



Bionik – Die Natur als Inspiration für technische Anwendungen

PAULA, AGLAS
PAULA.AGLAS@AGLAS.AT

Zusammenfassung

Die naturwissenschaftliche Disziplin Bionik beschäftigt sich mit der Entdeckung von biologischen Phänomenen, deren zugrunde liegenden Prinzipien und deren Übertragung auf technische Anwendungen. Der Begriff „Bionik“ wird in dieser Arbeit geklärt und seine Bedeutung für die technische Weiterentwicklung wird aufgegriffen. In weiterer Folge werden Teilgebiete wie Strukturbionik, Baubionik, Klimabionik, und Konstruktionsbionik beschrieben. Auf Einsatzmöglichkeiten im Unterricht folgt ein Unterrichtseinstieg in das Thema Bionik einschließlich Begründung.

1 Was ist Bionik?

Den Begriff „bionics“ führte der amerikanische Luftwaffenmajor Jack E. Steele 1960 erstmals offiziell auf dem ersten Bionics Symposium zum Thema „Living Prototypes“ in Ohio ein. Er ist eine Verbindung aus dem griechischen Wort „bios“ (=Leben) und dem Suffix „ionics“ (=Studium von...). Im deutschsprachigen Gebrauch wird das Kunstwort „Bionik“ als eine Morphologie zwischen „Biologie“ und „Technik“ beschrieben. (vgl. Hill, 2006; Küppers, 2015)

Die Vorgehensweise in der Bionik entspricht dem Leitsatz von Max Planck: „Dem Anwenden muss das Erkennen vorausgehen“. Eine bionische Anwendung erfolgt in folgenden vier Teilschritten:

1. Entdeckung eines biologischen Phänomens
2. Verständnis des zugrunde liegenden Prinzips
3. Übertragung des natürlichen Prinzips auf technische Fragestellungen
4. Erfindung eines technischen Anwendungsprozesses

(vgl. Hill, 2006; Rüter, 2008)

Bionik ist somit eine grenzübergreifende Disziplin, die Ergebnisse von Grundlagenforschung weiterentwickelt und für eine technische Anwendung anpasst. Vorbilder aus der Natur werden wahrgenommen, jedoch nicht exakt kopiert. Um sich Mechanismen zu Nutze zu machen, müssen sie zuerst bis ins kleinste Detail verstanden und an die technischen Fragestellungen angepasst werden. (vgl. Hill, 2006)

Im Jahr 1993 wurde folgende Definition vom VDI, Verein Deutscher Ingenieure, festgelegt: „Bionik als Wissenschaftsdisziplin befasst sich systematisch mit der technischen Umsetzung

und Anwendung von Konstruktionen, Verfahren und Entwicklungsprinzipien biologischer Systeme“. (vgl. Hill, 2006)

Um weitere Teilgebiete der Biologie, Ökologie und Soziobiologie einzubinden, wurde diese Definition in den darauffolgenden Jahren um folgenden Satz erweitert: „Dazu gehören auch Aspekte des Zusammenwirkens belebter Teile und Systeme sowie die wirtschaftlich-technische Anwendung biologischer Organisationskriterien“. (vgl. Nachtigall, 1998)

Bionik als Lernen von der Natur für technische Lösungen ist nicht neu. Frühe Ansätze eines bionischen Gedankengangs sind vor dem Hintergrund des Traums vom Fliegen entstanden. Bereits Leonardo da Vinci entwarf im 15. Jahrhundert auf Basis seines Werks „Il codice sul volo degli uccelli“ (= Kodex über den Vogelflug) Flugmaschinen. In den 1890er Jahren entwickelte Otto Lilienthal nach langen Beobachtungen des Storchenflugs erfolgreiche Gleitflieger. Die Erfindung des Stacheldrahts ist ebenfalls Resultat bionischen Denkens. Der Osagedorn hält durch seine dornenbesetzten Zweige Vieh auf vorgegebenen Plätzen und wurde aus Draht von Michael Kelly 1868 nachgebaut. (vgl. Oertel, Grunwald, 2006)

2 Teilgebiete der Bionik

So vielfältig die Vorbilder aus der Natur sind, so vielfältig sind auch die Einsatzmöglichkeiten der Bionik. Zwischen den verschiedenen Teilbereichen der Bionik sind Überlappungen wahrnehmbar und in Zukunft werden sich mit hoher Wahrscheinlichkeit weitere Untergliederungen von Bionik als zielführend erweisen.

