

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Bionik  
Bionische Roboter

VDI 6222

Blatt 1 / Part 1

Biomimetics  
Biomimetic robots

Ausg. deutsch/englisch  
Issue German/English

*Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.*

*The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.*

| Inhalt  | Seite     | Contents   | Page      |
|---|-----------|--|-----------|
| Vorbemerkung . . . . .  | 2         | Preliminary note . . . . .   | 2         |
| Einleitung . . . . .  | 2         | Introduction . . . . .   | 2         |
| <b>1 Anwendungsbereich . . . . .</b>  | <b>3</b>  | <b>1 Scope . . . . .</b>   | <b>3</b>  |
| <b>2 Normative Verweise . . . . .</b>   | <b>3</b>  | <b>2 Normative references . . . . .</b>  | <b>3</b>  |
| <b>3 Begriffe . . . . .</b>   | <b>3</b>  | <b>3 Terms and definitions . . . . .</b>   | <b>3</b>  |
| <b>4 Grundlagen . . . . .</b>   | <b>5</b>  | <b>4 Principles . . . . .</b>  | <b>5</b>  |
| <b>5 Vorteile bionischer Roboter . . . . .</b>                                  | <b>7</b>  | <b>5 Advantages of biomimetic robots . . . . .</b>                                   | <b>7</b>  |
| 5.1 Merkmale, die sich aus der<br>Mechanik bedingen . . . . .                   | 8         | 5.1 Features originating<br>in the mechanics . . . . .                               | 8         |
| 5.2 Merkmale, die sich aus der<br>Regelung und Steuerung bedingen . . . . .     | 10        | 5.2 Features due to the<br>control system . . . . .                                  | 10        |
| <b>6 Biologische Prinzipien für<br/>bionische Roboter . . . . .</b>             | <b>12</b> | <b>6 Biological principles for<br/>biomimetic robots . . . . .</b>                   | <b>12</b> |
| 6.1 Energiespeicherung und -rückgewinnung. . . . .                              | 12        | 6.1 Energy storage and recovery . . . . .  | 12        |
| 6.2 Strukturen und Leichtbau . . . . .  | 13        | 6.2 Structures and lightweight design . . . . .                                      | 13        |
| 6.3 Effizienz und Leistungsgewicht. . . . .                                     | 13        | 6.3 Efficiency and the power-to-weight ratio. . . . .                                | 13        |
| 6.4 Neurobionische Regelung. . . . .  | 14        | 6.4 Neurobiomimetic feedback control. . . . .  | 14        |
| 6.5 Neuronale Netze . . . . .   | 15        | 6.5 Neural networks . . . . .  | 15        |
| 6.6 Sensorfusion . . . . .  | 15        | 6.6 Sensor fusion . . . . .  | 15        |
| 6.7 Komplexe kinematische Ketten . . . . .                                      | 15        | 6.7 Complex kinematic chains . . . . .   | 15        |
| 6.8 Schutz/Selbstschutz/<br>Fremdschutz. . . . .                                | 16        | 6.8 Protection/self-protection/<br>protection of others . . . . .                    | 16        |
| <b>7 Beispiele technischer Umsetzungen<br/>biologischer Prinzipien. . . . .</b> | <b>16</b> | <b>7 Examples of technical implementations<br/>of biological principles. . . . .</b> | <b>16</b> |
| 7.1 Energiespeicherung und -rückgewinnung. . . . .                              | 16        | 7.1 Energy storage and recovery . . . . .  | 16        |
| 7.2 Strukturen und Leichtbau . . . . .  | 17        | 7.2 Structures and lightweight design . . . . .                                      | 17        |
| 7.3 Effizienz und Leistungsgewicht. . . . .                                     | 18        | 7.3 Efficiency and the power-to-weight ratio. . . . .                                | 18        |
| 7.4 Neurobionische Regelung. . . . .  | 19        | 7.4 Neurobiomimetic feedback control. . . . .  | 19        |

VDI-Gesellschaft Technologies of Life Sciences (TLS)

Fachbereich Bionik

**VDI-Handbuch Bionik**  
**VDI-Handbuch Produktentwicklung und Konstruktion**  
**VDI-Handbuch Produktionstechnik und Fertigungsverfahren, Band 2: Fertigungsverfahren**  
**VDI/VE-Handbuch Automatisierungstechnik**

Frühere Ausgabe: VDI 6222:2011-11 Entwurf, deutsch  
Former edition: VDI 6222:2011-11 Draft, in German only

Zu beziehen durch / Available at Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin – Alle Rechte vorbehalten / All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure e. V., Düsseldorf 2013

Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet / Reproduction – even for internal use – not permitted

|  | Seite     |
|--|-----------|
| 7.5 Bewegungskontrolle durch Neuronale Netze . . . . . | 20        |
| 7.6 Sensorfusion . . . . .                             | 21        |
| 7.7 Komplexe Kinematiken. . . . .                      | 21        |
| 7.8 Schutz/Selbstschutz/Fremdschutz . . . . .          | 23        |
| 7.9 Kriterien für bionische Roboter . . . . .          | 23        |
| <b>8 Grenzen bionischer Robotik.</b> . . . . .         | <b>23</b> |
| <b>9 Mögliche neue Anwendungsfelder</b> . . . . .      | <b>26</b> |
| Schrifttum . . . . .                                   | 28        |

|   | Page      |
|---|-----------|
| 7.5 Motion control using neural networks . . . . .            | 20        |
| 7.6 Sensor fusion . . . . .                                   | 21        |
| 7.7 Complex kinematic. . . . .                                | 21        |
| 7.8 Protection/self-protection/protection of others . . . . . | 23        |
| 7.9 Criteria of biomimetic robots . . . . .                   | 23        |
| <b>8 Limits of biomimetic robotics.</b> . . . . .             | <b>23</b> |
| <b>9 Potential new fields of application</b> . . . . .        | <b>26</b> |
| Bibliography . . . . .  | 28        |

**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.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

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

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter [www.vdi.de/6222](http://www.vdi.de/6222).

