

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Bionik
Bionische Strukturoptimierung im Rahmen eines
ganzheitlichen Produktentstehungsprozesses

VDI 6224
Blatt 3 / Part 3

Biomimetics
Integrated product development process
for biomimetic optimisation

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
1 Anwendungsbereich.....	3	1 Scope.....	3
2 Normative Verweise.....	4	2 Normative references.....	4
3 Begriffe.....	5	3 Terms and definitions.....	5
4 Abkürzungen.....	6	4 Abbreviations.....	6
5 Grundlagen der bionischen Optimierung.....	6	5 Basic principles of biomimetic optimisation.....	6
5.1 Leichtbaupotenziale der Natur.....	6	5.1 Potential of lightweight designs in nature.....	6
5.2 Technische Methoden.....	8	5.2 Technical methods.....	8
6 Bionische Optimierung als ganzheitlicher Produktentstehungsprozess.....	12	6 Biomimetic optimisation as an integrated product development process.....	12
6.1 Schritt 1 – Bauteilanalyse.....	13	6.1 Step 1 – Component analysis.....	13
6.2 Schritt 2 – Screening der Natur, Analyse und Abstraktion.....	16	6.2 Step 2 – Screening nature, analysis, and abstraction.....	16
6.3 Schritt 3 – Umsetzung in Bauteilentwürfe.....	18	6.3 Step 3 – Implementation in component designs.....	18
6.4 Schritt 4 – Optimierung der Bauteilentwürfe.....	19	6.4 Step 4 – Optimisation of the component designs.....	19
6.5 Schritt 5 – Finale Bewertung.....	21	6.5 Step 5 – Final evaluation.....	21
7 Anwendungsbeispiele.....	22	7 Application examples.....	22
7.1 Offshore-Gründungsstruktur.....	23	7.1 Offshore foundation structure.....	23
7.2 B-Säule im Automobilbau.....	26	7.2 B-pillar in the automobile manufacturing.....	26
7.3 Bionisch optimiertes Fahrrad.....	26	7.3 Biomimetically optimised bike.....	26
8 Einfluss von Fertigungsverfahren auf die Optimierungsgüte.....	29	8 Influence of manufacturing processes on the optimisation quality.....	29
Schrifttum.....	30	Bibliography.....	30
Anhang Hinweise zu gesetzlichen Schutzrechten.....	32	Annex Information on intellectual property rights.....	32

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

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

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

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/6224.

Einleitung

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

Die grundlegende Motivation für die Übertragung von biologischen Lösungen auf technische Anwendungen besteht darin, dass im Lauf von ca. 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 ihren spezifischen Besonderheiten weitgehend beschrieben. Im Sinne der Bionik stehen sie als umfangreicher Ideenpool für technische Problemlösungen in unterschiedlichsten Anwendungsbereichen zur Verfügung.

Ein wichtiger Anwendungsfall in Natur und Technik ist der Strukturleichtbau. Er beschäftigt sich mit der optimalen Auslegung von Bauteilen unter Berücksichtigung der jeweils herrschenden Randbedingungen. Häufig zu optimierende Eigenschaften sind das Gewicht, die Stabilität gegenüber verschiedenen Versagensarten oder die Lebensdauer.

Die biologische Grundlagenforschung zeigt, dass die Schalen von Diatomeen (Kieselalgen) und Radiolarien (Strahlentierchen) hohen mechanischen Belastungen ausgesetzt sind. Aufgrund ihrer Lebensweise besteht für diese einzelligen Planktonorganismen zugleich die Notwendigkeit, ihre Schalen besonders leicht zu bauen. Bereits um 1900 fand eine Übertragung der Baupläne dieser Organismen in technische Anwendungen statt, als die Formensprache insbesondere der Radiolarien die

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 (www.vdi.de/richtlinien) specified in the VDI Notices.

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/6224.

Introduction

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

The basic motivation behind the transfer of biological solutions to technical applications is the assumption that optimised biological structures have been developed in the course of 3,8 billion years of evolution whose use in technical developments could also be significant and compelling. To date, over 2,5 million different species have been identified and described for the most part together with their specific characteristics. In terms of biomimetics, they represent a vast pool of ideas for finding solutions to technical problems in a wide range of different areas of applications.

The creation of lightweight structures is an important application in nature and in technology. It deals with the ideal design of components while taking the existing boundary conditions into account. Properties frequently requiring optimisation include the weight, the resistance to various types of failures, or the lifespan.

