

<b>VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE</b>	<b>Bionik</b> Konzeption und Strategie Abgrenzung zwischen bionischen und konventionellen Verfahren/Produkten  <b>Biomemetics</b> Conception and strategy Differences between bionic and conventional methods/products	<b>VDI 6220</b>  <i>Entwurf / Draft</i>  Ausg. deutsch/englisch Issue German/English
--	--	---

*Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.  
The German version of this guideline shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.*

*Einsprüche bis 2011-09-30*

- *vorzugsweise in Tabellenform als Datei per E-Mail an [tls@vdi.de](mailto:tls@vdi.de)  
Die Vorlage dieser Tabelle kann abgerufen werden unter <http://www.vdi-richtlinien.de/einsprueche>*
- *in Papierform an  
VDI-Gesellschaft Technologies of Life Sciences  
Fachbereich Bionik  
Postfach 10 11 39  
40002 Düsseldorf*

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung . . . . .	2	Preliminary note . . . . .	2
Einleitung . . . . .	2	Introduction . . . . .	2
<b>1 Anwendungsbereich . . . . .</b>	<b>6</b>	<b>1 Scope . . . . .</b>	<b>6</b>
<b>2 Begriffe . . . . .</b>	<b>7</b>	<b>2 Terms and definitions . . . . .</b>	<b>7</b>
<b>3 Was ist Bionik? . . . . .</b>	<b>9</b>	<b>3 What is biomimetics? . . . . .</b>	<b>9</b>
3.1 Begriffsdefinition . . . . .	9	3.1 Definition of the term. . . . .	9
3.2 Wesen der Bionik . . . . .	10	3.2 The essentials of biomimetics . . . . .	10
3.3 Abgrenzung zu und Schnittmengen mit verwandten Wissenschaften. . . . .	11	3.3 Boundaries to and areas of overlap with related sciences . . . . .	11
3.4 Bionische Produkte und Prozesse. . . . .	13	3.4 Bionic products and processes . . . . .	13
<b>4 Grund und Anlass bionische Verfahren zu nutzen . . . . .</b>	<b>20</b>	<b>4 Reasons and occasions for using bionic methods . . . . .</b>	<b>20</b>
4.1 Möglichkeiten, Leistungsfähigkeit und Erfolgsfaktoren der Bionik . . . . .	20	4.1 Possibilities, performance, and success factors for biomimetics . . . . .	20
4.2 Bionik und Nachhaltigkeit . . . . .	21	4.2 Biomimetics and sustainability . . . . .	21
4.3 Grenzen der Bionik . . . . .	23	4.3 Limits of biomimetics . . . . .	23
<b>5 Prozess des bionischen Arbeitens . . . . .</b>	<b>24</b>	<b>5 Bionic engineering process . . . . .</b>	<b>24</b>
5.1 Ideenfindung . . . . .	26	5.1 Development of new ideas . . . . .	26
5.2 Analyse . . . . .	28	5.2 Analysis. . . . .	28
5.3 Abstraktion und Analogie. . . . .	30	5.3 Abstraction and analogy . . . . .	30
5.4 Von der Planung bis zur Invention . . . . .	31	5.4 From the planning phase to the invention . . . . .	31
5.5 Der Kommunikationsprozess im bionischen Arbeiten. . . . .	32	5.5 The communication process in biomimetics. . . . .	32
<b>6 Implementierung der Bionik in die Innovationssysteme . . . . .</b>	<b>33</b>	<b>6 Implementation of biomimetics in the innovation systems . . . . .</b>	<b>33</b>
Schrifttum. . . . .	35	Bibliography . . . . .	35

VDI-Gesellschaft Technologies of Life Sciences (TLS)

Fachbereich Bionik

## Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser VDI-Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen ([www.vdi-richtlinien.de](http://www.vdi-richtlinien.de)), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

An der Erarbeitung dieser VDI-Richtlinie waren beteiligt:

Dr. *H. Beismann*, Düsseldorf  
J. *Bertling*, Oberhausen  
Prof. *H.-G. Beyer*, Dornbirn  
Dr. *I. Boblan*, Berlin  
Dr. *R. Erb*, Berlin  
M. *Fischer*, Esslingen  
Dr. *M. Herdy*, Berlin  
Dr. *A. Jordan*, Magdeburg  
Prof. *A. Kesel*, Bremen  
S. *Menzel*, Wolfsburg  
Dr. *M. Mörtl*, Garching  
Prof. *G. Pohl*, Saarbrücken  
Dr. *H. Seitz*, Düsseldorf  
Dr. *O. Speck*, Freiburg  
Prof. *T. Speck*, Freiburg  
Dr. *I. Tesari*, Karlsruhe  
Dr. *J. Tschernjaew*, Hanau  
Dr. *M. Wirth*, Aachen

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser VDI-Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

## Einleitung

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 (zur Definition der Bionik siehe Abschnitt 3).

Die grundlegende Motivation für die Übertragung von biologischen Lösungen auf technische Anwendungen besteht darin, dass im Lauf von 3,8 Milliarden Jahren evolutiv optimierte biologische Strukturen entstanden sind, die auch für technische Entwicklungen bedeutsam und überzeugend sein können. Heute sind über 2,5 Millionen identifizierte Arten mit

## Preliminary note

The content of this guideline has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the guideline VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this guideline without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions specified in the VDI Notices ([www.vdi-richtlinien.de](http://www.vdi-richtlinien.de)).

Contributions to this VDI Guideline were made by:

Dr. *H. Beismann*, Düsseldorf  
J. *Bertling*, Oberhausen  
Prof. *H.-G. Beyer*, Dornbirn  
Dr. *I. Boblan*, Berlin  
Dr. *R. Erb*, Berlin  
M. *Fischer*, Esslingen  
Dr. *M. Herdy*, Berlin  
Dr. *A. Jordan*, Magdeburg  
Prof. *A. Kesel*, Bremen  
S. *Menzel*, Wolfsburg  
Dr. *M. Mörtl*, Garching  
Prof. *G. Pohl*, Saarbrücken  
Dr. *H. Seitz*, Düsseldorf  
Dr. *O. Speck*, Freiburg  
Prof. *T. Speck*, Freiburg  
Dr. *I. Tesari*, Karlsruhe  
Dr. *J. Tschernjaew*, Hanau  
Dr. *M. Wirth*, Aachen

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this guideline.

## Introduction

Biomimetics is understood to be the application of research and development approaches of interest to technical applications and which use knowledge gained from the analysis of living systems to find solutions to problems, create new inventions and innovations, and transfer this knowledge to technical systems. The idea of transferring biological principles to technology is the central element of biomimetics (see Section 3 for a definition of biomimetics).

The basic motivation behind the transfer of biological solutions to technical applications is the assumption that optimized biological structures have been developed in the course of 3,8 billion years of evolution that could also be significant and convincing in technical developments. To date, over 2,5 million different species have been identified and described to a

weitgehend ihren spezifischen Besonderheiten beschrieben. Im Sinne der Bionik stehen sie als gigantischer Ideenpool für technische Problemlösungen zur Verfügung.

Historisch lässt sich die Bionik in folgende Entwicklungsphasen einteilen [1]: Ab etwa 1950 begann eine modellbasierte Bionik, die sich vor allem im Flugzeug-, Fahrzeug- und Schiffbau durchsetzte und auf Basis der Ähnlichkeitstheorie Modellgesetze für die Prinzipienübertragung von biologischen Vorbildern auf technische Ausführungen ableitete. Etwa um 1960 wurden durch den Einfluss der Kybernetik die beiden Säulen der Bionik – Biologie und Technik – erstmalig auf ein gemeinsames sprachliches und methodisches Fundament gestellt, das eine wichtige Basis für das zentrale Element des Wissenstransfers innerhalb der Bionik darstellt. Seit etwa 1980 wird die Bionik auch auf die Nano- und Mikroskala erweitert (z.B. Lotus-Effect®) [2]. Neue Methoden der Mess- und Fertigungstechnik waren dazu der Schlüssel. Seit den 1990er Jahren erhält die Bionik vor allen Dingen durch die sich rasant entwickelnden Querschnittstechnologien Informatik, Nanotechnologie, Mechatronik und Biotechnologie, die vielfach eine Übertragung komplexer biologischer Systeme erst ermöglichen, weitere wichtige Impulse [3].