Die **Strukturbionik** untersucht, beschreibt und vergleicht biologische Strukturelemente. Zusätzlich werden unkonventionelle Materialien auf Eignung für technische Anwendungen getestet. (vgl. Hill, 2006; Rüter, 2008)

Zur Strukturbionik gehört unter anderem eines der bekanntesten Phänomene in der Bionik, der Lotuseffekt. Dieser Effekt bezeichnet die Selbstreinigung der Blätter der Lotuspflanze, die aus einer wasserabweisenden Schicht und dem Oberflächenparadoxon resultiert. Lange Zeit gingen Wissenschaftler davon aus, dass nur besonders glatte Flächen sauber sind. Jedoch genau das Gegenteil ist der Fall. Die Blätter der Lotuspflanze sind mit einer Wachsschicht überzogen, die unterschiedlich große röhrenförmige Kristalle im Bereich von 200 Nanometern bis zwei Millimetern bildet. Ein Wassertropfen bildet aufgrund seiner Eigenschaften als Dipol die energetisch günstigste Form, eine Kugel, bei der das Volumen am größten und die Oberfläche am geringsten ist. Fällt ein kugelförmiger Wassertropfen auf die Wachsschicht, berührt er nur die Spitzen der Kristalle und somit beträgt die Kontaktfläche 0,7 Prozent. Durch die äußerst geringe Kontaktfläche ist die Adhäsionskraft zwischen Blatt und Tropfen sehr gering. Rollt nun ein Wassertropfen über einen Schmutzpartikel ist die Adhäsionskraft zwischen Tropfen und Schmutz größer als die zwischen Schmutzpartikel und Blatt, wodurch der Wassertropfen den Schmutz mit abtransportiert (siehe Abb. 1). (vgl. Hill, 2006; Rüter, 2008)

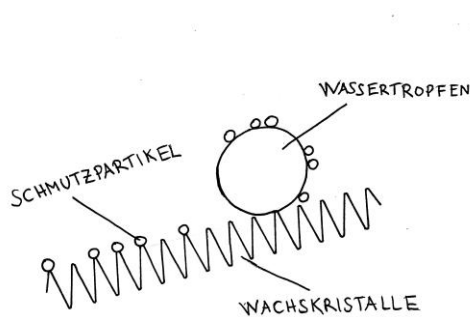


Abb. 1 – Lotuseffekt (nach Hill, 2006)

In der **Baubionik** werden biologische Leichtbauten wie Seilkonstruktionen von Spinnennetzen, Membran- und Schalenkonstruktionen genauso wie optimale Flächennutzung von Bienenwaben (siehe Abb. 2) studiert. Weiters beinhaltet die Baubionik die Rückbesinnung auf traditionelle Baumaterialien wie Ton und die Abstimmung von einzelnen Wohnelementen in der Gesamtfläche. Natürliche Bauten folgen

stets dem Prinzip von höchster Stabilität und geringstem Energie- und Materialaufwand. (vgl. Hill, 2006; Rüter, 2009)

Ziegelsteine mit bienenwabenförmigen Löchern sparen Material ein, ohne die Statik des Gebäudes zu verschlechtern. Das Gewicht reduziert sich um 40 Prozent zu herkömmlichen Ziegeln, was bereits Transportkosten spart. Die Hohlräume sind mit Luft gefüllt und sorgen somit für einen guten Schall- und Wärmeschutz. Ein weiterer erwünschter Nebeneffekt ist, dass die Hohlräume Platz für das Verlegen von Leitungen bieten. (vgl. Rüter, 2009)

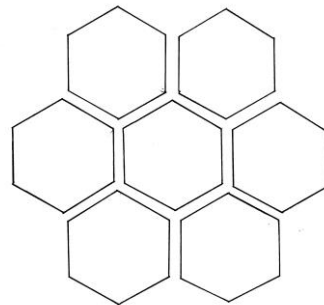


Abb. 2 – Bienenwaben (nach Rüter, 2008)

