

# Literaturverzeichnis zu Architektur und Bionik

Annex 2.1  
Phase 2: Recherche  
biologischer Vorbilder +  
wirksamer Prinzipien.  
Arbeitsergebnisse

P. Gruber

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

## 46b/2013

**Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter  
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

# Literaturverzeichnis zu Architektur und Bionik

Annex 2.1

Phase 2: Recherche biologischer Vorbilder + wirksamer Prinzipien.  
Arbeitsergebnisse

Dr. Petra Gruber  
transarch

Wien, Juni 2010

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm *Haus der Zukunft* des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Die Intention des Programms ist, die technologischen Voraussetzungen für zukünftige Gebäude zu schaffen. Zukünftige Gebäude sollen höchste Energieeffizienz aufweisen und kostengünstig zu einem Mehr an Lebensqualität beitragen. Manche werden es schaffen, in Summe mehr Energie zu erzeugen als sie verbrauchen („Haus der Zukunft Plus“). Innovationen im Bereich der zukunftsorientierten Bauweise werden eingeleitet und ihre Markteinführung und -verbreitung forciert. Die Ergebnisse werden in Form von Pilot- oder Demonstrationsprojekten umgesetzt, um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten.

Das Programm *Haus der Zukunft Plus* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert und elektronisch über das Internet unter der Webadresse [www.HAUSderZukunft.at](http://www.HAUSderZukunft.at) Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula  
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

---



## 1. Erhebung des Status Quo bionisch inspirierter Lösungen im Bauwesen

Ziel des ersten Arbeitsschrittes im Arbeitspaket 2 war die Zusammenfassung schon existierender Lösungen aus der Bionik für das Bauwesen respektive Fassadentechnologien.

Das Feld der "Baubionik" wurde von Nachtigall (2003) im gleichnamigen Buch zusammengefasst, und legt den Fokus neben Bau und Klimatisierung vor allem auf Tragwerke und ökologische Aspekte. Das Feld der "Architekturbionik" im Allgemeinen, schon existierende Lösungen aus der Bionik für Architektur und Bauwesen wurde von Gruber (2008) ausgiebig untersucht, mit dem Fokus auf die Integration der so genannten "signs of life" in die Architektur. Im Material und Gebäudemasstab wurde eine stark zunehmendes Interesse an bionischen Übertragungen festgestellt, das auf die Aktivierung von architektonischen Elementen abzielt. Annex 2\_1 bietet eine Auswahl der Literatur zum Themenbereich Architektur und Bionik.

Das Feld der Bionik ist sehr weit gestreut, und die Akteure ordnen ihre Arbeiten oft nicht in diesen Bereich zu, das macht sie schwer auffindbar. Die Definition der Bionik ist eine methodische. Die Architekturbionik ist deshalb nicht einer Richtung oder einem Baustil verpflichtet. Aus diesem Grund ist die Bezeichnung "bionische Architektur" fragwürdig und wird im Weiteren nicht verwendet. Die Verwendung von bionischen Produkten und Materialien in Gebäuden wird mit steigendem Marktanteil der Produkte unüberschaubar, deshalb können nur Prototypische Produkte genannt werden. Die Zuordnung von Projekten, die Konvergenzen zwischen Natur und Technik nutzen (z.B. passive Lüftungssysteme), zur Bionik ist zu hinterfragen, stellt aber möglicherweise den Beginn eines intensiveren Informationstransfers dar.

Die Untersuchung im Rahmen des Projekts BIOSKIN basiert auf dem grundlegenden Vergleich von Gebäudehüllen zu Schalen und Häuten in der Natur. Die primäre Analogie zwischen Häuten von Organismen und Gebäuden besteht in der Schaffung einer differenten Umgebung, die sich z.B. in der chemischen Zusammensetzung oder Phase, oder der physikalischen Verhältnisse unterscheidet. Yeang (1999) hat für dichtbesiedelte Stadtumgebungen den Zusammenhang zwischen dem benötigten Komfort der Benutzer, dem Grad der Differenz und der benötigten Technologie hergestellt. Die Hülle als Schnittstelle zwischen der äusseren und inneren Umgebung muss eine Reihe von Funktionen erfüllen, wie in Tabelle 1 dargestellt. Mechanische und konstruktive Aspekte sind ein wichtiges Thema in der bionischen Forschung und Entwicklung von Gebäudehüllen und Materialien, vor allem in Hinblick auf die Umsetzung komplexer Formen und Geometrien, die Aktivierung von Gebäudeelementen und die Integration von Adaptivität. Für das Projekt BIOSKIN waren Funktionen des Austausches mit der Umgebung wesentlich: Exchange, Signal, Store.