Heute etabliert sich Bionik zunehmend als eine Wissenschaftsdisziplin, die zahlreiche Produkt- und Technologieinnovationen hervorbringt. Die hochgradig interdisziplinäre Arbeitsweise, die Fachleute aus der Biologie, den Ingenieurwissenschaften und zahlreichen anderen Disziplinen zusammenbringt, birgt dabei ein besonders hohes Innovationspotenzial [4]. An zahlreichen Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen ist die Bionik daher inzwischen Gegenstand von Lehre und Forschung. Aber auch produzierende Unternehmen verwenden zunehmend bionische Verfahren zur Entwicklung neuer oder zur Optimierung bestehender Produkte. Trotz der steigenden Anzahl an Forschern und Anwendern in Bereich Bionik ist der Transfer von Erkenntnissen aus der Biologie in die Technik nach wie vor ein komplexer Prozess, der hohe Ansprüche an die beteiligten Akteure stellt.

Die Natur verfügt über zahlreiche „geniale Lösungen“, die oft intuitiv verstanden werden können. Dennoch sind die Aufklärung der zugrundeliegenden Mechanismen und vor allem deren Nutzbarmachung für die Technik nur selten einfach. Diese Diskrepanz ist ein Grund für die dauerhafte Aktualität, die das Thema Bionik auch in den nächsten Jahrzehnten haben wird [5].

great extent together with their specific characteristics. In terms of biomimetics, there is therefore a gigantic pool of ideas available for solutions to technical problems.

Historically, the development of biomimetics can be divided into the following phases [1]: Model-based biomimetics was introduced starting around 1950 primarily for use in the design and construction of aircraft, vehicles, and ships by deriving modeling rules based on similarity theory for transferring the principles of biological models to technical designs. Around 1960, the two pillars of biomimetics – biology and technology – were combined linguistically for the first time due to the influence of cybernetics and placed on a common linguistic and methodical foundation. This foundation then became an important basis for the central element of the field of biomimetics: the transfer of knowledge. Since about 1980, biomimetics has also been extended down to the microscale and nanoscale (e.g. the Lotus-Effect®) [2]. New methods in measurement and manufacturing technology were the keys to these extensions. Since the 1990's, biomimetics has received further impetus, in particular due to the rapid developments in technology in the related fields of computer science, nanotechnology, mechatronics, and biotechnology. In many cases, it is new developments in these fields that enable the transfer of complex biological systems in the first place [3].

Today, the field of biomimetics is increasingly considered a scientific discipline that has generated numerous innovations in products and technologies. This highly interdisciplinary collaborative work, which brings together experts from the fields of biology, engineering sciences, and numerous other disciplines, possesses a particularly high potential for innovation [4]. For this reason, biomimetics has now become an object of research and education at numerous universities and extramural research institutions. However, manufacturing companies are also increasingly turning to bionic methods to develop new products or to optimize existing products. In spite of the increasing number of researchers and users active in the field of biomimetics, the transfer of knowledge from the field of biology to technology is still a complex process that places high demands on the people involved.

Nature has numerous “ingenious solutions” available that can often be understood intuitively. It is seldom easy, though, to explain the underlying mechanisms, and in particular to explain how they could be applied to technology. This discrepancy is one reason for the current and ongoing relevance of the field of biomimetics, which will also continue into the next decades [5].

Zurzeit lassen sich unterschiedliche Technologiebereiche identifizieren, in denen die Bionik schwerpunktmäßig eingesetzt wird. Im Wesentlichen entsprechen diese der Fachgruppengliederung des bundesweiten Bionik-Kompetenznetzes *BIOKON* e.V. ([www.biokon.net](http://www.biokon.net)). Die Übergänge zwischen den Teilbereichen sind jedoch fließend, und in der hochdynamischen bionischen Forschungslandschaft entstehen immer wieder neue Forschungsschwerpunkte, die diese Einteilung erweitern und ergänzen.

#### **VDI 6221: Funktionale bionische Oberflächen – Oberflächenstrukturen zur Selbstreinigung und zur Reduktion von Bewuchs**

In der Richtlinie VDI 6221 wird der Bereich eines physikalischen Körpers/Organismus an der Phasengrenze behandelt, der sich in seiner Zusammensetzung, Struktur (räumliche Struktur, Mikrotopografie) und Funktion deutlich vom Rest/Kern/Kernkörper unterscheidet.