Die **Klimabionik** beschäftigt sich mit passiver Belüftung, Kühlung und Heizung. Hierzu zählen die ideale Ausrichtung von Bauten zu Sonne und Wind, Dachformen, Unterkellerung und Luftführung genauso wie die Luftumwälzung nach Art der Termitenbauten. Durch die technische Einbettung dieser Phänomene in moderne Gebäude könnte ein Großteil der Energie zur elektrischen Kühlung und Heizung gespart werden. (vgl. Hill, 2006)

Präriehunde bauen einen ihrer beiden Ausgänge kaminartig erhöht, während der andere niedrig bleibt. Sie nutzen den Effekt, dass der Wind über den erhöhten Ausgang strömt und dort einen Unterdruck erzeugt, wodurch Verdunstungskühle in das unterirdische Höhlensystem zieht und es durchlüftet. Über Jahrhunderte wurde im mittleren Osten das System eines Kühlturms verwendet. Die Luft wurde zusätzlich über ein Wasserbecken geführt, um die Kühlung zu verstärken (siehe Abb. 3). (vgl. Hill, 2006)

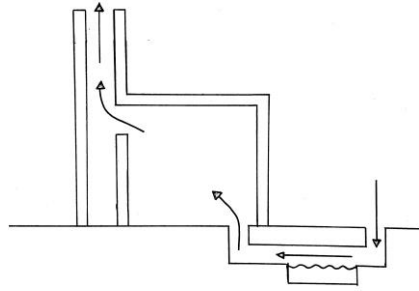


Abb. 3 – Konstruktion eines Kühlturms mit Wasserbecken (nach Hill, 2006)

In der **Konstruktionsbionik** werden Konstruktionselemente und Mechanismen aus biologischen und technischen Bereichen verglichen. Im Fokus liegt der Beitrag einzelner Elemente zur Funktion eines Ganzen, wie beispielsweise unkonventionelle Materialeigenschaften. Nach dem Prinzip der statischen Verhakung, wie es bei Kletten oder bei Würmern ausgebildet ist, wurden bereits eine Vielzahl von unterschiedlichen Klettbändern entwickelt. (vgl. Hill, 2006; Rüter, 2008)

Den ersten Klettverschluss ließ sich George de Mestral 1948 patentieren. Eine Seite des Verschlusses ist mit Schlaufen besetzt, die andere mit Widerhaken. Wenn die beiden Seiten aufeinander gedrückt werden, haften diese aneinander (siehe Abb. 4). Bei diesem Modell nützt sich jedoch der Verschluss durch Ausreißen der Haken schnell ab, was den Anstoß zur Weiterentwicklung gab. Heute sind meist auf beiden Seiten Schlaufen und Haken angebracht, wodurch der Verschluss langlebiger ist. (vgl. Hill, 2006)

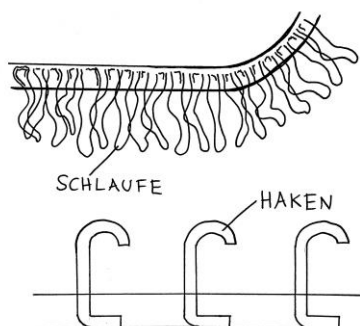


Abb. 4 – Klettverschluss (nach Metz, 2011)

In die **Bewegungsbionik** fallen Beobachtungen der Hauptbewegungsformen im Tierreich wie Laufen, Schwimmen und Fliegen hinein. Die

Strömungsanpassung von Körperformen, die Oberflächengestaltung und der Antriebsmechanismus von Bewegungsorganen stehen im Vordergrund. Für die Karosserieform besonders effizienter Fahrzeuge, dient der außerordentlich strömungsförmige Körper eines Pinguins als Vorbild. (vgl. Hill, 2006; Träger, 2014)

