

Thema 1: Gestaltungsprozesse in der Natur

1. Lies den Text LBS21- 25 aufmerksam durch, um dir einen Ersteindruck zur Thematik zu verschaffen!
2. Fertige einen Fachtext zu den Gestaltungsprozessen in der Natur an, worin die wesentlichen Inhalte zusammengefasst und präzise dargestellt sind! Nutze dazu die grünen Textfelder!
3. Untermauere deinen Fachtext mit den Tabellen LBS21 (unten), LBS23 (Mitte) sowie einigen dargestellten Beispielen!

Thema 2: Problemlösen nach Naturvorbildern

1. Lies den Text LBS26 - 32!
2. Was bedeutet von der Natur lernen?
3. Erkläre, wie es zur Modellbildung kommt!
4. Übernimm LBS27 „Von der Entdeckung zur Erfindung!“
5. Stelle den Unterschied zwischen Erklärungsmodell und Konstruktionsmodell dar!
6. Übernimm die Handlungskette zum bionischen Denk- und Handlungsprozess (LBS31) und dazu die Schrittfolge zur Gewinnung technischer Lösungen (LBS32)!

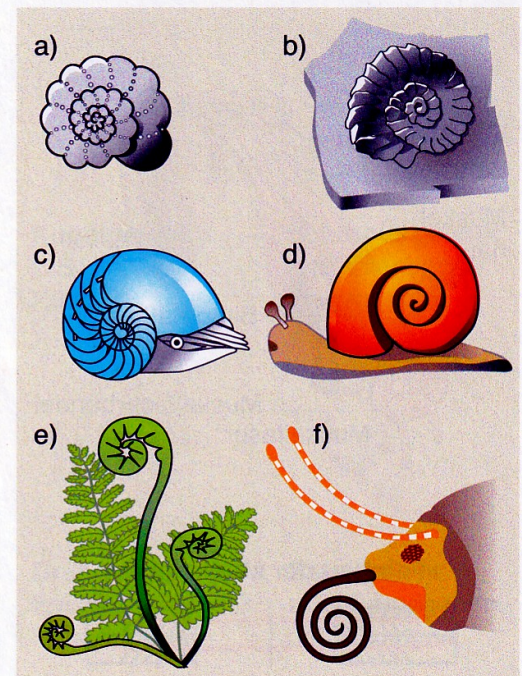
Quelle: HILL et. al. (2019¹): Bionik – Lernen von der Natur. Berlin:Duden.

2.1 Gestaltungsprozesse in der Natur

Nur wenn wir erklären können, wie etwas bei Lebewesen funktioniert, kann es im bionischen Entwurf mit den Möglichkeiten der Technik umgesetzt werden. Lebewesen haben immer eine mehr oder weniger bestimmte Form, die mit ihrer Lebensweise unter den jeweiligen Umweltbedingungen zusammenhängt. Leben ohne geformte Strukturen, die alle Grundfunktionen (d. h. die Merkmale des Lebens) wie Stoffwechsel, Energiewandlung und Verarbeitung von Informationen ausführen können, ist nicht existent. Vergleicht man den Körperbau verschiedener Lebewesen in Verbindung mit ihrem jeweiligen Lebensraum, ihrer Lebensweise und der Art ihrer Fortbewegung, stellt man Zusammenhänge fest, die als **Angepasstheit** bezeichnet werden (Abb. 1).

Der Zusammenhang zwischen Form und damit erfüllbaren Funktionen bietet ein Ordnungsprinzip für die Vielfalt von Gestaltmöglichkeiten in Natur und Technik.

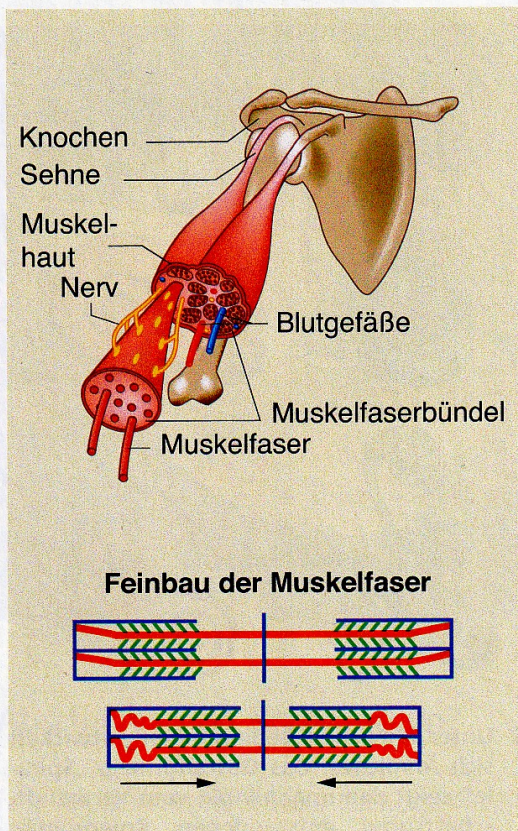
Die **Gestalt** umfasst sowohl die äußere **Form** als auch den inneren Aufbau, die **Struktur** eines Lebewesens (s. S. 35). Sie lässt sich mit Begriffen der Geometrie recht genau beschreiben, soweit eine Hartstruktur den Körper stützt. Bei vielen Pflanzen ist das die Holzsubstanz, bei Gliedertieren der Chitinpanzer, bei Wirbeltieren das knöcherne Skelett im Innern. Die jeweilige Gestalt gilt als besonders günstig (optimal) zum Ausnutzen von Wirkungen, die auf einer bestimmten Geometrie beruhen, und kann zum Vorbild für technische Entwicklungen werden. Um Funktionen aus der Natur in der Technik nachzuvollziehen, muss der Zusammenhang zwischen Aufbau und Wirkungsweise verstanden sein.



1 Unter ähnlichen Bedingungen entwickelt sich Ähnliches. Das Gestaltprinzip „Spirale“ zeigt den unabhängig vom Verwandtschaftsgrad entstandenen Kompromiss zwischen Zuwachs an Körpergröße und Stabilität bei Einzellern (a – Kammertierchen) und Weichtieren (b – fossiler Ammonit, c – Nautilus, d – Schale einer Schnecke) bzw. einer funktionswichtigen Länge eines Organs und dessen Platzbedarf (e – Farnwedel; f – Schmetterlingsrüssel).

Lebewesen	Technische Geräte
– dienen keinem bestimmten Zweck; ihre Aufgabe ist es, ihr Leben als Individuum zu erhalten und sich fortzupflanzen.	– werden zu einem bestimmten Zweck hergestellt.
– bestehen nicht aus vorgefertigten Teilen; Organe bilden sich aus gemeinsamem Material des Keimlings, einzelne Teile lassen sich nicht leicht abgrenzen, Teile erfüllen immer mehrere Funktionen.	– werden aus vorgefertigten Teilen zusammengesetzt, jedes Teil erfüllt eine bestimmte Funktion.
– reagieren aufbauend auf durch Funktionserfüllung entstandene Beanspruchung, d. h., hoch belastete Stellen werden durch gesteuerte Anlagerung von Körpersubstanz verstärkt.	– haben bei ihrer Nutzung Verschleiß zur Folge, Beanspruchung führt zu Abbau von Material.
– verfügen über dynamischen Körperaufbau, d. h., auch nach Aufbau erfolgen Umwandlungen; Selbstreparatur (Heilung) ist möglich.	– lassen Selbstreparaturmechanismen bisher nur in Einzelfällen zu.
– zeigen individuelle Vielfalt; Messgrößen, die ihre Form erfassen sollen, sind variabel und ändern sich mit der Zeit.	– lassen sich mit großer Präzision herstellen.