**Einleitung**

Bionik verbindet Biologie und Technik mit dem Ziel durch Abstraktion, Übertragung und Anwendung von Erkenntnissen, die durch interdisziplinäre Zusammenarbeit an biologischen Vorbildern gewonnen werden, technische Fragestellungen zu lösen (VDI 6220 Blatt 1).

Robotik ist innerhalb der Ingenieursdisziplinen ein breit aufgestelltes Fach. In einer ähnlichen Breite findet die Methode Bionik Anwendung bei der Konstruktion, der Steuerung und dem Betrieb von Robotersystemen. Diese Vorgehensweise reicht von „klassischen“ Bionikfeldern wie Leichtbau und Strömungsoptimierung bis zur bionischen Übertragung von Tierverhalten bei der Navigation, Bewegungssteuerung und Entscheidungsfindung. Die Robotik nutzt die Mechatronik und im Bereich der Bionik die Biomechatronik als Teilbereich für den Aufbau von

**Preliminary note**

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard 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 standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions specified in the VDI Notices ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)).

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

A catalogue of all available parts of this series of standards can be accessed on the Internet at [www.vdi.de/6222](http://www.vdi.de/6222).

**Introduction**

Biomimetics combine biology and technology with the goal of solving technical problems through the abstraction, transfer, and application of knowledge gained in interdisciplinary cooperation from biological models (VDI 6220 Part 1).

Robotics is a broad area in the field of engineering. The application of biomimetic methods is similarly widespread in the design, control, and operation of robotic systems. These approaches range from the “classic” fields in biomimetics such as lightweight design and flow optimization to the biomimetic transfer of animal behavior to navigation, motion control, and decision-making problems. Robotics utilizes knowledge from the field of mechatronics and from the field of biomechanics (for biomimetic applications) to design electrical, mechanical, and informa-

elektrischen, mechanischen und informationstechnischen Komponenten.

Für die Unterstützung der Entwicklung biologisch inspirierter („bionischer“) Roboter muss folglich die Vereinigungsmenge einer Vielzahl von Empfehlungen (z.B. VDI 2206, VDI 2727, VDI 2740, VDI 2860), die jeweils bereits hochkomplexe Betrachtungsobjekte betreffen, analysiert werden. Darauf aufbauend sind zwecks Reduktion der Systemkomplexität stark abstrahierte Empfehlungen zu formulieren.

## 1 Anwendungsbereich

Die Richtlinie gibt Naturwissenschaftlern und Ingenieuren bei der Entwicklung von Robotern eine Anleitung für eine bionische Herangehensweise als einen zusätzlichen Lösungsansatz an die Hand.

In der klassischen Robotik wird zwischen mobilen und stationären Robotern unterschieden. In dieser Richtlinie wird diese Unterscheidung nicht vorgenommen, dienen doch in der Regel Tiere als „mobile“ Lebewesen als Vorbild. Biologische Manipulatoren (z.B. Hände und Arme bei Primaten) sind immer multifunktional und dienen sowohl der Fortbewegung als auch der Manipulation von Objekten.

Diese Richtlinie stellt insbesondere die Stärken und einige Einschränkungen der bionischen Robotik dar.

Humanoide/anthropomorphe Roboter sind nicht Gegenstand der Richtlinie, da konsensfähige Definitionen für diesen Teilaspekt der bionischen Robotik nicht festgelegt werden können. Die in der Richtlinie dargestellten Prinzipien können selbstverständlich auch bei der Entwicklung derartiger Systeme Anwendung finden.

tion processing components.

To support the development of biologically inspired (“biomimetic”) robots, it is therefore necessary to analyze a number of different recommendations (e.g. VDI 2206, VDI 2727, VDI 2740, VDI 2860), each of which already pertains to highly complex objects of analysis. Based on these recommendations, highly abstracted recommendations must be formulated in order to reduce the complexity of the system.

## 1 Scope

This standard provides scientists and engineers a guide to the biomimetic approach as an additional method for solving problems when developing robots.

Classic robotics differentiates between mobile and stationary robots. However, this standard does not make this differentiation because animals, being “mobile” living organisms, generally serve as models. Biological manipulators (the hands and arms of primates, for example) are always multifunctional and are used for locomotion as well as to manipulate objects.

In particular, this standard presents the strengths of biomimetic robotics and some of its limitations.

Humanoid/anthropomorphic robots are not handled in this standard since there is no consensus on the definitions relating to this area of biomimetic robotics. However, the principles illustrated in the standard can also be applied to the development of these types of systems.