Die Oberflächenrauigkeit von Haien reduziert beispielsweise ihren Strömungswiderstand. Der Hai ist am ganzen Körper mit Schuppen besetzt. Wenn von vorn nach hinten über den Haikörper gestrichen wird, fühlt er sich glatt an. Beim Streichen in die Gegenrichtung wird sie als rau empfunden. Bei den Haischuppen handelt es sich um Schuppenzähne aus Dentin. Diese verfügen über eine Rillenstruktur, die so angeordnet ist, dass sie sich über den ganzen Körper erstreckt. Durch die Schuppen wird der Oberflächenwiderstand bei schnellem Schwimmen geringer. Die Rillen erzeugen viele kleine Wasserwirbel, die die seitlich gerichteten Kräfte der turbulenten Strömung verringern und die Bremswirkung reduzieren (siehe Abb. 5). Die Hautschuppen sind beweglich und verhindern somit, dass sich Fremdkörper wie Seepockenlarven oder Muscheln festsetzen. Ein Bootsanstrich, der nach diesem Vorbild entwickelt wurde, weist den sogenannten „Antifouling-Effekt“ auf, der den Schiffsrumpf frei von Meeresorganismen hält.

(vgl. Rüter, 2008; Rams, Schlößer, 2016)



Abb. 5 – Haischuppen (nach Hill, 2006)

Der **Anthropobionik** werden die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten der Robotik und der Bereich der Mensch-Maschinen-Interaktion zugeordnet. Die Idealkonfiguration eines Fahrrads, mit dem mit hoher Muskeffizienz gefahren werden kann, die bedienungsfreundliche Gestaltung eines Cockpits und die Entwicklung von Greifarmsteuerungen gehören dazu. Eine wichtige Basis dieses Teilgebiets ist die Be-

obachtung der Interaktion des Menschen mit seiner Umgebung. (vgl. Hill, 2006)

Sensorik ist die Gesamtheit aller Sinnesorgane von Lebewesen. Die Sinnesorgane nehmen Reize aus der Umgebung auf und leiten sie zur Verarbeitung weiter. Für den Menschen wahrnehmbare Reize sind entweder visuell, haptisch, akustisch, olfaktorisch, oder gustatorisch. Hinzu kommen der Temperatursinn, der Gleichgewichtssinn, die Tiefensensibilität und das Schmerzempfinden. In der Tierwelt finden sich noch einige weitere Sinne wie der Magnetsinn, durch den das Erdmagnetfeld wahrgenommen wird. **Sensorbionik** untersucht Mechanismen zur Aufnahme, Weiterleitung, Verarbeitung und Speicherung von chemischen und physikalischen Reizen sowie Ortung und Orientierung in der Umwelt. Tastaare von Katzenartigen werden technisch nachgebaut und beispielsweise an Erkundungsrobotern befestigt. (vgl. Rüter, 2008)

Die **Neurobionik** beschäftigt sich mit der Funktion von Neuronen und Nervensystemen als ganze Einheiten, um die Ergebnisse auf elektronische Informationssysteme zu übertragen. Dies beinhaltet die Entwicklung sogenannter „Neuronaler Schaltkreise“ in der Technik. (vgl. Hill, 2006; Rüter, 2008)

3 Bionik in der Schule

In mehreren Unterrichtsfächern wird versucht die Umwelt und die darin auftretenden Ereignisse mit unterschiedlichen Methoden zu beschreiben und zu ergründen. Die Einsichten, die vermittelt werden, stehen meist für sich. Der/die Schüler_in kann üblicherweise nicht erkennen, wie sich Mathematik, Physik, Chemie, Biologie und die Geistes- und Sprachwissenschaften zu einem großen Ganzen zusammenfügen. Bionik verbindet Physik, Biologie und auch Chemie und kann so zu einer grenzübergreifenden Verzahnung führen, die absolut prägend sein kann. (vgl. Nachtigall, 1998)

Durch Beobachten und Entdecken von Naturphänomenen werden Naturvorgänge für Schüler_innen verständlicher. Durch eine experimentelle Herangehensweise an technische Fragestellungen wird das Interesse der Lernenden für biologische Phänomene geweckt. Bionik erweist sich als Schlüsselprinzip im Bereich Wissenschaft und Technik. In vielen Lebensbe-

reichen ist naturwissenschaftlich-technisches Denken unumgänglich. In der Bionik werden Erkenntnisse aus der Biologie in die Technik übertragen, wodurch sich speziell für den fächerübergreifenden Unterricht viele Möglichkeiten zur lebendigen Unterrichtsgestaltung auftun. (vgl. Rüter, 2015)

