

Bionik

Biologie als Vorbild für die Technik

Prof. Gianni N. Di Pietro*

Januar, 2019

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Abbildungsverzeichnis | ii |
| 1 Was ist Bionik? | 1 |
| 1.1 Eine formale Definition der Bionik | 1 |
| 2 Prominente Beispiele aus dem Bereich der Bionik | 3 |
| 2.1 Der Lotus-Effekt | 3 |
| 2.2 Der Klettverschluss | 4 |
| 2.3 Miura-Faltung | 4 |
| 3 Geschichtlicher Ursprung der Bionik | 6 |
| 4 Anwendungsgebiete der Bionik | 7 |
| 5 Vorgehensweisen in der bionischen Forschung | 9 |
| 5.1 Analog-Bionik | 9 |
| 5.2 Abstraktions-Bionik | 9 |
| 5.3 Prinzipien biologischen Designs | 9 |
| 6 Verwandte Gebiete | 11 |
| Literaturverzeichnis | 12 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|-----|---|---|
| 2.1 | Lotuspflanze | 3 |
| 2.2 | Oberfläche des Lotus-Blatts | 3 |
| 2.3 | Grosse Klette | 4 |
| 2.4 | Klettverschluss | 4 |
| 2.5 | Knospe der Mohnblume | 5 |
| 3.1 | Ausschnitt aus dem <i>Codice...</i> von LEONARDO DA VINCI | 6 |

1 Was ist Bionik?

Die folgenden Ausführungen sind, teilweise wortwörtlich, den folgenden Quellen entnommen: [2, 3]. Insbesondere [3] ist jedem, der anfängt, sich mit Bionik zu beschäftigen, ans Herz gelegt. Es ist ein reich bebildertes einführendes Buch von einem der Begründer der Wissenschaft, auf den wir weiter unten zu sprechen kommen.

Die Natur hat in Jahrmillionen der Evolution für viele Fragen, die heute in der Technik gestellt werden, Antworten gefunden, die überraschend, genial und hocheffizient sind. Erst seit Kurzem beginnen Wissenschaftler, systematisch diesen reichen, grösstenteils ungenutzten Fundus an Wissen zu erkunden mit dem Ziel, die Problemlösungen der Natur auf die Technik zu übertragen. Dies im Hinblick darauf, jetzige technische Lösungen effizienter und damit auch umweltverträglicher zu machen.

Die Wissenschaft, die sich mit solchen Fragestellungen beschäftigt, nennt sich *Bionik*. Dieser Begriff setzt sich aus den beiden Begriffen *Biologie* und *Technik* zusammen und drückt damit treffend die Kombination dieser zwei auf den ersten Blick nicht vereinbaren Welten aus.

Wir wollen und in der Folge mit den folgenden Themen beschäftigen:

- Welche Beispiele stellen die Ideen der Bionik am besten dar? (*Prominente Beispiele aus der Bionik*: Kapitel 2)
- Wann hat man angefangen, die Natur zum Vorbild für technische Entwicklungen zu nehmen? (*Geschichtlicher Ursprung der Bionik*: Kapitel 3)
- In welchen technischen Bereichen profitiert man derzeit von der Bionik? (*Anwendungsgebiete der Bionik*: Kapitel 4)
- Wie gehen Bioniker vor und an welchen Prinzipien orientieren sie sich? (*Vorgehensweisen in der bionischen Forschung*: Kapitel 5)
- Wie hängt Bionik mit Schwarmintelligenz und emergentem Verhalten zusammen? (*Verwandte Gebiete*: Kapitel 6)

Aufgabe 1. Welche möglichen Anwendungsgebiete der Bionik kommen Ihnen spontan in den Sinn?

Bevor wir weiter in die Details vordringen, wollen wir aber den Begriff der Bionik etwas formaler definieren.