**Tabelle 1: Funktionsvergleich zwischen Häuten in der Natur und Systemen in der Architektur**

skin function in organisms	by/what	architectural analogy
----------------------------	---------	-----------------------

primary function, happens in the intermediate space between the inside and the outside

<b>construct</b>	provide structure	shell / internal structure with soft body and skin	> building construction
<b>protect</b>	protect and enclose organs	inner soft or tensioned layer	> membrane systems
	mechanical Protection		> hard outer layer
	self-healing		> self-healing materials
	protection from radiation		> UV protection
	protection from dirt	surface characteristics, chemical action	> self-cleaning
	protection from micro-organisms	surface characteristics, chemical action	> oxidation surface
	production of insulation	outer layer (hair, feathers)	> thermal insulation
<b>exchange</b>	sensing	diverse information	> sensors
	harvesting of energy	thermal, solar energy	> solar systems
	control air exchange	oxygen, carbon dioxide	> diffuse systems
	thermoregulation		> thermal balance
	regulation of circulation		> thermal balance
	exchange of substances, prevent loss	nutrients	> filter systems
	water and humidity sweating	- water	> cooling

integrated function, also use of a mechanism already there

<b>signal</b>	appearance in environment	colour, patterns	> communication
	signalling	colour change etc.	> communication

integrated function in the intermediate space, can also happen elsewhere in the organism

<b>store</b>	storage of energy	thermal energy	> heat storage
	storage of chemical energy	fat, sugar	> energy storage
	storage of humidity		> water storage

In Tabelle 2 sind wichtige Aspekte oder Qualitäten biologischer Hüllen aufgelistet, die für die Architektur von besonderem Interesse sind. Adaptivität, Veränderbarkeit, Bewegung, Aspekte

des Informationsaustauschs mit der Umwelt, Aspekte des Zusammenlebens, der Multifunktionalität und der Integration sind Schlüsselthemen in der Bionik und in der Architektur.

Tabelle 2: Aspekte biologischer Hüllen und architektonische Analogie.

<b>Aspect of biological skin</b>	<b>architectural analogy</b>
<b>Transformation properties, time related</b>	
Adaptability for environmental and internal changes	> all aspects
Structural provision for growth	flexibility or shedding of skin/shell > growth, form change
Structural provision for locomotion	flexibility or joints > form change, locomotion
<b>Communication and cohabitation properties</b>	
Tactile aspects	> visual aspects, metaphor
Provision of environment for other organisms	symbiosis > added value - urban scale
<b>Multifunctionality and Integration</b>	
Layered but connected systems	> layers
Dispersed integration	sensors, blood vessels, ventilation pores etc. > integrated function
Distinct integration	organs, nails, etc. > integration of subsystem

Davies (1978) "polyvalent wall system" markiert den Beginn der Suche nach funktioneller Integration, wenn auch noch in einem System von funktionell zugeordneten Schichten.

Bionische Forschung für den Bereich Architektur und Bauwesen findet derzeit hauptsächlich auf Universitäten statt, im Rahmen von Dissertationen und Forschungsprojekten. Braun (2008) hat eine Reihe von Modellen aus der Natur auf ihre Übertragbarkeit in die heutige Fassadentechnologie hin untersucht, und einen prototypischen Entwurf einer adaptiven permeablen Aussenhülle erstellt. Matini (2008) hat biegsame bionische Konstruktionen entwickelt, die als Basis für verschiedene Umsetzungen dienen kann. Badarnah (2007) und Lienhard (2009) arbeiten an Beschattungssystemen für Fassaden, die durch Blatt- und Blütensysteme in der Natur inspiriert sind. Matini (2008) hat biegsame bionischen Konstruktionen entwickelt. In den weltweit tätigen Ingenieurbüros Arup und Happold wird ein bionischer Ansatz propagiert: "Biomimicry" Prinzipien basierend auf den Arbeiten von Benyus (1998) werden von Arup (2008) als Rahmen für eine Veränderung in ein "ökologisches Zeitalter" verwendet. Craig (2008) hat im Büro Happold mit der Methode "BioTriz" (Vincent et al. 2006) ein Konzept für Gebäudekühlung entwickelt.