Beim entdeckenden Lernen lösen Schüler_innen mit Hilfe ihrer eigenen Kreativität und ihres Ideenreichtums technische Fragestellungen. Der Lernstoff wird ihnen nicht präsentiert, sondern von ihnen entdeckt. Die Lernenden lernen das Prinzip von Ursache und Wirkung kennen. Beim Experimentieren und Erforschen von Naturphänomenen soll der Aspekt der Nachhaltigkeit, wie der Umgang mit Rohstoff- und Energieresourcen mit einbezogen werden. (vgl. Rüter, 2015)

4 Einstieg in das Thema „Bionik“

Die Miura-Faltung

Faltstrukturen gehören zur Baubionik. Sie treten in der Natur häufig auf, beispielsweise bei Palmblättern oder bei der Faltung von Blättern innerhalb Knospen wie bei Blüten und Laubbaumblättern. Faltbare Insektenflügel fallen ebenfalls in diese Kategorie. In den 1970er Jahren entwickelte der japanische Physiker Koryo Miura eine spezielle Falstechnik und nahm sich dabei das Blatt der japanischen Hainbuche zum Vorbild. Angepeilt wurde ein Verwendungszweck in der Raumfahrt und ein extremes Leichtbau-Design (siehe Abb. 7). Um Faltkonstruktionen stabil und beweglich zu gestalten sind X-förmige Falze, die auch die Rolle von linearen Gelenken übernehmen, eine spiegelsymmetrische Anordnung von Flächen um eine Falz herum und eine ausschließlich in den Ebenen der Fläche wirkende Belastung notwendig. Die Faltflächen werden so kombiniert, dass Nachbarflächen antagonistische Bewegungen ausführen und dadurch wie steife Rahmen funktionieren, um das mechanische Verhalten der Faltstruktur kontrollieren zu können. So werden Flächen nur in ihrer eigenen Ebene belastet und Verformungen werden vermieden. Miuras Entdeckung bietet aufgrund repetitiver Anordnung von Flächenelementen eine Möglichkeit, die Konstruktion auf einmal in drei Raumrichtungen zu öffnen und wieder in ein Faltpaket zusammenzuschieben. Im Gegensatz dazu erfolgen bei herkömmlicher Faltung von Plänen oder Briefen die Faltvorgänge nacheinander. Die ein-

zelenen Flächen sind als kinematische Ketten gekoppelt. Eine solche Faltfläche lässt sich durch einfachen Zug oder Druck entlang der Diagonalen auf- und wieder zusammenfallen. (vgl. Nachtigall, 2013)

Das Prinzip entdecken

Um entdeckend in das Thema „Bionik“ einzusteigen, ist die Miura-Faltung gut geeignet, da als Material DIN A4 Papier gebraucht wird und die Schüler_innen die Faltung selbst ausprobieren können. Hierbei wirkt der Aspekt des entdeckenden Lernens.

Jede_r Schüler_in bekommt im ersten Schritt den Auftrag, in fünf Minuten ein Blatt Papier so klein wie möglich zusammen zu falten. Als zusätzliche Bedingung soll das gefaltete Papier in so wenig wie möglich Handgriffen wieder entfaltet und erneut in die Faltung gebracht werden. Die Ergebnisse werden kurz besprochen.

Nun bekommt jede_r einzelne als Anregung eine offene Knospe und ein Blatt der Hainbuche zur Betrachtung. Sie erhalten erneut ein Blatt Papier und sollen den Versuch wiederholen. Die Ergebnisse werden wiederum kurz besprochen und mit dem ersten Versuch verglichen (siehe Abb. 6).

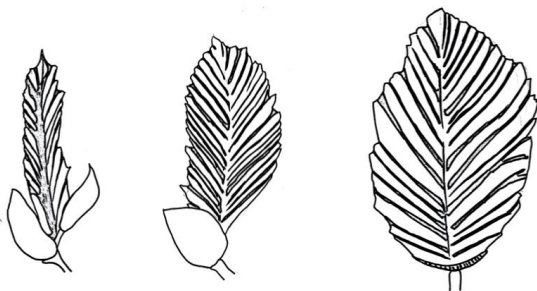


Abb. 6 – Knospe und Blatt einer Hainbuche (nach Rüter, 2009)

Im Anschluss daran wird die Anleitung für die Miura-Faltung ausgeteilt (siehe Abb. 7). Die Faltung des letzten Blatt Papiers nach Anleitung wird nun gemeinsam mit der Lehrperson durchgeführt.