1.1 Eine formale Definition der Bionik

Es gibt unterschiedliche Definitionen des Begriffs *Bionik*. Ein Pionier auf dem Gebiet der Bionik ist WERNER NACHTIGALL, der die Bionik wie folgt definiert:

1 Was ist Bionik?

»Bionik als Wissenschaftsdisziplin befasst sich systematisch mit der technischen Umsetzung und Anwendung von Konstruktionen, Verfahren und Entwicklungsprinzipien biologischer Systeme. Dazu gehören auch Aspekte des Zusammenwirkens belebter und unbelebter Teile und Systeme sowie die wirtschaftlich-technische Anwendung biologischer Organisationskriterien.«

Der Verein Deutscher Ingenieure definiert die Bionik hingegen folgendermassen:

»Unter Bionik werden Forschungs- und Entwicklungsansätze verstanden, die ein technisches Anwendungsinteresse verfolgen und auf der Suche nach Problemlösungen, Erfindungen und Innovationen Wissen aus der Analyse lebender Systeme heranziehen und dieses Wissen auf technische Systeme übertragen. Der Gedanke der Übertragung von der Biologie zur Technik ist dabei das zentrale Element der Bionik.«

Aufgabe 2. Welches ist das zentrale Anliegen der Bionik? Inwiefern unterscheiden sich die beiden Definitionen?

2 Prominente Beispiele aus dem Bereich der Bionik

2.1 Der Lotus-Effekt

Der *Lotus-Effekt* ist wohl das bekannteste Beispiel der Bionik. Die beiden Botaniker der Universität Bonn, WILHELM BARTHLOTT und CHRISTOPH JAKOB NEINHUIS haben die Blätter der Lotuspflanze (Bild 2.1) untersucht und festgestellt, dass deren Blätter trotz teils beträchtlicher Verschmutzung nach einem Regenfall wieder komplett sauber waren.



Abbildung 2.1: Lotuspflanze

Die Untersuchung der Oberfläche hat ergeben, dass dieser selbstreinigende Effekt auf zwei Tatsachen beruht: Die Oberfläche ist wasserabweisend (hydrophob) und zudem fein genoppt (Bild 2.2). Nach anfänglicher Skepsis (keine Fachzeitschrift wollte etwas darüber berichten und keine forschungsfördernde Einrichtung wollte sich an der Entwicklung einer technischen Lösung beteiligen), gelang es Barthlott in den Siebzigerjahren, ein Patent für die technische Umsetzung einzureichen. Anwendungsgebiete dafür gibt es einige, sie werden auch Thema einer Aufgabe weiter unten sein.

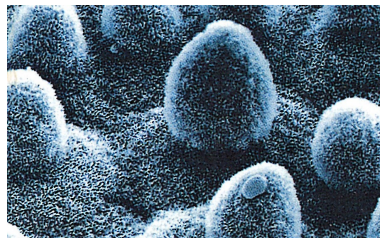


Abbildung 2.2: Oberfläche des Lotus-Blatts

2.2 Der Klettverschluss

Das mechanische Prinzip des »Anklammerns« wird in der Natur auf sehr vielfältige Weise realisiert. Es gibt wohl mehr als tausend bekannte und vermutlich eine weit höhere Zahl unbekannter Konstruktionsprinzipien. Eines davon realisiert die *Grosse Klette* (*arctium lappa*), eine Pflanze, die auch hierzulande heimisch ist.

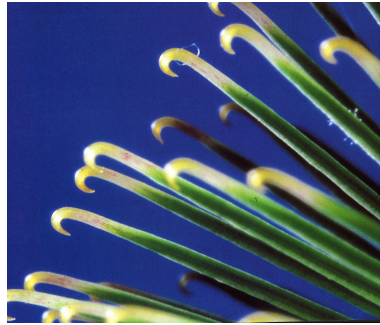


Abbildung 2.3: Grosse Klette

Sie verankert sich mit ihren Widerhaken in »statischer Haftung«. Dieses Prinzip wurde beim Velcro-Klettband übernommen. Nicht alle, aber viele der gekrümmten Haken verfangen sich in einem Wollfilz, wie in Abbildung 2.4 deutlich zu sehen ist, und garantiert dadurch eine stabile Anhaftung.

Der ursprüngliche Klettverschluss wurde übrigens 1948 vom Schweizer Elektroingenieur GEORGES DE MESTRAL erfunden und 1955 patentiert.

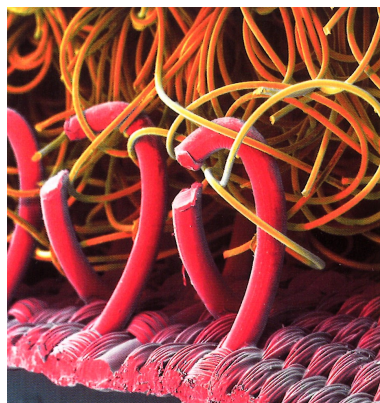


Abbildung 2.4: Klettverschluss

2.3 Miura-Faltung

Faltungen dienen in der Natur nicht nur zur Stabilisierung, sondern auch zur optimal platzsparenden Verpackung. Die Knospe der *Mohnblume* (*papaver rhoeas*, links im Bild 2.5) verbirgt die Blütenblätter bis zur Blüte dicht verpackt in sich.