2 Lebewesen lassen sich nicht einfach nachbauen, da es grundsätzliche Unterschiede zwischen ihnen und technischen Geräten gibt.



- 1 Stufenbau vom Organ bis zur kleinsten Funktionseinheit – Beispiel Muskulatur:
Die Skelettmuskeln zeigen unter dem Mikroskop einen Aufbau aus Muskelfaserbündeln, die aus einzelnen Muskelzellen, den Muskelfasern, bestehen. Darin sind bei noch stärkerer Vergrößerung aufeinanderfolgende regelmäßige Abschnitte von einigen Mikrometern Länge zu erkennen. In diesen finden sich Makromoleküle so angeordnet, dass sie sich ineinanderschieben, wodurch sich der gesamte Muskel zusammenzieht.

Untersucht man Organismen bei abgestufter Vergrößerung, zeigt sich, dass ihr Körper aus Bestandteilen unterschiedlicher Größenordnung besteht (Abb. 1). Er lässt sich in die Organe und deren Gewebe, in die verschiedenen Zellen und die darin enthaltenen Organellen bis hin zu den Makromolekülen aufgliedern. Alle Ebenen tragen die Merkmale des Lebens, jedoch vollziehen sich die Vorgänge nach den in der jeweiligen Größenordnung herrschenden Gesetzen.

Gestalt als Ergebnis von Funktion und Beanspruchung

Die Grundsubstanz Eiweiß hat je nachdem, an welcher Stelle sie eingebaut ist, sehr unterschiedliche Eigenschaften. Sie wird durch den Stoffwechsel gebildet und dort angelagert, wo Bedarf besteht („molekulare Montage“). Ein vielfach geregeltes **Gleichgewicht** zwischen stellenweise eingebauter und wieder abgegebener Substanz ist Ursache der Formentstehung. Dadurch wird das Wachstum an den entsprechenden Stellen verstärkt, und auch nach dessen Abschluss erfolgt ein ständiger Umbau. Der Körper von Lebewesen hat einen sich ständig verändernden (dynamischen) Aufbau. Das trifft auch für jene Formen zu, die man auf technische Bauteile bei ähnlicher Funktionsaufgabe übertragen will.

Die äußere Form nimmt bei **Beanspruchung** entstandene mechanische Einwirkungen von außen (z. B. Gravitation, Bodenreibung, Strömungswiderstand) auf und leitet sie an innere Strukturen weiter. Es ist schon eine Leistung des Organismus, wenn er einwirkenden Kräften widersteht und sich dabei aufrecht hält. Aufgezwungene Verformungen werden im Innern durch Muskelkräfte, mit Flüssigkeitspolstern oder festen Skelettstützen ausgeglichen. Um sich darüber hinaus in einer Umgebung zu bewegen, ändert ein Organismus durch die in seinem Innern wirkenden Kräfte die Stellung seiner Gliedmaßen oder sogar seinen gesamten Umriss (Kon-
tur). Diese Antriebskraft wird auf das betreffende Medium (Luft, Wasser, Boden) übertragen. So entsprechen die Stromlinienform der Fische, die Profile von Flügeln und der Bau des Herzens den Gesetzen der Strömungsmechanik.

In der Natur wird stets ein **Aufwand-Nutzen-Kompromiss** angestrebt: Material wird nur dort eingesetzt, wo es gebraucht wird.

Das Besondere des lebenden Körpers besteht in den vielfachen Möglichkeiten, seine mechanisch wirksame Form aktiv und schnell auf feine Veränderungen einzustellen. Am schnellsten wirkt dabei eine Zugkraft der in unterschiedlicher Richtung laufenden Muskelfasern. Längerfristig kann der innere Bau durch die stellenweise Substanzanlagerung selbst

verändert werden, was sich z. B. in den Wachstumsbewegungen des Pflanzenkörpers zeigt. Die durch die äußere Belastung im Körper entstandenen Reaktionskräfte lösen diese Umbauprozesse aus. Dadurch können diese wirksamer aufgenommen bzw. ausgeleitet werden.

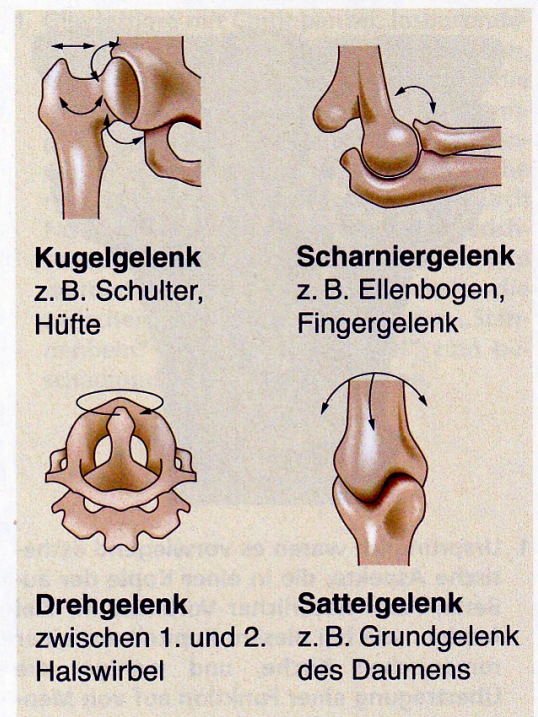
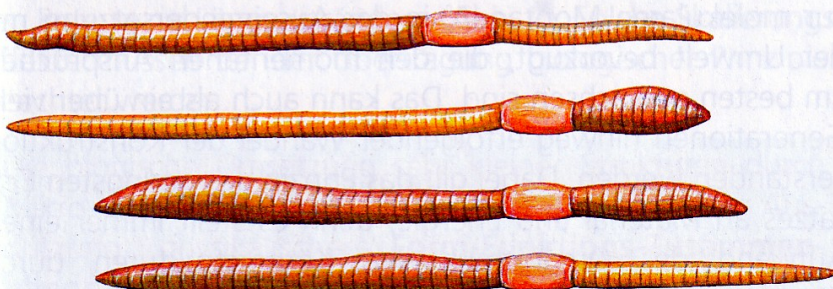
Lebewesen können als **optimierte mechanische Konstruktionen** im Rahmen ihrer jeweiligen Lebensleistungen betrachtet werden.

Die Form eines Lebewesens erfüllt also mechanische Funktionen, die wiederum über Kräfte auf sie zurückwirken. Dabei können die Körper in unterschiedlichem Grad geometrisch klare Verhältnisse aufweisen (Abb. 2). Gut sichtbar wird dies auch an Körperbestandteilen der Wirbeltiere, die eine überwiegend mechanische Funktion erfüllen, wie an den Gelenken des menschlichen Skeletts (Abb. 1).

Einfache biologische Konstruktionselemente	Biologische Konstruktionselemente mit räumlich komplexer Gestalt
– gefaltete Membranen – gewölbte Platten, Bögen und Kuppeln – verzweigte und gewundene Röhren – Tragwerke, Biegebalken – Spannseile – Polsterkissen	– 6-Eck-Packung (Bienenwaben-Hexagon) – Reihen- und Parallelschaltung von Zellen – radiäre, spiralige oder zweiseitige (<i>bilaterale</i>) Symmetrie des Körpers

2 Festigungselemente von Pflanzen und Tieren lassen sich oft geometrisch gut beschreiben und funktionell erklären.

Lebewesen sind in ihrem Körperbau meistens nicht von der hohen Genauigkeit, wie sie als Präzision bei technischen Bauteilen eine Voraussetzung ist. Die Messgrößen, die ihre Form erfassen sollen, sind individuell variabel und ändern sich zeitlich in Abhängigkeit vom Zustand, von der Belastungssituation oder vom Alter. Keimlinge, Larven und junge Individuen sind selten das verkleinerte Abbild der Erwachsenen. Viele Lebewesen, wie die Ringelwürmer, haben sogar nur eine mit Körperflüssigkeit gefüllte Leibeshöhle ohne feste Stützung, die sehr verformbar ist (Abb. 3).