Folgende Fragen werden an die Klasse gestellt und die Antworten an der Tafel gesammelt:

- Wie verändern sich die Eigenschaften des Papiers nach der Faltung?

- Hat die Betrachtung des Blatts beim zweiten Versuch geholfen, die Kriterien besser zu erfüllen? Wenn ja, wie?
- Welche Einsatzmöglichkeiten im Alltag und in der Technik eröffnet die Miura-Faltung?

In weiterer Folge wird der Zusammenhang zwischen Hainbuchenblatt und Miura-Faltung erklärt. Der Begriff „Bionik“ wird eingeführt und die Funktionsweise einer bionischen Anwendung erklärt. Sehr bedeutsam ist der Aspekt, dass Bionik nicht eine exakte Übertragung der Biologie auf die Technik ist. In dem zuvor durchgeführten Versuch wird klar ersichtlich, dass die Hainbuche nur als Vorbild gilt. Das Prinzip musste erforscht und verstanden werden, um die raffinierte und platzsparende Falttechnik entwickeln zu können.

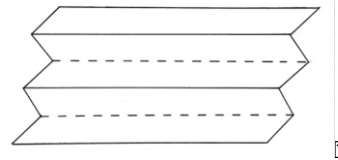
Durch selbstständiges Beobachten und Entdecken kann die Grundlage der Bionik verstanden werden und in Erinnerung bleiben.

Bionik fällt in den Bildungsbereich „Natur und Technik“ der fächerübergreifend wirkt. Im Unterrichtsfach Physik wird der Begriff „Bionik“ im Lehrplan nie explizit erwähnt. Das Themenbereich im Physikunterricht in jeder Schulstufe unterrichtet werden. Im Lehrplan für das Unterrichtsfach „Werkerziehung“ findet sich der Begriff Bionik im Abschnitt für die Oberstufe als Beitrag zu den Bildungsbereichen. (vgl. RIS, 2020)

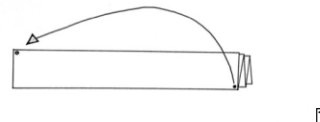
Miura-Faltung

Material: 1 DIN A4-Blatt Papier

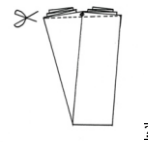
1. Ein DIN A4-Blatt Papier wird in Längsrichtung in fünf gleich breite Streifen, so wie eine Ziehharmonika gefaltet.



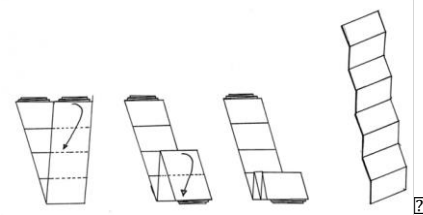
2. Der zusammengefaltete Papierstreifen wird schräg gefaltet und die diagonal gegenüberliegenden Ecken sollen daraufhin nebeneinander liegen.



3. Parallel zur unteren Faltlinie wird der obere Teil von Ecke zu Ecke abgeschnitten.

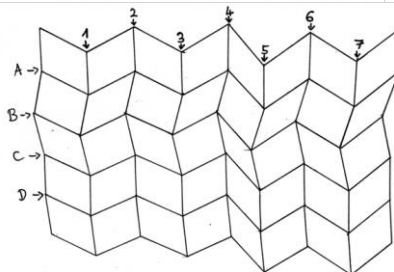


4. Ebenfalls parallel zur mittleren Falte wird der Streifen so gefaltet, dass acht gleich große Parallelogramme entstehen.



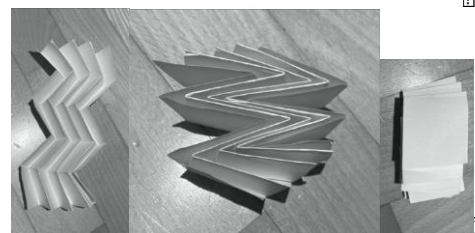
5. Jede Falte wird auch in die Gegenrichtung gefaltet.

6. Das Papier wird geöffnet und die acht Faltspalten werden abwechselnd als Talfalte nach unten (1, 3, 5, 7) und als Bergfalte nach oben (2, 4, 6) gefaltet.