2 Prominente Beispiele aus dem Bereich der Bionik



Abbildung 2.5: Knospe der Mohnblume

Aufgabe 3. Als (unter verschiedenen Aspekten) optimale Verpackung gilt die Miura-Faltung (nach dem japanischen Physiker KORYO MIURA). Wir wollen eine solche selber versuchen herzustellen, bevor Sie sich überlegen, wo die Kriterien des effizienten Transports und der einfach zu bewerkstelligenden Entfaltung am besten zum Einsatz kommen.

3 Geschichtlicher Ursprung der Bionik

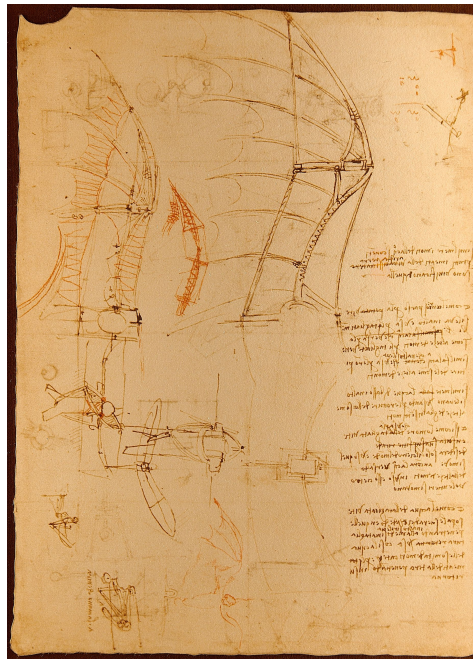


Abbildung 3.1: Ausschnitt aus dem *Codice...* von LEONARDO DA VINCI

Man sagt, dass LEONARDO DA VINCI, ein italienischer Gelehrter, Erfinder und Künstler der Renaissance derjenige war, der als Erster versucht hat, Ideen aus der biologischen Welt in die Technik zu übertragen. Sein Traum war es, eine Maschine zu entwickeln, die fliegen konnte. Um dieses Ziel zu erreichen, studierte er den Flug von Vögeln und hielt seine Erkenntnisse in einem kleinen Buch, dem *Codice sul volo degli uccelli* (Codex über den Vogelflug) fest. Darin ist zum Beispiel festgehalten, wie die Vögel ihre Flügel abwärts und aufwärts schlagen. Beim Abwärtsschlagen verbinden sich die Federn zu einer geschlossenen Fläche. Beim Aufschlag öffnen sich die Federn wieder, um so zu ermöglichen, dass die Luft dazwischen durchstreift. Aus dem Studium des Flugverhaltens der Vögel skizzierte und beschrieb er mögliche Fluggeräte, die dann tatsächlich gebaut wurden. Die Fluggeräte verfügten über ein Schlagflügelsystem aus einem Geflecht aus Weidenruten und Klappen aus Leinen, das mit Öl getränkt war. Die Klappen waren so konstruiert, dass sie sich beim Abwärtsschlagen schlossen, bei Aufwärtsschlagen hingegen geöffnet blieben. Sein glückloser Assistent hatte jeweils die Aufgabe, die Fluggeräte zu erproben. Da Vinci berichtet, dass dieser sich bei den (aus heutiger Sicht zum Scheitern verurteilten) Versuchen mehrere Knochen brach.

Aufgabe 4. Was denken Sie, weshalb da Vincis Fluggerät zum Scheitern verurteilt war?

4 Anwendungsgebiete der Bionik

Bionische Prinzipien können in vielerlei Gebieten angewandt werden. Entsprechend teilt man die Bionik in unterschiedliche Unterdisziplinen auf:

Konstruktionsbionik In der Konstruktionsbionik wird untersucht, wie biologische Systeme konstruiert sind und welche Auswirkungen die Konstruktion hat.

Sensorbionik In der Sensorbionik werden biologische Systeme daraufhin überprüft, wie sie Reize aufnehmen.

Strukturbionik Die Strukturbionik befasst sich mit biologischen Strukturelementen, die auf Entwicklungsmerkmale wie Universalität oder Selbstorganisation untersucht werden.