1 Die unterschiedlichen Gelenkformen des menschlichen Körpers ermöglichen unterschiedlichen Formen von Bewegungen.

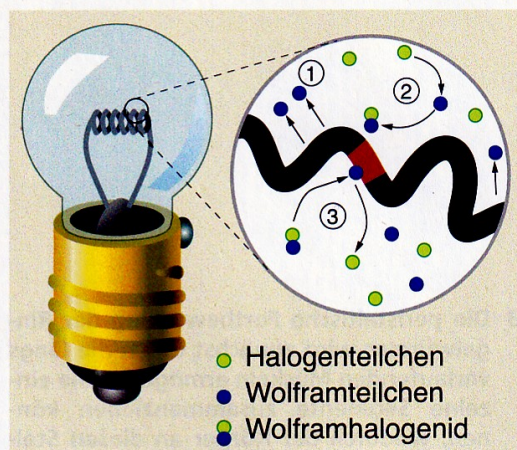
3 Die peristaltische Fortbewegung der Ringelwürmer wird zunächst durch die längs verlaufenden Muskeln ermöglicht, die einzelne Segmente zusammenziehen können, wodurch der Körper an diesen Stellen verdickt wird. Damit klemmt sich der Wurm in der Bodenröhre fest. Die ringförmig angeordneten Fasern des Hautmuskelschlauchs bewirken dagegen ein Verengen des Querschnitts und über den entstehenden Druck der Körperflüssigkeit ein Vorstrecken der betreffenden Abschnitte. Die Anspannung ihres Hautmuskelschlauchs bestimmt hier die wirksame Form.



- 1 Ursprünglich waren es vorwiegend ästhetische Aspekte, die in einer Kopie der äußeren Form natürlicher Vorbilder ihr Ziel fanden, wie bei diesem Kapitell aus einer romanischen Kirche, und weniger die Übertragung einer Funktion auf von Menschenhand geschaffene Objekte.

Natur	Technik
Muskel	Motor
Skelett	Getriebe
Sinnesorgane	Messfühler

- 2 Die vergleichende Betrachtung von natürlichen und technischen Strukturen ist durch den Austausch zwischen Biologen, Chemikern, Physikern und Ingenieuren möglich.



- 3 Prinzipmodell der Selbstheilung bei einer Glühlampe mit langer Leuchtdauer:
- 1 Wolframatom werden von glühender Wendel emittiert
 - 2 Halogenmoleküle verbinden sich mit den Metallatomen
 - 3 An der dünnsten und somit heißesten Stelle zerfallen diese und die Wolframatom werden wieder eingebaut.

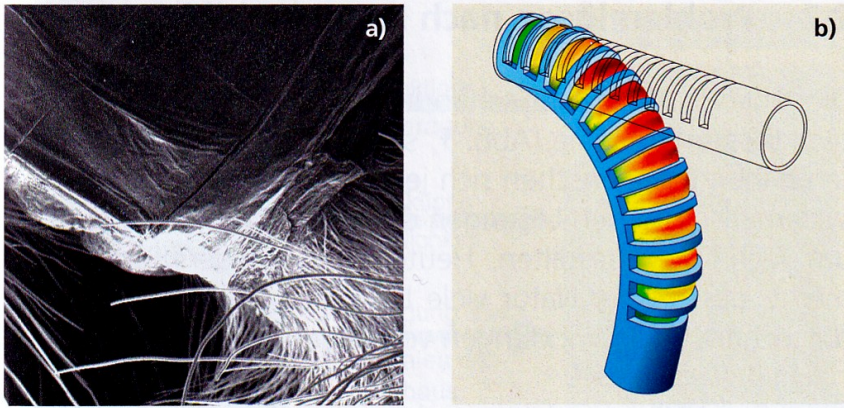
Die Gestalt von Pflanzen und Tieren hat zu allen Zeiten Bildhauern und Architekten Anregungen gegeben (Abb. 1). Nachdem in der Renaissance die technische Mechanik auch die Gestalt von Lebewesen als Vorbild erkannte, wurde die Erklärung des Zusammenhangs zwischen Struktur und Funktion beachtet. Später wurde auch der Feinbau im Innern der Organismen mit technischen Begriffen beschrieben.

Zwar weisen viele Lebewesen Hartstrukturen von überraschend klarer Symmetrie auf, doch wenn die Wirkung einer Form an verschiedenen Stellen des Körpers unterschiedlich sein muss, besteht eine Asymmetrie der Körperseiten. Bei einer Vermessung der meist nachgiebigen und kaum scharf abgrenzbaren Körperteile, bei der Ermittlung ihrer physiologischen Leistung und ihrer Materialeigenschaften zeigt sich die Vielfalt der Lebewesen. Die von vielen Einzelfällen genommenen Messwerte müssen also idealisiert werden, um das zugrunde liegende Prinzip zu erkennen.

Ähnlichkeiten zwischen natürlichen Strukturen und technischen Konstruktionen sind nicht zufällig – sie beruhen auf dem engen **Zusammenhang zwischen Struktur und Funktion**.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen biologischer und technischer Konstruktion ist die aufbauende Reaktion auf die durch die Funktionserfüllung entstandene Beanspruchung. Die Nutzung von Geräten oder Maschinen hat dagegen generell ihren Verschleiß zur Folge. Hoch belastete Stellen im Körper werden durch gesteuerte Anlagerung von Körpersubstanz verstärkt, im Knochengewebe sogar wenig belastete Bereiche abgebaut. In den statischen Strukturen der Technik ist das bisher nur ansatzweise realisiert (Abb. 3). Eine Selbstreparatur, der eigene Umbau während des Betriebs oder gar eine selbstständige Montage werden jedoch möglich sein, wenn entsprechende Wirkelemente im Werkstoff eingebettet sind, die auf Belastungsreize mit einer Materialumwandlung reagieren können. Neue Herstellungsverfahren wie die Nanotechnologie führen schon in nächster Zukunft zu komplexeren Systemen, die dazu fähig sein werden.

Im großen Zeitrahmen der biologischen Evolution werden wiederum jene Varianten des Genoms, d. h. der „Anleitung zur molekularen Montage“, in der Auseinandersetzung mit der Umwelt bevorzugt, die den momentanen Ansprüchen am besten gewachsen sind. Das kann auch als ein über viele Generationen hinweg erfolgreicher Wandel der Konstruktion verstanden werden. Dabei gilt das Prinzip des geringsten Einsatzes an Material und Energie, denn es stellt immer einen Aufwand des Organismus dar, Körperstrukturen durch Wachstum herauszubilden und diese in Bewegung zu setzen.