Die Umsetzung bionischer Konzepte erfordert neue Materialien, der Bereich der "Smart Materials" scheint ein brauchbares Spektrum an Möglichkeiten zu liefern. Die meisten schon einsetzbaren bionischen Lösungen sind auf der Ebene der Materialien zu finden. Die Oberflä-

chentechnologie scheint am weitesten entwickelt zu sein und ist schon in viele Produktbereiche der Bauindustrie vorgedrungen (Mikro- und Nanobeschichtungen, Selbstreinigung - Lotus-Effekt: z.B. Lotusan Farbe, Anti-adhäsive Oberflächen, Easy-to-clean Beschichtungen etc.).

Zusammenfassend kann man sagen, dass bionische Lösungen im Masstab des Gebäudes vorwiegend erst auf der Ebene von Studien und Prototypen existieren, aber dass sich die Architekturbionik in den letzten Jahren von theoretischen Konzepten hin zu detaillierteren Studien entwickelt hat.

## LITERATUR Architektur und Bionik

**Bücher und Magazine**

- Aldersey-Williams, H.: Zoomorphic, new animal architecture, London 2003.
- Alexander, Christopher: The Nature of Order, The process of creating life, The Center for Environmental Structure, Berkeley, California, 2002.
- Alexander, Christopher: A Pattern Language, Oxford University Press, New York, 1977.
- Altshuller Genrich: Creativity As An Exact Science: The Theory of the Solution of Inventive Problems, 1984.
- ARCH+ Verlag GmbH Nikolaus Kuhnert, Sabine Kraft, Günther Uhlig (Hg.): ARCH+ Zeitschrift für Architektur und Städtebau Nr.159 160, Formfindungen von biomorph bis technoform, ARCH+ Verlag GmbH, Aachen, 5 2002.
- Austrian Research Centers, Systems Research (Ed.) Bionik für Verkehrstechnologien. Eine Analyse der internationalen Forschungslandschaft in ausgewählten Bereichen der Bionik. ARC-Berichte, Wien, 2008.
- Bannasch, R.; Boblan, I. (Ed.): Fortschritt Berichte VDI, First International Industrial Conference Bionik 2004, Hannover Reihe 15, P. 13 - 21, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 2004.
- Ball, Philip: The Self-Made tapestry: Pattern Formation in Nature, 2001.
- Bar-Cohen, Yoseph (Ed.): Biomimetics, Biologically Inspired Technologies, 2006.
- Benyus, Janine M.: Biomimicry, Innovation inspired by nature, 1998.
- Bonser, R. & Vincent, J.F.V. Technology trajectories, innovation, and the growth of biomimetics. Proc. IMechE Part C: J. Mech. Eng. Sci., 221, 1177-1180, 2007.
- Braun, Dirk Henning: Bionisch inspirierte Gebäudehüllen, Dissertation, Institut für Baukonstruktion Lehrstuhl 2, Stuttgart, 2008.
- Brebbia, C.A.; Collins Ed M.W. (Eds.): Design and Nature II, Wessex Institute of Technology, UK, 2004.
- Brebbia, C.A. (Ed.): Design and Nature III, Comparing Design in Nature with Science and Engineering, Wessex Institute of Technology, UK, 2006.
- Brebbia, C.A. (Ed.): Design and Nature IV, Comparing Design in Nature with Science and Engineering, Wessex Institute of Technology, UK, 2008.
- Clements-Croome, Derek, (Ed.): Intelligent buildings, 2004.
- D'Arcy Thompson; Bonner, John Tyler: Über Wachstum und Form, Suhrkamp, Deutschland, 1983.
- Dietrich, D.; Fodor, G.; Zucker, G.; Bruckner, D. (Eds.) : Simulating the Mind, A Technical Neuropsychanalytical Approach, 2009.
- Gebeshuber, I.C.; Aumayr, M.; Hekele, O.; Sommer, R.; Goesselsberger, C.G.; Gruenberger, C.;