Bewegungsbionik Die Bewegungsbionik untersucht Mechanismen zum Antrieb, etwa wenn Merkmale des Gangs einer Spinne auf die Bewegung der Beine eines Roboters abgebildet werden.

Neurobionik In der Neurobionik geht es um die Übertragung von Information in biologischen Systemen und der Übertragung der Prinzipien auf computergestützte Systeme. Die Neuroinformatik, die unter dem Schlagwort *künstliche Intelligenz* derzeit weite Beachtung findet, ist ein prominentes Beispiel dafür.

Baubionik Die Baubionik versucht, Prinzipien aus der Natur auf die Architektur zu übertragen. Das Zeltdach des Olympiastadions in München wurde nach Prinzipien gebaut, die man in Spinnennetzen und Seifenblasen wiederfindet.

Gerätebionik Bei dieser Unterdisziplin der Bionik schaut man sich z.B. natürliche Pumpen an um sie in technische Maschinen umzuwandeln.

Verfahrensbionik In der Verfahrensbionik werden Verfahren untersucht, um sie auf technische Systeme zu übertragen. Ein prominenter Untersuchungsgegenstand ist die *Photosynthese*.

Klimabionik Die Klimabionik sucht nach Prinzipien, mit denen ohne grossen Energieaufwand gelüftet, geheizt oder gekühlt werden kann.

Anthropobionik Der Mensch und dessen funktionale Anatomie und Physiologie dient in der Anthropobionik einerseits als Vorbild für technische Systeme (z.B. in der *Robotik*), andererseits befasst sich die Anthropobionik mit der idealen Einbettung technischer Systeme in einem menschlichen Umfeld bzw. des Menschen in einem technischen Umfeld (*Mensch-Maschine-Interaktion*).

4 Anwendungsgebiete der Bionik

Evolutionsbionik In der Evolutionsbionik überträgt man die Prinzipien der Evolution auf technische Systeme. Prominentes Beispiel sind die *evolutionären Algorithmen* in der Informatik, welche die Faktoren *Mutation*, *Selektion* und *Rekombination* verwenden, um nach dem Vorbild der Evolution aus suboptimalen Problemlösungen bessere zu generieren.

Anwendungen der Bionik finden sich in unzähligen Gebieten, aus denen wir exemplarisch die Medizintechnik, das Design, die Architektur, die Informationstechnologie, die Raumfahrttechnik sowie den Schiffs-, Bahn- und Automobilbau hervorheben wollen.

Aufgabe 5. Photovoltaik und Photosynthese werden oft bezüglich ihres Wirkungsgrads verglichen. Bei welchem Prinzip ist der Wirkungsgrad wohl höher? Lesen Sie den kurzen Artikel unter [1]. Müssen Sie Ihr Urteil revidieren? Worauf ist der »Sieg« der Photovoltaik zurückzuführen?

Aufgabe 6. Recherchieren Sie im Internet zu einem Gebäude namens *Eastgate Centre* in Simbabwe. Welches Vorbild in der Natur wurde hergenommen, um die Belüftung des Gebäudes zu realisieren? Welchen Unterdisziplinen der Bionik lässt sich der Bau zuordnen?

5 Vorgehensweisen in der bionischen Forschung

5.1 Analog-Bionik

Bei der *Analog-Bionik* geht man vom Abstrakten zum Konkreten vor: Es liegt ein technisches Problem vor, für das man Analogien in der Natur sucht. Wenn man welche gefunden hat, analysiert man diese im Hinblick auf ihr Potential zur Lösung des technischen Problems. Diejenige Analogie mit dem besten Potential wird dann hergenommen, um das technische Problem zu lösen.

Ein Beispiel für ein derartiges technisches Problem ist die Verringerung der Bodenhaftung von Autoreifen beim Wechseln der Fahrtrichtung. Eine Analogie aus der Natur findet sich in der Pfote der Katze, die so gebaut ist, dass sie sich bei lateralen Kräften, wie sie beim Richtungswechsel wirken, verbreitert. Damit vergrößert sich die Reibungsfläche auf dem Untergrund. Wenn es nun gelingt, die Profile der Autoreifen auch so zu konzipieren, dass sie sich beim Kurvenfahren verbreitern, dann hat man eine bionische Lösung für das Problem gefunden.