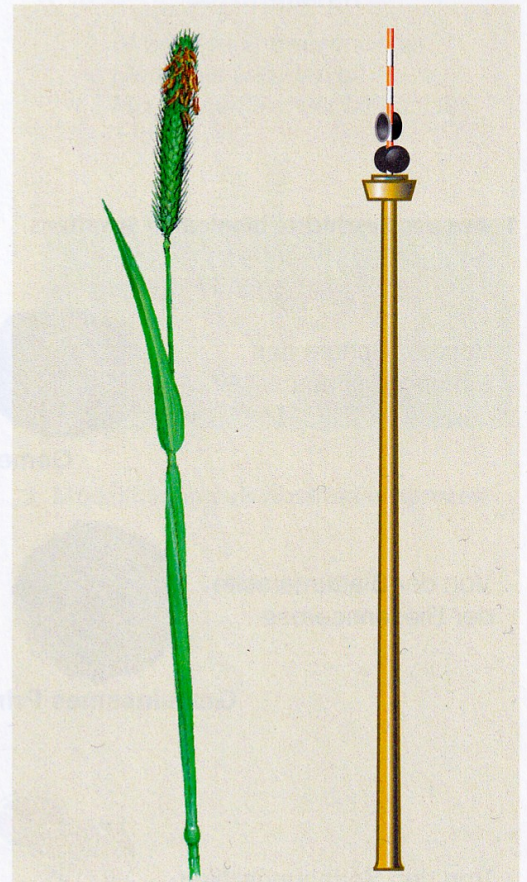


- 1 Gliedertiere mit Chitinpanzer, insbesondere Spinnen, können ihre Beine strecken, indem sie ihre Körperflüssigkeit in die nachgiebigeren Gelenkräume (a) pumpen. Dieses Hydraulikprinzip gab die Anregung, einseitig geschlossene Schläuche mit spezieller Wandverstärkung durch Fasereinlagen mittels Innendruck gerichtet zu verformen. Nach diesem Prinzip wurden Roboter-Finger entwickelt, die zwischen den Größenordnungen „Spinnenbein“ und „Elefantenrüssel“ zum beschädigungslosen Greifen dienen.

Die „Werkstoffe“, aus denen ein Baumstamm, ein Insektenpanzer oder die Knochen bestehen, sind mit den in der Technik verwendeten nur bedingt vergleichbar. Sie sind sehr uneinheitlich zusammengesetzte Stoffgemische. Anfangs sind sie viel nachgiebiger und nur durch Einlagerung von Hartsubstanzen und Fasern können sie höheren mechanischen Ansprüchen genügen. Diese bilden zusammen einen Verbundwerkstoff, wie man ihn bei Stahlbeton kennt, der sowohl Zug- als auch Druckkräfte aufnehmen kann. Wenn die eingelagerten Fasern in einer bestimmten Richtung orientiert liegen, führt das dazu, dass das biologische Material in den verschiedenen Raumrichtungen unterschiedliche physikalische Eigenschaften erhält. Durch eine ortsabhängig unterschiedliche stoffliche Verfestigung entstehen Stellen höherer Nachgiebigkeit, die zur Beweglichkeit beitragen. Somit ist auch der innere Aufbau auf der **makromolekularen Ebene** zu untersuchen, da viele technisch interessante Funktionen erst durch die Übernahme von deren Prinzipien möglich werden. So können bei einem Schlauchmodell (Abb. 1) mit unterschiedlichen Wandstärken im Mantel unter Druckluftfüllung zielgerichtete Verformungen erzeugt werden. Diese führen zu einer Verbiegung oder entsprechen der periodischen Durchmesseränderung und Streckung der Peristaltik.

Da die betrachteten Strukturen in ganz unterschiedlichen **Größenordnungen** vorliegen, kann es sein, dass ihr Nachbau in einer für die Technik sinnvollen Größe nicht die gleiche Funktion zeigt. Viele physikalische Effekte wirken sich im Mikrometermaßstab anders aus als in der gewohnten Dimension. Das hängt damit zusammen, dass Längenmaße mit der Flächengröße in einem quadratischen Verhältnis stehen, volumen- und massenabhängige Werte sich jedoch in der dritten Potenz zur Länge verändern (Abb. 2). Solche Skalierungseffekte müssen bei der Übertragung biologischer Prinzipien beachtet werden.

Die bionische Umsetzung sehr kleiner Strukturen durch Mikro- und Nanotechnik eröffnet neue Bereiche der Ausnutzung physikalischer **Form-Funktions-Zusammenhänge**.



- 2 Der Schlankheitsgrad: Ein 100 m hoher Turm mit den Größenverhältnissen eines Grashalms dürfte an seiner Basis nur etwa 3 m breit sein.

2.2 Problemlösen nach Naturvorbildern

Die lebende Natur war schon immer Vorbild für die Lösung technischer Probleme (Abb. 1, s. auch S. 8). In früheren Zeiten haben die Menschen sich jedoch kaum zielgerichtet und systematisch an den Lösungen der lebenden Natur orientiert, um Technik zu gestalten. Heute ist das anders, denn man merkt, dass in der Natur viele Lösungen „bereitliegen“, die für technische Entwicklungen von Bedeutung sein könnten.

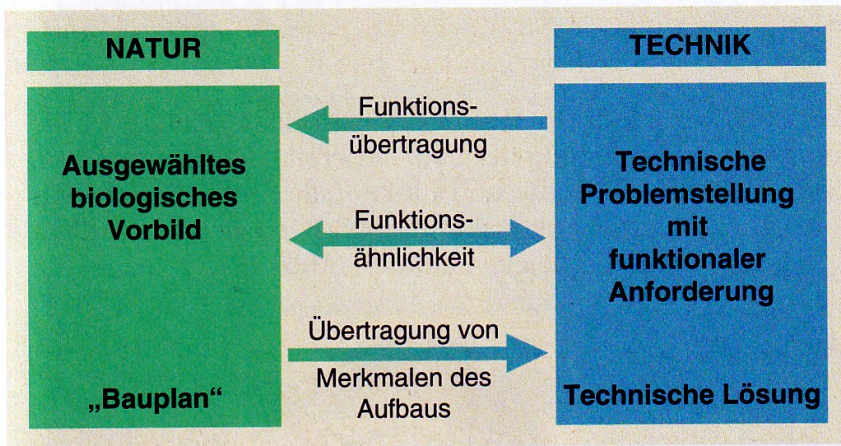
Über drei Milliarden Jahre evolutionärer Naturprozesse bringen eine Fülle biologischer Strukturen hervor, die sich als Gestaltungsanregungen für die Technik anbieten. Doch die Natur liefert uns keine fertigen Erkenntnisse und Lösungen. Aus diesem Grund sollte man klug fragen, um zu sinnvollen Antworten zu gelangen. Die dabei zu formulierenden Fragen sollten sich auf spezielle Baukonstruktionen, auf die zahlreichen Details individueller „Konstruktionspläne“, auf Lebensfunktionen in der Auseinandersetzung mit wirkenden Umweltbedingungen u. Ä. richten.

Wer **von der Natur lernen** möchte, sollte genau und aufmerksam beobachten, beschreiben, Vergleiche ziehen und beharrlich experimentieren.

Die Untersuchung der Lebensfunktionen von Pflanzen und Tieren im Zusammenhang mit deren Aufbau bildet also die Voraussetzung für die Lösung eines Problems. So kann man die lebende Natur als Lösungsquelle befragen und Antworten finden, wie ähnliche Probleme durch das Wirken der Evolutionsmechanismen gelöst wurden (S. 27, Abb. 1).