- Gruber, P.; Borowan, E.; Rosic, A.; Aumayr, F.: Bio-Inspired Nanomaterials and Nanotechnology, Bacilli, green algae, diatoms and red blood cells – how nanobiotechnological research inspires architecture, Nova Science Publishers, 2008.
- Gruber, Petra: Biomimetics in Architecture [Architekturbionik] Architecture of Life and Buildings; Dissertation an der TU Wien, 2008.
- Harder, Dean: Arbeits- und Kommunikationsprozesse in der Bionik, in: Brickwedde F. et al. (Ed.): Bionik und Nachhaltigkeit – Lernen von der Natur Berlin, S.123, 2007.
- Head, Peter: The Institution of Civil Engineers Brunel Lecture Series, Brunel Lecture 2008, Peter Head (Arup): Entering the ecological age: the engineer's role, 2008.
- Herzog & De Meuron; Ursprung, Philip (Ed.): Naturgeschichte, Lars Müller Publishers, Baden Switzerland, 2002.
- Hill, Bernd: Naturorientierte Lösungsfindung, Entwickeln und Konstruieren nach biologischen Vorbildern, expert Verlag, Renningen-Mamsheim, 1999.
- Hwang, Irene et al. (Eds.): Verb natures: architectural boogazine, Actar; Architecture Boogazine edition, Barcelona, 2007.
- Ingraham, Catherine: Architecture, Animal, Human: The Asymmetrical Condition, Routledge, London and New York, 2006.
- International House, London: AD Architectural Design Vol 74 No 3, Emergence Morphogenetic Design Strategies John Wiley&Sons Ltd., Chichester, West Sussex, 2004.
- International House, London: AD Architectural Design Vol 76 No 180, Techniques and Technologies in Morphogenetic Design, John Wiley&Sons Ltd., Chichester, West Sussex, 2005.
- Johnson, Steven: Emergence: The Connected Lives of Ants Brains, Cities, and Software, Scribner, 2001.
- Kesel, A.; Zehren, D. (Eds.): Bionik: Patente aus der Natur, Dritter Bionik Kongress Hochschule Bremen, 2007.
- Kesel, A.; Zehren, D. (Eds.): Bionik: Patente aus der Natur, Vierter Bionik Kongress Hochschule Bremen, 2009.
- Klooster, Thorsten (Ed.): Smart Surfaces, Intelligente Oberflächen und ihre Anwendung in Architektur und Design, Birkhäuser, 2009.
- Kolarevic, Branko (Ed.): Architecture in the Digital Age, Design and Manufacturing, Taylor&Francis, New York and London, 2003.
- Lebedev J. S.: Architektur und Bionik, Verlag MIR, VEB Verlag für Bauwesen, Moskau, Berlin, 1983.
- Lynn, Greg: Animate form, Princeton Architectural Press, New York, 1999.
- Museum für Gestaltung Zürich, Sachs Angeli (Ed.): Nature Design, From Inspiration to Innovation,

Lars Müller Publishers, Baden, Switzerland, 2007.

Nachtigall, Werner: Vorbild Natur. Bionik - Design für funktionelles Gestalten, Berlin 1997.

Nachtigall, Werner: Bionik, Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1998.

Nachtigall, W.: Bau-Bionik, Natur, Analogien, Technik, Springer, Berlin, New York, Heidelberg, 2005.

Novak, Marcos: The transphysical city 1996.

[http://www.mat.ucsb.edu/~marcos/Centrifuge\\_Site/MainFrameSet.html](http://www.mat.ucsb.edu/~marcos/Centrifuge_Site/MainFrameSet.html) [2007]

Oosterhuis, K.: Hyperbodies, Towards an E-motive architecture, 2003.

Otto, F. et al.: Natürliche Konstruktionen, Formen und Strukturen in Natur und Technik und Prozesse ihrer Entstehung. Deutsche Verlags-Anstalt GmbH, Stuttgart, 2. Auflage 1985.

Portoghesi, Paolo: Nature and Architecture, Skira editore, Milan, 2000.

Rahim, Ali et al.; International House, London (Hg.): AD Architectural Design 70, Contemporary Processes in Architecture, John Wiley&Sons Limited, Bognor Regis, West Sussex, 6 2000.

Teuffel, P.: Entwerfen adaptiver Strukturen, Lastpfadmanagement zur Optimierung tragender Leichtbaustrukturen Dissertation, Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren Universität Stuttgart, 2004.

### **Wissenschaftliche Artikel**

Ataman, O.; Rogers, J. and Ilesanmi A.: Redefining the Wall: Architecture, Materials and Macroelectronics, International Journal of Architectural Computing 4-4, 2006.

Badarnah, L.; Knaack, U.: Organizational features in leaves for application in shading systems for building envelopes. In: Brebbia, C.A. (Ed.): Proc. of the fourth Design & Nature Conf.: Comparing Design and Nature with Science and Engineering, Southampton, pp. 87-96, 2008.

Brown, A.; Imbabi, M.; Murphy, J.; Peacock, A.: The Transforming Technology of Dynamic Breathing Building, Ecocity World Summit 2008 Proceedings.

Bushan, Barat: Biomimetics: lessons from nature - an overview, in: Philosophical Transactions of Royal Society 367, 2009.