Es werden die Kriterien zur Definition „funktionaler bionischer Oberflächen“ angegeben, unterschiedliche Funktionen von Oberflächen beispielhaft erläutert sowie exemplarische Vorbilder wie Lotus-Effekt<sup>®</sup>, Riblet-Folie (künstliche Haihaut), giftfreie Antifouling, klebstofffreie Haftmechanismen, biologische Mikrostrukturen auf Oberflächen und deren Funktion sowohl aufgelistet als auch unter Berücksichtigung eines Kriterienkatalogs bewertet.

#### **VDI 6222: Bionische Roboter**

In der Richtlinie VDI 6222 wird die allgemeine Definition eines Roboters um das Eigenschaftswort „bionisch“, als ein besonderes unterscheidbares Merkmal, erweitert. Dieses Merkmal grenzt die Gruppe der Roboter auf diejenigen ein, die durch Anwendung bionischen Arbeitens entstanden sind und mindestens ein umgesetztes dominantes biologisches Prinzip in sich tragen.

Die Richtlinie beinhaltet eine Begriffsdefinition, eine Darstellung der Vorteile bionischer Roboter, eine Aufzählung biologischer Prinzipien für bionische Roboter und Beispiele einiger technischer Umsetzungen, Leistungsgrenzen und Skalierungen sowie eine abschließende Zusammenstellung möglicher neuer Anwendungsfelder bionischer Robotersysteme.

#### **VDI 6223: Bionische Materialien, Strukturen und Bauteile**

Die Richtlinie VDI 6223 befasst sich mit bionischen Materialien, Strukturen und Bauteilen. Biologische Vorbilder mit lastoptimiertem Gradienten- und Ver-

It is currently possible to identify various areas in technology in which bionic methods are primarily used. For the most part, these areas can be associated with the various technical committees of the nationwide Bionics Competence Network *BIOKON* e.V. ([www.biokon.net](http://www.biokon.net)) in Germany. The transitions between the sub-areas are fluid, though, and new areas of emphasis in research are constantly arising in the highly dynamic bionic research landscape. These different areas of bionic methods are hntan expanded and complemented.

#### **VDI 6221: Functional bionic surfaces – Self-cleaning surface structures to reduce incrustations**

Guideline VDI 6221 handles the phase boundary of a part of a physical body/organism that differs significantly from the rest/core/core body in terms of its composition, structure (spatial structure, microtopography), and function.

The criteria for the definition of “functional bionic surfaces” are specified, examples of different functions of surfaces are illustrated, and a list of typical examples of such surfaces such as Lotus-Effect<sup>®</sup> surfaces, riblet films (artificial sharkskin), non-toxic antifouling surfaces, adhesive-free adhesion mechanisms, and biological microstructures on surfaces are provided together with descriptions of their function and an evaluation of the surface based on a catalog of criteria.

#### **VDI 6222: Bionic robots**

In guideline VDI 6222, the common definition of a robot is extended by prefixing the adjective “bionic” to the term as a special, distinct feature. This feature separates the group of robots that have been designed by applying bionic methods and in which at least one dominant biological principle has been implemented from other types of robots.

The guideline contains definitions of terms, an illustration of the advantages of bionic robots, a list of biological principles for bionic robots, and examples of some technical implementations, performance limits, and scalings as well as a closing summary of possible new fields of application for bionic robot systems.

#### **VDI 6223: Bionic materials, structures and components**

Guideline VDI 6223 deals with bionic materials, structures, and components. Biological models with load-optimized gradient designs and composite struc-

bundaufbau, (selbst-)adaptiven autonomen Funktionen (z.B. Selbstheilung, Selbstorganisation) sowie optimierter Multifunktionalität, können die technische Entwicklung und Umsetzung von oder in Materialien, Strukturen und Bauteilen bereichern. Sie stellen zudem häufig die Basis weiterer bionischer Entwicklungsprozesse dar.