1 Aus der Geschichte bionischen Schaffens

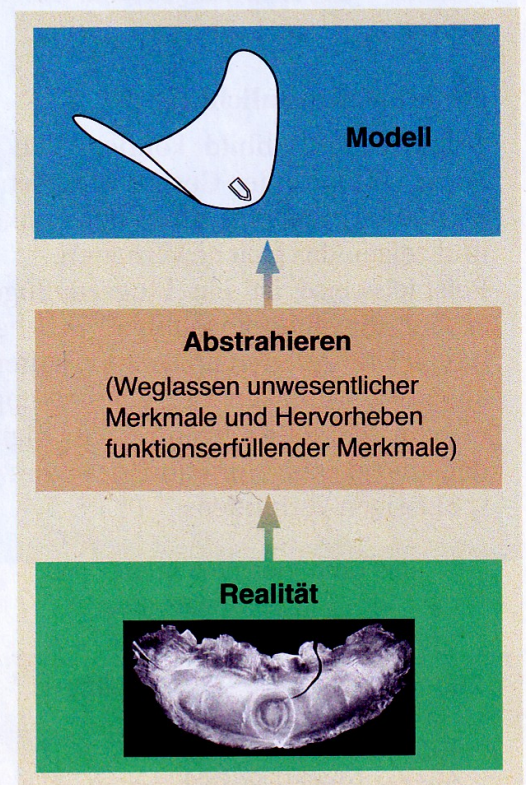




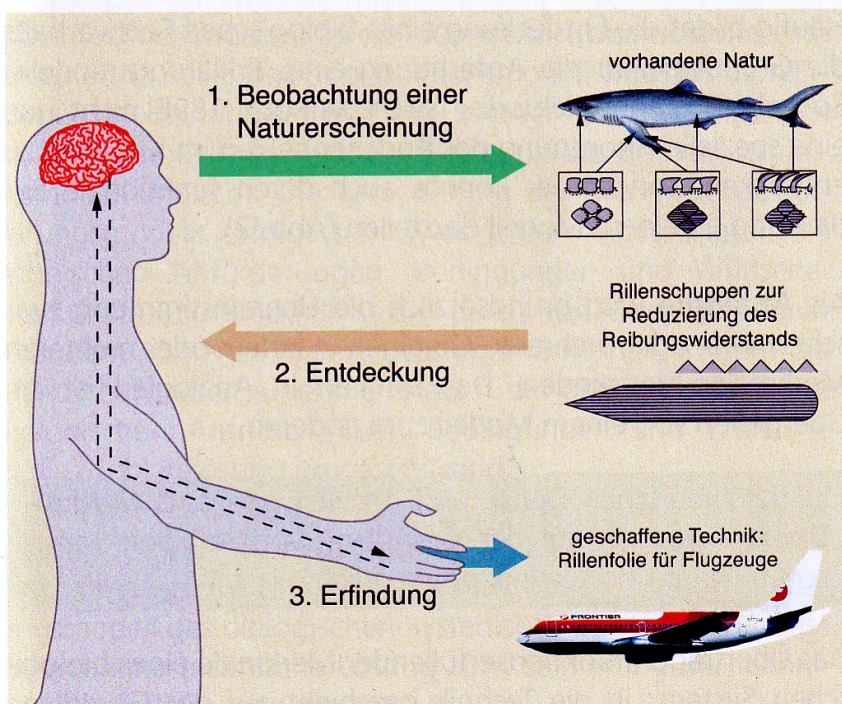
Bionische Denkweisen setzen dort an, wo mit Blick auf die Problemlösungen der lebenden Natur Anregungen zum Untersuchen und Vergleichen sowie zum Übertragen auf ähnliche technische Probleme aufgenommen werden (Abb. 1). So gewinnt der Mensch über eine Erscheinung der lebenden Natur ein Erkenntnis, die zu einer Entdeckung führt, und setzt dieses Erkenntnis zielstrebig in eine Erfindung um (Abb. 3).

Um Erscheinungen und Eigenschaften des biologischen Vorbilds aufzuklären, werden **Modelle** angefertigt. Modelle sind Abbilder von wirklichen Objekten und Prozessen. Daher stellen sie nur Annäherungen an die Wirklichkeit dar, sind aber nicht mit dieser identisch. Ein Modell stellt stets eine Vereinfachung und Abstraktion dar, wobei nicht alle Eigenschaften des Originals auf das Modell übertragen werden (Abb. 2). Die Abstraktion bedeutet, dass ganz bestimmte Merkmale, die für das Erkenntnisziel von Bedeutung sind, hervorgehoben und solche, die nicht damit im Zusammenhang stehen, weggelassen werden. Die **Modellbildung** ist auf das Engste mit Analogieübertragungen verbunden.

1 Natur als Lösungsquelle für die Technik: Für das technische Problem „Lagern von Bauteilen“ können beispielsweise Lösungen gefunden werden, wenn untersucht wird, wie Ameisen Dinge „speichern“. Die Untersuchung der Greiffunktion von Krebsscheren und Vogelkrallen bildet zum Beispiel die Voraussetzung für die Entwicklung von Roboterarmen.



2 Modellbildung als Abstraktionsprozess



3 Von der Entdeckung zur Erfindung

Analogie und Ähnlichkeit

Analogie bedeutet Ähnlichkeit oder Gleichheit (griech. *analogia*). Zwei Erscheinungen verhalten sich analog, also ähnlich oder entsprechend, sie bilden also eine Analogie.

Für die Modellbildung ist die Aufdeckung von Analogien zwischen Original und Abbild wesentlich. Grundsätzlich werden zwei Ähnlichkeitsbeziehungen unterschieden:

Bildhafte Ähnlichkeit

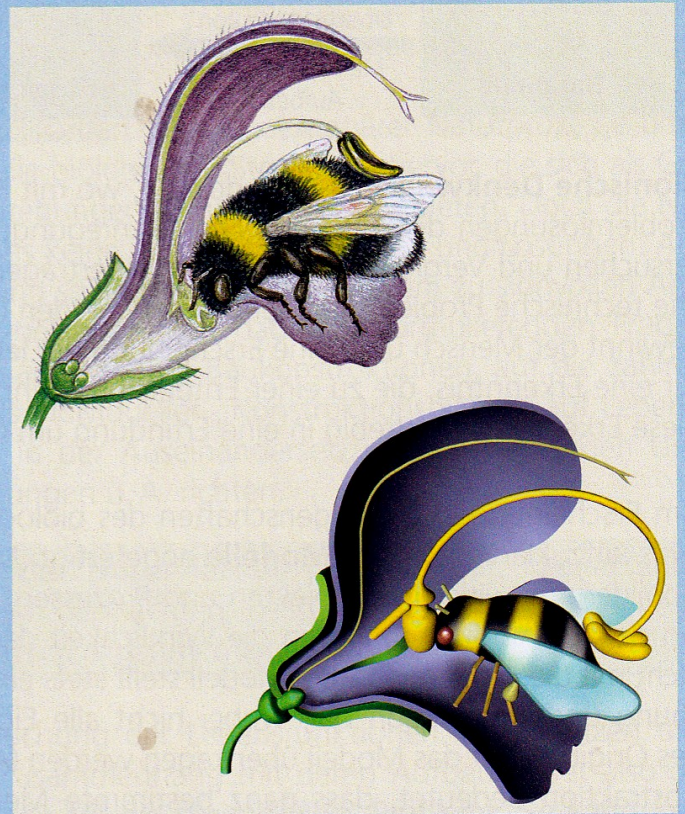
Original und Abbild haben gleiche Form, Aufbau oder Gestalt. Daher ist beispielsweise eine Bauzeichnung ein Modell für ein Haus, der Globus ein Modell für den Erdball und eine maßstäblich verkleinerte Brücke ein Modell für eine wirkliche Brücke.

Funktionale Ähnlichkeit

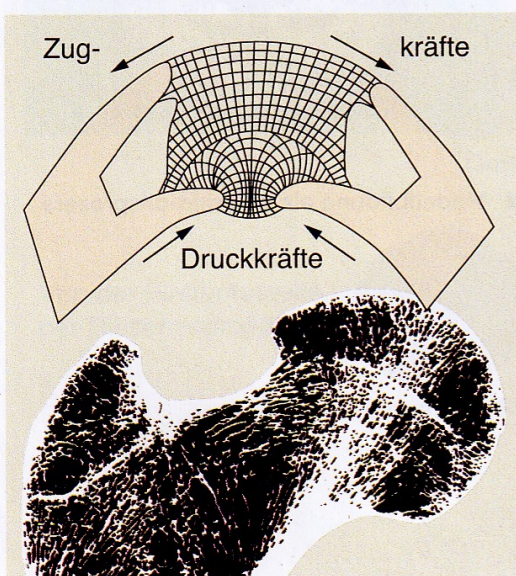
Original und Abbild können sich hinsichtlich Form, Aufbau oder Gestalt unterscheiden, stimmen aber in jedem Fall in der Funktion überein und zeigen das gleiche Verhalten.