Craig, S.; Harrison, D.; Cripps, A.; Knott, D.: BioTRIZ Suggests Radiative Cooling of Buildings Can Be Done Passively by Changing the Structure of Roof Insulation to Let Longwave Infrared Pass, Journal of Bionic Engineering 5, pp. 55-66, 2008.

Fernández John E.: Materials for Aesthetic, Energy-Efficient, and Self-Diagnostic Buildings, SCIENCE VOL 315 30 MARCH 2007.

Gebeshuber, Ille C. und Drack, Manfred: An attempt to reveal synergies between biology and engineering mechanics. Proc. IMechE Part C: J. Mech. Eng. Sci., 222, 1281-1287, 2008.

- Gebeshuber, I.C.; Gruber, P.; Drack, M.: A gaze into the crystal ball – biomimetics in the year 2059, Proc. IMechE Vol. 223 Part C: J. Mechanical Engineering Science, Special Issue Paper, 2010.
- Gruber, P.; Imhof, B.: Transformation: Structure/space studies in bionics and space design, in: Acta Astronautica Volume 60, Issues 4-7, 561-570, 2006.
- Gruber, P.; Imhof, B.; Häuplik, S.; Özdemir, K.; Waclaviceka, R.; Perino, M.A.: Deployable structures for a human lunar base, in: Acta Astronautica Volume 61, Issues 1-6, 484-495, 2007.
- Gruber, Petra: The signs of life in architecture, SEB Glasgow, IOP Journal Bioinspiration and Biomimetics, 2007.
- Gruber, Petra: transfer of nature to architecture - analysis of case studies in: Biological Approaches to Engineering, Institute of Sound and Vibration Research, BAEC proceedings 2008, S. 58 - 61, 2008.
- Gruber, Petra: Ideas for Space - Bioinspired Architectural Design, in: Kesel, A. et al.: Bionik: Patente aus der Natur, Bionik-Innovations-Centrum B-I-C – Bremen 2009.
- Imbabi M.S., Peacock A.: Smart Breathing Walls for Integrated Ventilation, Heat Exchange, Energy Efficiency & Air Filtration <http://www.cibse.org/pdfs/8cimbabi.pdf> [12/2009]
- Klassen, Filiz: Malleable Matter and Atmospheric Substances, Ambience 08: Smart Textiles, International Scientific conference in Borås, Sweden, June 2-3, 2008.
- Laver, J.; Clifford, D.; Vollen, J.: High performance masonry wall systems: principles derived from natural analogues, in: Design and Nature IV, p234-252, 2008.
- Milwich, M.; Speck, T.; Speck, O.; Stegmaier, T.; Planck, H.: Biomimetics and technical textiles: solving engineering problems with the help of nature's wisdom, American Journal of Botany 93, p.1455–1465, 2006.
- Mulder, H.M.; Wagemans, L.A.G.: An Adaptive Structure Controlled by Swarm Behaviour, IASS Symposium Montpellier, 2004.
- Olson, Keith; Bonan, Gordon; Feddema, Johannes: The Effects of White Roofs on Urban Temperature in a Global Climate Model, Geophysical Research Letters, 2010.
- Pronk, A.; Maffei, R.; Martin, H.: Research on the combination of water and membranes as a structural building material. Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium Valencia 2009.
- Speck, T.; Harder D.; Milwich, M.; Speck, O. and Stegmaier, T.: Die Natur als Innovationsquelle, in Technische Textilien (ed. Knecht P.), Deutscher Fachverlag, Frankfurt, Germany, p.83-101, 2006.
- Speck, Thomas et al; Self-repairing membranes for pneumatic structures, in: Proceedings of the Fifth Plant Biomechanics Conference, 2006.

Stach, E.: Nature versus Technology – Performance Building Skins Inspired by Nature, Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium Valencia 2009.

Trask, R. et al.: Enabling Self-Healing Capabilities – A Small Step to Bio-Mimetic Materials, ESA, 2005.

Turner, J.S.; Soar, R.C.: Beyond biomimicry: What termites can tell us about realizing the living building. First International Conference on Industrialized, Intelligent Construction (I3CON), Loughborough University, 2008.

Vattam, S.; Helms, M.; Goel, A.: Biologically Inspired Innovation in Engineering Design: A Cognitive Study. Technical Report 20 S.S. Vattam, M.E. Helms, A.K. Goel, GIT-GVU-07-07, Graphics, Visualization and Usability Center, Georgia Institute of Technology, 2007.

Vincent Julian F.V. et al.: Biomimetics – its practice and theory. Journal of the Royal Society Interface 2006.