Die Richtlinie definiert die für den Anwendungsbereich wichtigen Begriffe und erläutert die dem bionischen Arbeiten zugrundeliegenden Erfolgsprinzipien und Charakteristika biologischer Materialien. Sämtliche Prozessschritte einer bionischen Material- und Bauteilentwicklung werden durchlaufen und detailliert erläutert. Die Richtlinie beschreibt exemplarisch wichtige Entwicklungen bei bionischen Material- und Bauteilen sowie die zugehörigen Fertigungsverfahren. Abschließend erläutert sie den Nutzen eines bionischen Ansatzes für die industrielle Anwendung.

#### **VDI 6224 Blatt 1: Evolutionäre Algorithmen in der Anwendung**

In der Richtlinie VDI 6224 Blatt 1 werden die Grundideen evolutionärer Optimierung vorgestellt und anhand von Beispielen vertieft. Die Grundidee evolutionärer Algorithmen leitet sich von den Prinzipien der Darwinschen Evolution ab. Durch Anwendung von Variation und Selektion können mit evolutionären Algorithmen schwierige Optimierungsprobleme gelöst werden, für die keine Standardverfahren anwendbar sind, weil z.B. keine Gradienteninformationen, nur verrauschte Bewertungen oder noch nicht einmal eine mathematisch formulierbare Zielfunktion vorliegt.

Für formale Definitionen und Begriffsbestimmungen aus dem Bereich der Evolutionären Algorithmen wird auf die Richtlinie VDI/VDE 3550 Blatt 3 verwiesen.

#### **VDI 6224 Blatt 2: Anwendung biologischer Wachstumsgesetze zur strukturmechanischen Optimierung technischer Bauteile**

In der Richtlinie VDI 6224 Blatt 2 werden Methoden zur Strukturoptimierung beschrieben, die auf aus dem Studium natürlicher biologischer Strukturen und Prozesse gewonnen Erkenntnissen basieren. Die Strukturoptimierung ist ein spezialisierter Zweig der Optimierung. Sie beschäftigt sich mit der optimalen Auslegung von Bauteilen unter Berücksichtigung der jeweils herrschenden Randbedingungen. Häufig zu optimierende Eigenschaften sind Gewicht, Belastbarkeit, Steifigkeit oder Lebensdauer. Eine oder mehrere dieser Eigenschaften zu maximieren bzw. zu minimieren ist das Optimierungsziel.

tures, (self-)adaptive autonomous functions (self-healing, self-organization) as well as optimized multifunctionality can enrich the technical development and implementation of or in materials, structures, and components. Furthermore, they often form the basis for further bionic developments.

The guideline defines the most important terms for this area of application and illustrates the principles of success and characteristics of biological materials underlying the bionic engineering process. All steps in the process for the development of bionic materials and components are illustrated and explained in detail. The guideline describes examples of important developments in bionic materials and components as well as the corresponding manufacturing processes. Finally, it illustrates the benefits of taking a bionic approach to industrial applications.

#### **VDI 6224 Part 1: Application of evolutionary algorithms**

Guideline VDI 6224 Part 1 presents the basic ideas of evolutionary optimization and explains them in more detail based on examples. The basic concept of evolutionary algorithms was derived from the principles of Darwinian evolution. Through the application of variation and selection procedures, evolutionary algorithms are able to solve difficult optimization problems for which no standard optimization procedure can be applied because, for example, there is no gradient information, only noisy evaluations are available, or there is not even a target function that can be formulated mathematically.

For formal definitions and terminology relating to the subject of evolutionary algorithms, refer to guideline VDI/VDE 3550 Part 3.

#### **VDI 6224 Part 2: Application of biological growth laws for the structure-mechanical optimization of technical components**

Guideline VDI 6224 Part 2 describes methods for structural optimization that are based on the knowledge gained from the study of natural biological structures and processes. Structural optimization is a special branch of optimization theory. It deals with the ideal design of components while taking the existing boundary conditions into account. Properties that are frequently optimized include the weight, load capacity, stiffness, or service life. The goal of optimization is to maximize or minimize one or more of these properties.