Beispielsweise ist ein Flugzeugflügel auch ein Modell für einen Vogelflügel, weil beide Objekte das gleiche aerodynamische Verhalten zeigen. Bei analogen Modellen der Genitalkopplungssysteme von Schmetterlingen zeigen Original und Modell die gleiche Funktion des kraft- und form-schlüssigen Verbindens.

Eine dritte Art der Ähnlichkeitsbeziehung ist die Verbindung der beiden bereits genannten Arten. Als bildhafte und funktionale Ähnlichkeit haben hierbei Original und Abbild den gleichen Aufbau und die gleiche Funktion (Abb. 1).



1 Aufbau und Funktion der Kraftübertragung durch das Hebelprinzip sind bei Blüte und Modell gleich.



2 Roux' Modell der zugfesten und der druckfesten Bereiche im Knochen lässt sich mit einem zwischen den Händen aufgespannten Netz vergleichen.

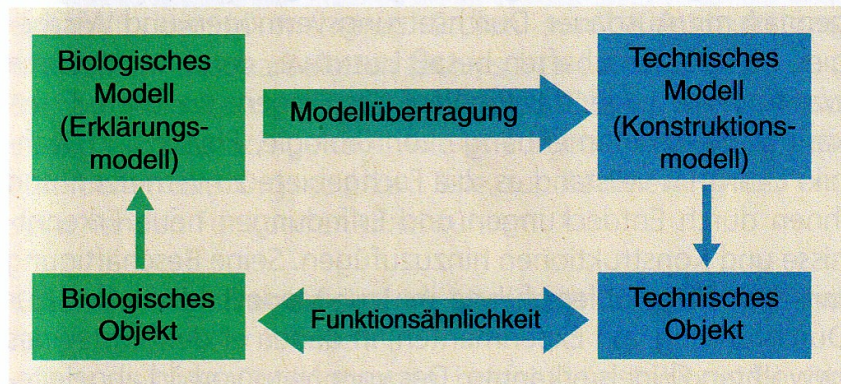
Häufig bildet die Entdeckung eines biologischen Sachverhalts die Grundlage für die Anfertigung eines Erklärungsmodells. So gelang es beispielsweise WILHELM ROUX 1895 nicht nur, eine spezielle Anordnung der Knochenbalken im Knochen zu entdecken, sondern er konnte auch deren funktionale Bedeutung an einem Modell darstellen (Abb. 2).

Als **Analogie** wird grundsätzlich die Übereinstimmung zwischen zwei oder mehreren Objekten in einem oder mehreren Merkmalen verstanden. Das Denken in Analogien ist ein Übergehen von einem Modell zum anderen.

In der bionischen Denk- und Arbeitsweise sind **Modellübertragungen** auf der Grundlage von Analogien zwischen Natur und Technik notwendig.

Das Übertragen funktionserfüllender Merkmale eines biologischen Systems in die Technik geschieht auf der Grundlage

der Analogiebildung. Ausgehend von einer technisch zu realisierenden Funktion werden biologische Systeme mit ähnlichen Funktionen ermittelt. Danach werden Funktionsmerkmale verglichen und die Möglichkeiten einer Übertragung auf das gedanklich vorweggenommene technische System überprüft (Abb. 1).



1 Analogiebildung setzt die Modellierung biologischer Systeme mit dem Ziel der Übertragung auf technische Sachverhalte bzw. Konstruktionen voraus.

Erklärungs- und Konstruktionsmodell

Das biologische Modell wird als **Erklärungsmodell** bezeichnet und beinhaltet eine problemlösungsbedeutsame Erkenntnis über die biologische Struktur. Diese Erkenntnis wird durch Abstrahieren (Verallgemeinern) gewonnen und stellt das Prinzip dar. Beim Abstrahieren werden unwesentliche Merkmale weggelassen und funktionserfüllende Merkmale, die für die Problemlösung bedeutsam sind, hervorgehoben. Das Prinzip ist eine vereinfachte Darstellung mit symbolischen Elementen und bildet daher das Erklärungsmodell. Dieses Modell bildet den Ausgangspunkt und zugleich die Ausgangslösung für eine Übertragung in die Technik.

In der Technik dagegen spielen **Konstruktionsmodelle** eine bedeutende Rolle. Das Konstruktionsmodell wird aus dem Erklärungsmodell abgeleitet. Dabei werden die Merkmale des Erklärungsmodells so verändert, dass daraus das Konstruktionsmodell entsteht. Die Veränderung der Merkmale des Erklärungsmodells erfolgt zum Zwecke der Anpassung an die technischen Anforderungen, Bedingungen und Wünsche. Das Konstruktionsmodell ist das durch Variation, also durch Verändern von Merkmalen, geschaffene Modell, in dem die technischen, aber zunehmend auch die ökonomischen und ökologischen Anforderungen, Bedingungen und Wünsche an die Problemlösung umgesetzt sind.

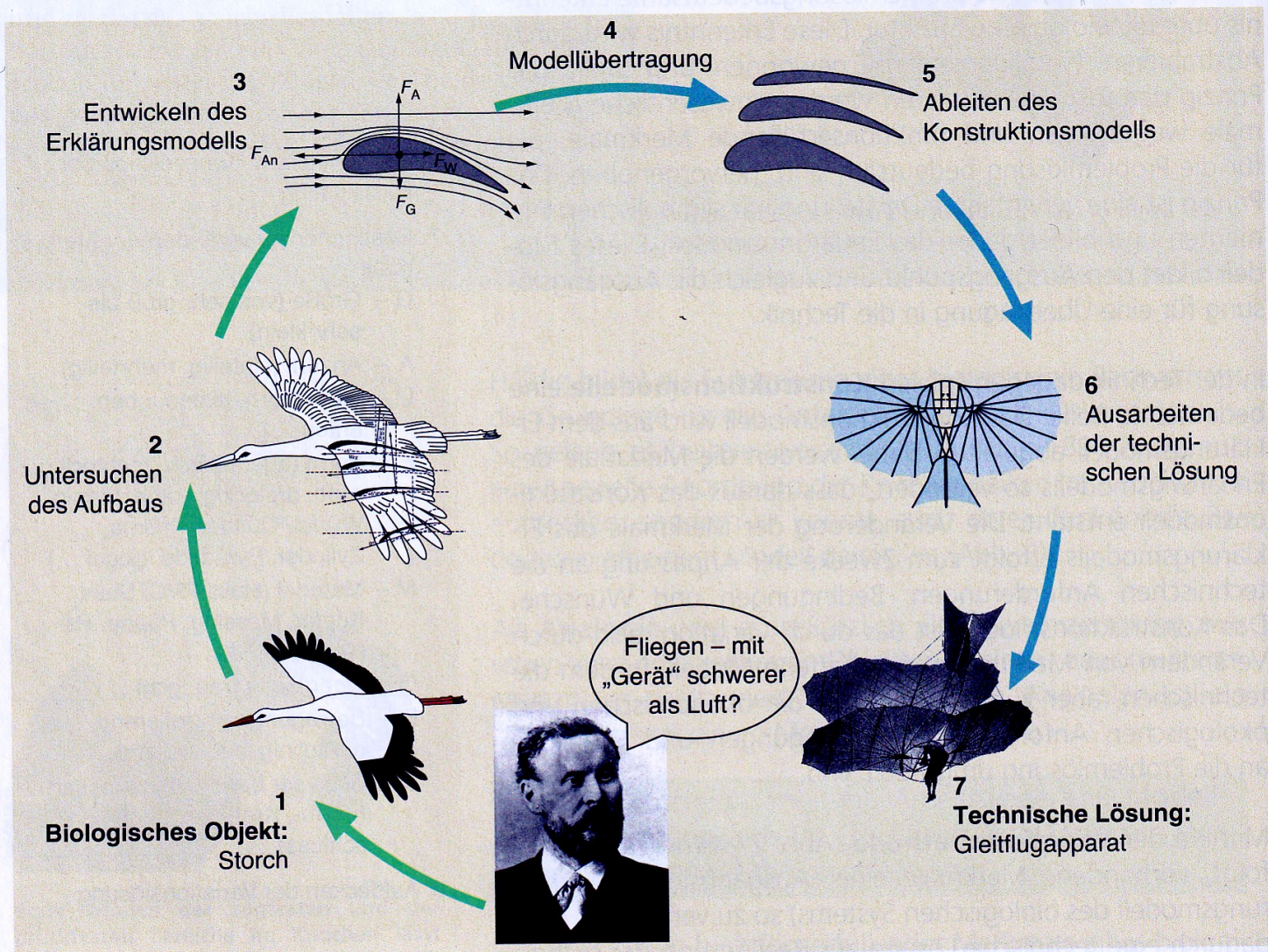
Mithilfe der **Variationsmethode** (Abb. 2) wird das Ziel verfolgt, vorhandene Merkmale einer Ausgangslösung (Erklärungsmodell des biologischen Systems) so zu verändern, dass dadurch eine technische Lösung zur Realisierung der technischen Anforderungen entsteht.

