüchel, 2001, 151)	39
4.19	<i>Phyllostachys pubescens</i> : Längsschnitt durch die Halmbasis (Speck und Speck, 2007, 21 Abb. 3)	39
4.20	Zwergpalme (<i>Chamaerops humilis</i>) (Wikimedia Commons, 2005b)	43

4.21 Tunnelausfahrt des Mont-Blanc-Tunnels auf französischer Seite (Wikimedia Commons, 2011c)	43
4.22 Hainbuche (<i>Carpinus betulus</i>) (Wikimedia Commons, 2006a)	44
4.23 Rot-Buche (<i>Fagus sylvatica</i>) (Wikimedia Commons, 2007b)	44
4.24 Bastelvorlage Stabilität von Falten (von der Verfasserin)	45
4.25 Stabilität von Falten: Berg- und Talfalten (Schmid et al., 2009, S. 41; Kopiervorlage 1; Abb. 2)	46
4.26 Stabilität von Falten: Versuchsanordnung (Schmid et al., 2009, S. 41; Kopiervorlage 1; Abb. 6)	46
4.27 Hainbuche (<i>Carpinus betulus</i>) (Wikimedia Commons, 2007a) [gespiegelt] . .	47
4.28 Blattmodell: halb entfalteter Zustand (Schmid et al., 2009, S. 38; Abb.12) . .	47
4.29 Blattmodell mit Beschriftung (Schmid et al., 2009, S. 42; Kopiervorlage 2 - verändert)	47
4.30 Bastelvorlage Miura-Ori Faltmuster (Wikimedia Commons, 2011b)	49
4.31 Die „Great Plains“ (Wikimedia Commons, 2006b)	51
4.32 <i>Maclura pomifera</i> (Wikimedia Commons, 2004)	53
4.33 Patentanmeldung von Michael Kelly: „Improvement in Fences“ 1868 (Kelly, 1868, S. 1)	53
4.34 Stacheldrahtzaun für Demonstrationszwecke (Bild von der Verfasserin) . . .	55
4.35 Kontaktwinkel (Wikimedia Commons, 2010)	57
4.36 Computer graphic of a lotus leaf surface (Wikimedia Commons, 2007c) . . .	58
4.37 Selbstreinigendes Glas (Wikimedia Commons, 2006d)	58
4.38 <i>Nelumbo nucifera</i> (Wikimedia Commons, 2013a)	58

Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit einzuholen. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.

8 Anhang

Zusammenfassung

Ziel dieser Diplomarbeit war es, Informationen und Didaktisierungsvorschläge zum Thema Bionik für Projekte im Botanischen Garten zusammenzustellen. Diese Arbeit wurde auch für die Grüne Schule geschrieben und ist größtenteils an die Pflanzen des Botanischen Garten der Universität Wien angepasst.

Das Hauptaugenmerk liegt auf die Beschreibungen von ausgewählten Pflanzen und den bionischen Produkten, für welche sie als Vorbild dienen. Der Hauptteil ist in die drei Themenschwerpunkte „Diasporenausbreitung“, „Bau-Bionik“ und „Lotuseffekt“ gegliedert und jeweils mit mehreren Beispielen versehen.

Grundlegende Informationen zum Thema Bionik, didaktische Überlegungen und Vorschläge für die Praxisumsetzung liefern das nötige Hintergrundwissen.

Zielgruppe dieser Arbeit sind GartenführerInnen, die ein Bionik-Projekt in einem Botanischen Garten umsetzen möchten. Außerdem bietet diese Diplomarbeit auch Informationen und Ideen zur praktischen Umsetzung für interessierte LehrerInnen mit naturwissenschaftlichen Fächern.

Abstract

The translated title of this diploma thesis is: "Biomimetics: Discovering plants as models for technological inventions at the Botanical Garden of the University Vienna".

The aim of this thesis is to provide information and didactics for the topic of biomimetics to be implemented in an interactive tour at the Botanical Garden. This thesis was written for the "Grüne Schule" ("Green School") and is mainly focused on the plants to be found in the Botanical Garden of the University Vienna.

The main focus of this thesis lies in the descriptions of selected plants and the biomimetic products for which they function as models. The main part is structured into the three chapters, "diaspore dispersal", "biomimetics for construction" and "lotus effect"; in all of these subchapters, several examples can be found.

Background knowledge about biomimetics, teaching methodology as well as proposals for the implementation of the tour are provided.

The target audience for this diploma thesis are tour guides in botanical gardens who want to offer an interactive biomimetic tour. Additionally, natural science teachers who are interested in this topic may find useful information and ideas which they can use in their classes.

Lebenslauf

Studium und Schule

2007 - 2015	Lehramtsstudium an der Universität Wien: Biologie und Umweltkunde & Englisch
1999 - 2007	BRG Gröhrmühlgasse in Wiener Neustadt (Realgymnasium mit naturwissenschaftlichem Schwerpunkt), Matura 2007
1995 - 1999	Volksschule in Markt Piesting

Berufserfahrung

Sep. 2014 - Juni 2015	Lehrerin für die HAK VBS Schönborngasse, 1080 Wien
Sep. 2013 - Juni 2014	Lehrerin für die Maturaschule Dr. Rampitsch
2009 - 2014	Gartenführerin für die Grüne Schule im Botanischen Garten der Universität Wien
2008 - 2014	Mitarbeit bei Feriencamps für Kinder: insgesamt 11 Wochen als Gruppenbetreuerin und 10 Wochen als Team- und Turnusleitung

Auslandserfahrungen und zusätzliche Qualifikationen

Feb. 2011 - Juni 2011	Englischstudium an der Universität Malta (30 ECTS bestanden) und zweimonatiges Internship in einer Tauchschule mit abschließender Zertifizierung zum PADI-Divemaster
-----------------------	--