### **VDI 6225: Bionische Informationsverarbeitung**

Die Richtlinie VDI 6225 beschreibt die bionische Informationsverarbeitung nach dem Vorbild der Informationsverarbeitung im Nervensystem. Sie ist als technische Umsetzung biologischer Mechanismen und Strukturprinzipien von Organismen und ihren Nervensystemen zu verstehen. Aufgabe der bionischen Informationsverarbeitung ist es, das Zusammenspiel und die Funktionsweise von Sensor-, Nerven- und Motorsystemen zu analysieren, zu verstehen, zu abstrahieren und sie so der Technik zugänglich zu machen. Hierbei können Algorithmen entstehen, die für Softwareentwicklungen nutzbar sind, und es können strukturelle Erkenntnisse gewonnen werden, die einer Hardwareimplementierung zugänglich sind. Nahe verwandt ist die Richtlinie VDI/VDE 3550 Blatt 1.

### **VDI 6226: Architektur, Ingenieurbau, Industriedesign**

In der Richtlinie VDI 6226 werden bionische Methoden dargestellt, die für die Entwicklung und Gestaltung von Architektur, Ingenieurbauten und Produkten eingesetzt werden können.

Den Disziplinen ist gemeinsam, dass sie nicht isoliert fachspezifisch arbeiten, sondern grundsätzlich interdisziplinär sind. Die Vielfalt an Fragestellungen innerhalb eines Planungs- und Entwicklungsprozesses erfordert eine breite Perspektive und deshalb eine Integration verschiedener Fachgebiete. Die Bionik erweitert den allgemeinen Arbeitsprozess durch eine weitere Methodik. Dazu wird der bionische Entwicklungsprozess, ausgehend von Biology Push oder Technology Pull, beschrieben und um das Arbeiten mit einem Pool aus biologischen Anwendungs- und bionischen Übertragungsmöglichkeiten zur Lösung technischer Fragestellungen ergänzt.

Die Richtlinie beinhaltet zahlreiche Begriffsdefinitionen und betrachtet Ziele und Chancen der Bionik in Architektur, Ingenieurbau und Industriedesign. Bionische Lösungen in diesen Bereichen sind stets als ein Zusammenspiel von Funktion und Gestaltung zu sehen.

## **1 Anwendungsbereich**

Die vorliegende Richtlinie und die oben genannten Richtlinien wollen einen geeigneten Rahmen für bionisches Arbeiten geben. Die Bionik wird klassifiziert, definiert und zahlreiche Begriffsbestimmungen und eine Beschreibung des Prozesses des bionischen Arbeitens von der Ideenfindung bis zum bionischen Produkt werden durchgeführt. Grenzen und Potenzi-

### **VDI 6225: Bionic information processing**

Guideline VDI 6225 describes bionic information processing based on the model of how information is processed in the nervous system. Bionic information processing can be understood as the technical implementation of biological mechanisms and structural principles of organisms and their nervous systems. The task of bionic information processing is to analyze, understand, and abstract the interaction and the method of operation of sensory, nervous, and motor systems in order to make them accessible to technology. This could result in algorithms that can be useful in software development and possibly structural knowledge as well that could make an implementation in hardware possible. Guideline VDI/VDE 3550 Part 1 is closely related to this guideline.

### **VDI 6226: Architecture, civil engineering, industrial design**

Guideline VDI 6226 presents bionic methods that can be used in the development and design of architectural structures, in civil engineering projects, and in products.

The common factor in these disciplines is that they are not restricted to a single field of specialization and are interdisciplinary as a general rule instead. The variety of questions arising in a planning and development process requires a wide perspective, and therefore a need to integrate knowledge from different fields. Biomimetics provides the general work process with an additional method. The bionic development process is then described based on a “biology push” or “technology pull” approach, and a pool of potential biological applications and bionic transfers is included in this process to solve technical problems.

The guideline contains numerous definitions of terms and examines the goals of biomimetics in the fields of architecture, civil engineering, and industrial design as well as the opportunities it offers in these fields. Bionic solutions in these fields must always be viewed as a balance between design and function.

## **1 Scope**

This guideline and the above mentioned guidelines are intended to provide a suitable framework for bionic applications. The field of biomimetics is classified and defined, numerous terms are described, and a description of the process of applying bionic methods from the development of new ideas to the bionic product is provided. The limits and potential of bio-

ale, die die Bionik als Innovationssystem oder als Nachhaltigkeitsstrategie betreffen, werden dargestellt. Zusätzlich gibt die Richtlinie einen Überblick über die verschiedenen Anwendungsbereiche und grenzt das bionische Arbeiten von klassischen Formen der Forschung und Entwicklung ab. Wenn ein technisches System einen Entwicklungsprozess gemäß dieser Richtlinie durchlaufen hat, darf es als „bionisch“ bezeichnet werden.