1. Gewinnen bzw. Kennzeichen der Basislösung
2. Bestimmen zu verändernder Merkmale
 - G – Größe (von sehr groß bis sehr klein)
 - A – Anzahl (einteilig, mehrteilig)
 - L – Lage (vorn, hinten, oben, unten ...)
 - F – Form (quadratisch, rechteckig, rund, dreieckig, trapezförmig, Würfel, Quader, Prisma, Zylinder, Pyramide, Kegel ...)
 - M – Material (Holz, PVC, Stahl, Kupfer, Messing, Pappe, Papier, Textilien ...)
 - O – Oberfläche (rau, glatt ...)
 - B – Bewegungsart (rotierend, geradlinig, schwingend ...)
 - S – Schluss- bzw. Verbindungsart (Form-, Kraft- und Stoffschluss)
3. Aufdecken der Variationslösung

2 Schrittfolge für das Variieren von Merkmalen

Bionischer Denk- und Handlungsprozess

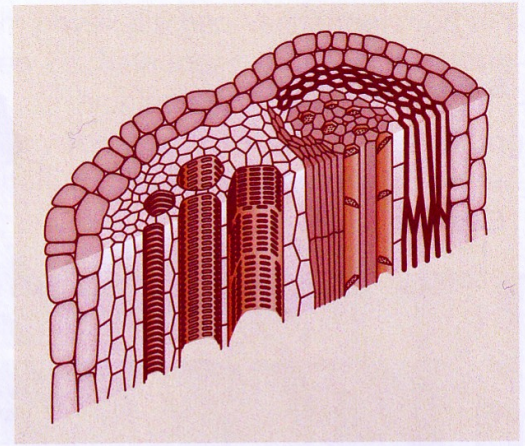
Als OTTO LILIENTHAL seinen Gleitflieger erfand, enthielt seine zielgerichtete und systematische Vorgehensweise ebenfalls die Analogiebildung. Er fertigte auch unterschiedliche Modelle an und variierte verschiedene Merkmale (Abb. 1). Dieses Vorgehen verlangte Selbstständigkeit und Kreativität, gepaart mit Ausdauer, Durchsetzungsvermögen und Wissbegier. Diese Eigenschaften besaß LILIENTHAL, denn nur dadurch war er in der Lage, das Problem des Fliegens zu lösen. Er erkannte die Zusammenhänge von Biologie, Physik und Technik. LILIENTHAL verstand es, die Fachgebiete zu vernetzen und ihnen durch Entdeckungen und Erfindungen neue Erkenntnisse und Konstruktionen hinzuzufügen. Seine Beschäftigung mit dem Flugproblem führte ihn zur Modellbildung und zur Durchführung von Experimenten, in denen er den Vorteil des gewölbten Flügels erkannte. Das vom Naturvorbild abgeleitete Erklärungsmodell führte ihn zu der Einsicht, dass ein im Luftstrom befindlicher gewölbter Flügel eine Auftriebskraft erfährt, die der Gewichtskraft entgegengerichtet ist. Diese Erkenntnisse setzte er über zahlreiche Experimente kontinuierlich in den Gleitflugapparat um.



Aus LILIENTHALS Vorgehensweise lässt sich der bionische Denk- und Handlungsprozess ableiten.

Der bionische Denk- und Handlungsprozess ist auf der einen Seite ein Abstraktionsprozess, der von der Analyse des biologischen Vorbilds zum Erklärungsmodell führt. Auf der anderen Seite wird jedoch schrittweise die technische Lösung immer weiter ausgearbeitet. Dieser Prozess wird Konkretisieren genannt, der in mehreren Stufen vom **Konstruktionsmodell** zur ausgearbeiteten technischen Lösung führt.