5.2 Abstraktions-Bionik

Bei der *Abstraktions-Bionik* geht man gerade umgekehrt, also vom Konkreten zum Abstrakten vor: Man studiert ein biologisches System und dessen Funktion und hofft, ein zu Grunde liegendes Prinzip zu finden. Man abstrahiert das Prinzip, so dass es auf andere als nur dem biologischen Problem anwendbar wird. Dann kann man (technische) Anwendungsgebiete für das Prinzip suchen.

Aufgabe 7. Wir haben weiter oben den Lotus-Effekt beschrieben. Beschreiben an diesem Beispiel die Vorgehensweise der Abstraktions-Bionik: Biologisches System, Funktion, abstraktes Prinzip, mögliche Anwendungsgebiete?

5.3 Prinzipien biologischen Designs

Nachtigall hat das biologische Design auf die folgenden zehn Prinzipien reduzieren können, die auch in der Technik zur Anwendung kommen sollten:

Integrierte statt additive Konstruktion

Optimierung des Ganzen statt Maximierung eines Einzelements

Multifunktionalität statt Monofunktionalität

Feinabstimmung gegenüber der Umwelt

5 Vorgehensweisen in der bionischen Forschung

Energieeinsparung

Direkte und indirekte Nutzung der Sonnenenergie

Zeitliche Limitierung statt unnötige Haltbarkeit

Totale Rezyklierung statt Abfallanhäufung

Vernetzung statt Linearität

Entwicklung im Versuch und Irrtum Prozess

Aufgabe 8. (*fakultativ*) Versuchen Sie in der Gruppe, zu jedem genannten Prinzip eine Erklärung zu geben. Wenn möglich, finden Sie auch illustrative Beispiele.

6 Verwandte Gebiete

Wie wir weiter oben gesehen haben, werden bionische Prinzipien auch in der Informationstechnik umgesetzt (Evolutionärbionik, Neurobionik, Sensorbionik). Mit informatischen Mitteln kann darüber hinaus Verhalten, das wir in der Natur beobachten, *simuliert* werden. So ist es zum Beispiel möglich, das Schwarmverhalten von Ameisen oder Vögeln nachzubilden, indem jedem Individuum (in unserem Beispiel also jedem Vogel oder jeder Ameise) des Schwarms gleiche, sehr einfache Verhaltensregeln vorgegeben werden. Man untersucht anschliessend die Auswirkung des Verhaltens der Individuen auf den gesamten Schwarm. Oft kann trotz der Einfachheit der Verhaltensregeln des »dummen« Individuums ein komplexeres, »intelligentes« Verhalten des gesamten Schwarms beobachtet werden. Man spricht in diesem Zusammenhang von *emergentem Verhalten* oder von *kollektiver Intelligenz*.

Ameisen bilden z.B. Pfade, indem sie den Weg von einer Futterquelle zum Nest mit Pheromonen markieren. Je mehr Ameisen eine solche Spur nutzen, umso attraktiver wird diese. So kann ein Ameisenvolk (der Schwarm in diesem Beispiel) die kürzesten und effizientesten Pfade zwischen ihrem Nest und den Nahrungsquellen finden. Es scheint fast so, als sei der Schwarm selber ein intelligenter Organismus. Wir werden zu einem späteren Zeitpunkt wieder auf dieses Beispiel zurückkommen.

Ein weiteres Beispiel, auf das wir später eingehen werden, ist in unseren Köpfen und erlaubt uns intellektuelle wie auch künstlerische Höchstleistungen. Jede Nervenzelle in unserem Gehirn kann als »Individuum« betrachtet werden, das nach einfachen Regeln Informationen übernimmt und weitergibt. Erst das Zusammenspiel einer grossen Menge dieser Nervenzellen erlaubt es uns, Sinneseindrücke aus der Umwelt zu verarbeiten und intelligent zu handeln. Die Neuroinformatik hat sich dieses Prinzip zunutze gemacht, um Algorithmen zu entwickeln, die lernfähig sind und die das Lösen komplexer Aufgaben wie das Erkennen von Sprache oder Bildern ermöglichen. Auch darauf wollen wir zu einem späteren Zeitpunkt zurückkommen.

Literaturverzeichnis

- [1] Photovoltaik schlägt photosynthese: <https://www.scinexx.de/news/biowissen/photovoltaik-schlaegt-photosynthese>, 2011.
- [2] Wikipedia: Bionik: <https://de.wikipedia.org/wiki/bionik>, 2019.
- [3] Prof. Dr. Werner Nachtigall and Kurt G. Blüchel. *Das grosse Buch der Bionik - Neue Technologien nach dem Vorbild der Natur*. 2000.