Die Richtlinie stellt eine Anleitung und Unterstützung für Entwickler, Konstrukteure und Anwender dar, die sich mit dem bionischen Entwicklungsprozess befassen und die Bionik in ihre Arbeit integrieren möchten. Sie kann überall dort Anwendung finden, wo die belebte Natur ein dem technischen Zielsystem ausreichend ähnliches Vorbild für eine technische Entsprechung hervorgebracht hat.

Weiterhin bietet sie einen Rahmen für die sprachliche Gestaltung und Ausformulierung bionischer Texte in Lehre und Forschung.

## 2 Begriffe

Für die Anwendung dieser Richtlinie gelten die folgenden Begriffe:

### *Abstraktion*

Induktiver Prozess, bei dem aus der Betrachtung eines spezifischen Gegenstands eine verallgemeinerte Schlussfolgerung gezogen wird.

**Anmerkung:** Bei der Bionik ist diese Schlussfolgerung idealerweise ein physikalischer Zusammenhang zur Beschreibung der dem biologischen Vorbild zugrunde liegenden Funktions- und Wirkprinzipien.

### *Analogie*

Unter Analogie wird in der Technik die Ähnlichkeit in den Verhältnissen zwischen den zwei verschiedenen →Systeme beschreibenden relevanten Größen verstanden.

**Anmerkung 1:** Die Festlegung relevanter Größen ist Gegenstand der →Abstraktion. Im Sinne dieser Definition ist in der Bionik das eine System das biologische Vorbild, das andere das technische Zielsystem.

**Anmerkung 2:** In der Biologie bezeichnet der Begriff „Analogie“ Ähnlichkeiten der Merkmale in Bezug auf Funktionen, die aus Anpassungszwängen resultieren und nicht Folge von Verwandtschaftsbeziehungen sind. Im Gegensatz dazu werden Ähnlichkeiten aufgrund verwandtschaftlicher Abhängigkeiten und damit ähnlicher genetischer Information als Homologie bezeichnet. In der Biologie ist somit ein dynamisches Verständnis des Begriffs „Analogie“ etabliert, der vor allem die Unterschiedlichkeit im Startpunkt einer Entwicklung betont.

### *Analyse*

Systematische Untersuchung, bei der das biologische oder technische System mit geeigneten Methoden in

mimetics as an innovation system or as a sustainability strategy are also illustrated. In addition, the guideline provides an overview of the different areas of application and describes how bionic methods differ from classic forms of research and development. If a technical system is subjected to a development process according to this guideline, then it is allowed to be referred to as a “bionic” system.

The guideline provides guidance and support for developers, designers, and users who want to learn about the bionic development process and integrate bionic methods into their work. It can be applied wherever nature has produced a model sufficiently similar to the technical target system that can be used to develop a technical equivalent.

Furthermore, it provides a framework for the terminology to be used when formulating papers on biomimetics for educational and research purposes.

## 2 Terms and definitions

For the purposes of this guideline, the following terms and definitions apply:

### *Abstraction*

An inductive process in which a general conclusion is drawn based on the observation of a specific object.

**Note:** In biomimetics, this conclusion is ideally a physical context for describing the underlying functional and operating principles of the biological model.

### *Analogy*

An analogy in terms of technology is understood to be a similarity in the relationships between the relevant parameters used to describe two different →systems.

**Note 1:** The specification of the relevant parameters is object of →abstraction. In terms of its definition in the field of biomimetics, one of these two systems is a biological model, and the other system is the technical target system.

**Note 2:** In biology, the term “analogy” refers to similarities in functional characteristics between different organisms that resulted from the need to adapt and not because the organisms are somehow related. In contrast, similarities based on relationship dependencies, and therefore on similar genetic information, are referred to as homologies. In biology, the term “analogy” has come to be understood dynamically and emphasizes in particular the differences between the starting points of two evolutionary developments.

### *Analysis*

Systematic examination in which the biological or technical system is decomposed into its component