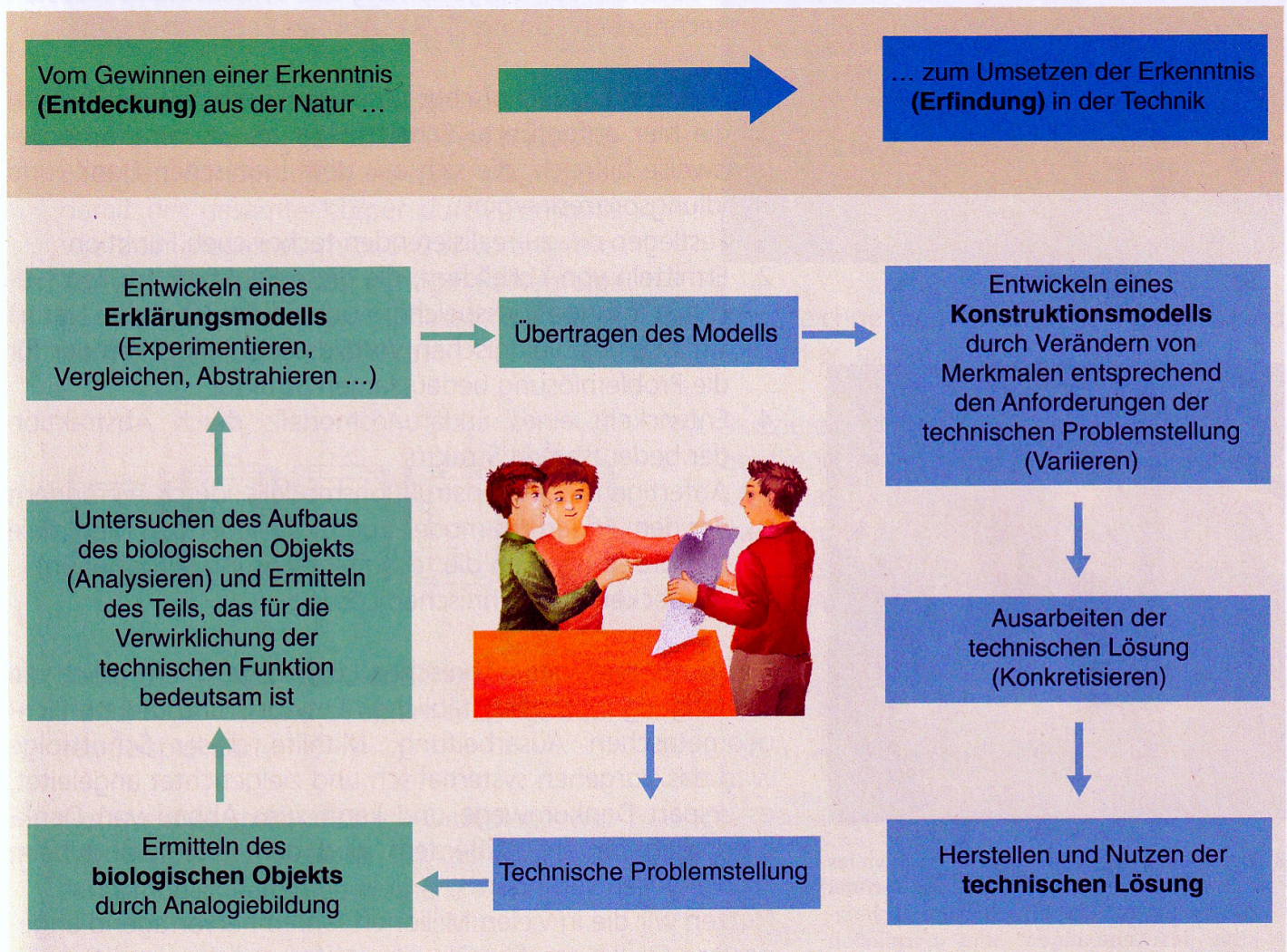
Bei der Analyse des Naturvorbilds als Objekt der Untersuchung wird danach gefragt, wie es aufgebaut ist und welche Funktionen die Organe bzw. Teile zur Realisierung der entsprechenden Funktionen durchführen.

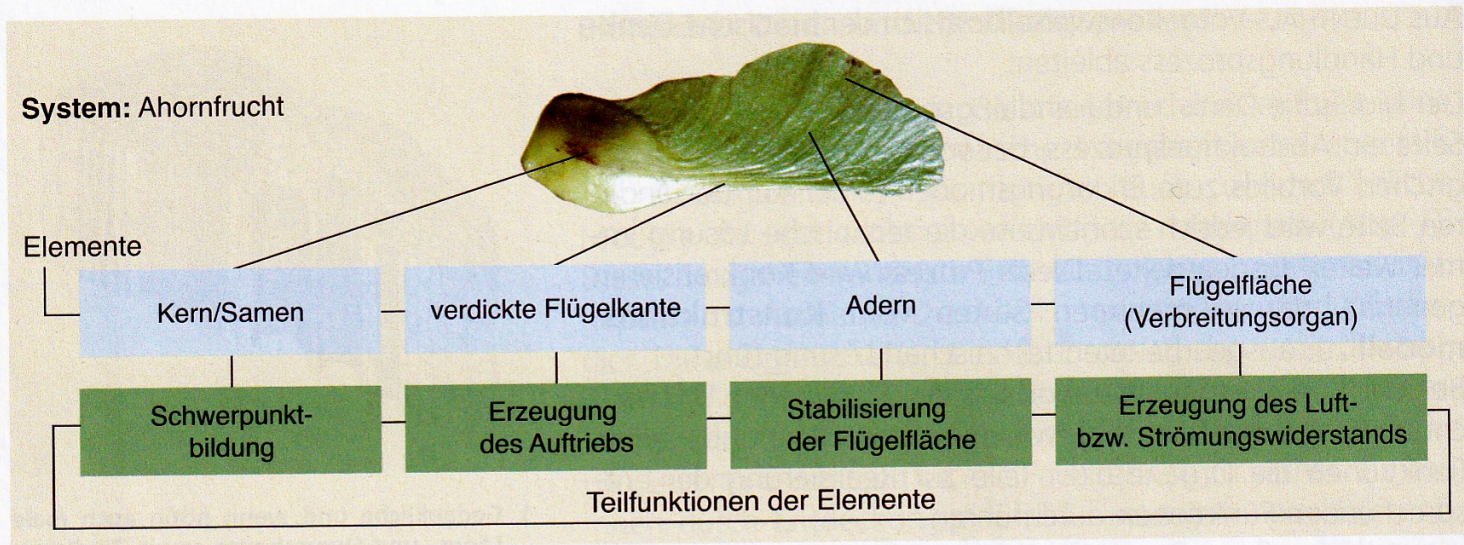


1 Gedankliche und wenn nötig auch reale Längs- und Querschnitte sowie Zeichnungen davon sind im bionischen Denk- und Handlungsprozess erforderlich.

Orientierungsfragen sind im bionischen Denk- und Handlungsprozess sehr hilfreich:

- Aus welchen Organgruppen besteht das biologische Objekt?
- Wie sieht das biologische Objekt von allen Seiten sowie im Längs- und Querschnitt aus (Abb. 1)?
- Welche besonderen Merkmale wie Form, Größe oder Anordnung weisen die Organe/Teile auf?





1 Systemanalyse der Ahornfrucht

Das Erkennen der Naturformen, das Vordringen zum Prinzip als Erklärungsmodell durch Analyse und Abstraktion und dessen kreative Umsetzung in eine technische Lösung ist die praktische Anwendung des allgemeingültigen Erkenntniswegs. Dieser **Erkenntnisweg**, der von der lebendigen Anschauung (biologisches System) zum abstrakten Denken und von diesem zur Praxis (technische Lösung) führt, ist nicht nur der Weg der Erkenntnis über das biologische System, sondern auch der zur Umgestaltung der Wirklichkeit in Gestalt der technischen Lösung (S. 31, Abb. 2).

Zur Gewinnung technischer Lösungen nach Naturvorbildern ist die hier aufgeführte **Schrittfolge** als universelle Vorgehensweise hilfreich, die sich aus dem bionischen Denk- und Handlungsprozess ergibt:

1. Festlegen der zu realisierenden technischen Funktion
2. Ermitteln von Vorbildern, die diese Funktion erfüllen (Suche in Informationsspeichern oder in der lebenden Natur)
3. Analyse des biologischen Vorbilds und Aufdecken der für die Problemlösung bedeutsamen Struktur
4. Entwickeln eines Erklärungsmodells durch Abstraktion der bedeutsamen Struktur
5. Anfertigen des Konstruktionsmodells durch Verändern der dem Erklärungsmodell zugrunde liegenden Merkmale (Anforderungen an die technische Lösung einbeziehen)
6. Aufdecken der technischen Lösung



2 In der lebenden Natur gibt es noch vieles zu entdecken und in die Welt der Technik zu übertragen. Öffnen wir diese „Schatzkiste des Lebendigen“ und erschließen uns diesen Reichtum an wirkungsvollen Mechanismen und effizienten Abläufen.

Das Aufdecken der technischen Lösung geschieht durch die Anfertigung eines maßstäblichen Entwurfs und der stofflich-geometrischen Ausarbeitung. Mithilfe dieser Schrittfolge wird das Vorgehen systematisch und zielgerichtet angeleitet, es erspart Denkwegen und kann zum Abbau von Denkblockaden führen. Außerdem wird der Zeitaufwand beim Problemlösen verringert.

Nutzen wir die in vielen Millionen Jahren hervorragend angepassten Strukturen für eine umweltfreundlichere, wirtschaftlichere und menschengerechtere Technik!