7. Die Reihen werden abwechselnd nach rechts (A, C) und links (B, D) gefaltet während gleichzeitig die Konstruktion zusammengeschoben wird.

8. Die Ecken, die sich diagonal gegenüberstehen, werden geschoben und gezogen um das Paket zu falten und entfalten.



?

Quelle: Belzer, S. (Hrsg.): Bionik-Sigma Education. Darmstadt: Corporate- und Web-Design: Bionik Sigma + designeon-Büro für Gestaltung. Bezogen unter: <http://education.bionik-sigma.de>

Abb. 7 – Arbeitsblatt: Anleitung zur Miura-Faltung (nach Belzer)

5 Zusammenfassung

Bionik bringt die Erkenntnisse, die aus den Phänomenen der Natur gewonnen werden, in einen technischen Kontext. Diese Disziplin beschäftigt sich damit, Mechanismen aus der Natur zu verstehen und dadurch technische Verbesserungen und Neuerungen für die Zukunft zu entwickeln. Die Natur schafft bei minimalem Material- und Energieeinsatz optimale Strukturen und recycelt diese an ihrem Lebensende vollständig. Von einem Stoffkreislauf wie diesem sind selbst modernste technologische Entwicklungen zum jetzigen Zeitpunkt weit entfernt. (vgl. Rüter, 2006)

Fächerübergreifender Unterricht eignet sich ideal für die Thematik der Bionik. Die Zusammenarbeit von Physik, Biologie und Chemie, genauso wie ethische Fragen, bilden eine Basis für lebensnahe und lehrreiche Schulstunden.

6 Literatur

- Belzer, S. (Hrsg.): Bionik-Sigma Education. Darmstadt: Corporate- und Web-Design: Bionik Sigma + designeon-Büro für Gestaltung. Bezogen unter: <http://education.bionik-sigma.de> (Letzter Zugriff: 22.02.2020)
- Hill, B. (Hrsg.) (2006): Bionik. Lernen von der Natur. Natur. Mensch. Technik. Berlin: DUDEN PAETEC GmbH
- Küppers, E. W. U. (2015): Systemische Bionik. Impulse für eine nachhaltige gesellschaftliche Weiterentwicklung. Wiesbaden: Springer Vieweg
- Metz, M. (Hrsg.) (2011): Bionik (2). Eine Sache mit Haken und Ösen- Der Klettverschluss. Freiburg: Lehrerfreund GmbH. Bezogen unter: <https://www.lehrerfreund.de/technik/1s/bionik-2-Eine-Sache-mit-Haken-und-oesen-der-Klettverschluss/3856> (Letzter Zugriff: 15.12.2019)
- Nachtigall, W. (1998): Bionik. Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Berlin Heidelberg: Springer Verlag
- Nachtigall, W., Pohl G. (2013): Bau-Bionik.Natur-Analogien-Technik. 2. neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Berlin Heidelberg: Springer Verlag
- Oertel, D., Grunwald, A. (2006): Potenziale und Anwendungsperspektiven der Bionik. Vorstudie. Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft
- Rams, S., Schlößer, T. (2016): Bionik. Planet Wissen. Forschung. Bezogen unter: <https://www.planet-wissen.de/natur/forschung/bionik/index.html> (Letzter Zugriff: 22.02.2020)
- Rechtinformationssystem des Bundes (RIS) (2020): gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen, Fassung 23.02.2020. Bezogen unter: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568> (Letzter Zugriff: 23.02.2020)
- Rüter, M. (2008): Bionik. München: Compact Verlag
- Rüter, M. (2009): Projektmappe Biologie. Bionik. Mühlheim an der Ruhr: Verlag an der Ruhr

Rüter, M. (2015): Bionik in der Schule. Bezogen unter: <https://www.martina-rüter.de/text-fachtexte-naturwissenschaften/bionik/bionik-in-der-schule/> (Letzter Zugriff: 22.02.2020)

Träger, C. (2014): Ohne die Natur wäre die Technik aufgeschmissen. Welt. Bezogen unter: <https://www.welt.de/wirtschaft/webwelt/article126324380/Ohne-die-Natur-waere-die-Technik-aufgeschmissen.html> (Letzter Zugriff: 22.02.2020)