Basic research in biology has shown that the shells of diatoms and radiolarians are subject to high mechanical stresses. Due to the way they live, these single-celled plankton organisms need to build especially light shells. As early as 1900, the construction plans of these organisms were being transferred to technical applications. At this time, the design vocabulary of radiolarians in particular began to have an influence on ornamentation and architecture [1]. In the middle of the 20th century,

Ornamentik und Architektur beeinflusste [1]. Mitte des 20. Jahrhunderts mündeten richtungsweisende Untersuchungen von Sir *Buckminster Fuller* in architektonischen Konstruktionen sphärischer Kuppeln, den geodätischen Domen. Von 1984 bis 1990 wurde in dem Sonderforschungsbereich „Natürliche Konstruktionen – Leichtbau in Architektur und Natur“ (SFB 230) der Deutschen Forschungsgesellschaft (DFG) die Anwendung von Erkenntnissen natürlicher Konstruktionsweisen für den Leichtbau untersucht. Schließlich wurde die Idee entwickelt, den Bauplan der Schalenstrukturen von Diatomeen und Radiolarien systematisch und in enger Anlehnung an die evolutiven Mechanismen für technische Entwicklungen einzusetzen [2], und patentiert (vgl. Anhang).

Durch eine kontinuierliche Weiterentwicklung dieser Idee und durch eine enge Verknüpfung zwischen der biologischen Grundlagen- und der industrienahen Anwendungsforschung konnte ein systematischer Produktentstehungsprozess entwickelt werden – der ELiSE[®]-Prozess (Evolutionary Light Structure Engineering). Mit diesem können Ingenieure optimierte Bauteile im Strukturleichtbau entwickeln.

ELiSE[®] beruht überwiegend auf dem biologischen Vorbild der Schalen von Diatomeen und Radiolarien. Darüber hinaus greift ELiSE[®] auf den Evolutionsgedanken an sich zurück. Dieser hält in Form von etablierten Optimierungsmethoden aus den Ingenieurwissenschaften Einzug in den ELiSE[®]-Prozess. Zusammenfassend ist ELiSE[®] ein Produktentstehungsprozess, der sich durch einen ganzheitlichen Optimierungsansatz für den Strukturleichtbau auszeichnet. Einige der in ELiSE[®] verwendeten Optimierungsmethoden und Teilaspekte sind bereits in DIN ISO 18459 beschrieben.

In dieser Richtlinie dient ELiSE[®] als anschauliches Beispiel für einen bionischen Produktentstehungsprozess. In dieser Form soll ELiSE[®] als eine Erweiterung der klassischen Praxis des leichtbaugerechten Konstruierens im Strukturleichtbau angesehen werden. Patentrechtliche Hinweise sind dem Anhang zu entnehmen.

1 Anwendungsbereich

Die Richtlinie legt die Vorgehensweise bei der Produktentwicklung und Optimierung von Leichtbaustrukturen nach dem Vorbild der Leichtbauskelette aquatischer Organismen im Rahmen eines definierten Produktentstehungsprozesses fest. Dabei wird der gesamte Entwicklungs- und Optimierungsprozess mit seinen Einzelschritten, das heißt Bauteilanalyse, Screening der biologischen Vorbil-

the pioneering studies of Sir *Buckminster Fuller* lead to architectural constructions of spherical domes, the geodesic domes. From 1984 to 1990, the Special Research Area “Natural Structures – Lightweight Construction in Architecture and Nature” (SFB 230) of the German Research Foundation (DFG) studied applications of the knowledge of natural constructions in lightweight design. Eventually, the idea of systematically using the structural designs of the shells of diatoms and radiolarians in technical developments modelled closely on evolutionary mechanisms was developed [2] and patented (cf. the Annex).

Through the continuous development of this idea and by closely linking basic biological research and applied industrial research, a systematic product development process was developed that is referred to as the Evolutionary Light Structures Engineering process (ELiSE[®]). This process allows engineers to develop optimised components in lightweight structures.

ELiSE[®] is based primarily on the biological model of the shells of diatoms and radiolarians. In addition, ELiSE[®] also integrates the theory of evolution itself into the process. The theory is integrated into the ELiSE[®] process in the form of established optimisation methods from the engineering sciences. Overall, ELiSE[®] is a product development process characterised by an integrated approach to optimisation in the field of lightweight structural design. Some of the optimisation methods and aspects used in ELiSE[®] have already been described in DIN ISO 18459.

In this standard ELiSE[®] is used as an illustrative example of a biomimetic product development process. In this regard, ELiSE[®] should be considered an extension of the classic field of lightweight structural design. Information on patent rights can be found in the Annex.

1 Scope

The standard defines the procedures for the development and optimisation of products with lightweight structures based on the model of the light skeletons of aquatic organisms in the framework of a defined product development process. It describes the entire development and optimisation process including the individual steps, i.e. component analysis, the screening of biological models,

der, Entwicklung von Entwürfen, Optimierung der Entwürfe, finale Bewertung und technische Umsetzung, beschrieben. Der Optimierungsprozess nutzt das Potenzial der Vielfalt natürlicher Leichtbaustrukturen (morphologische Biodiversität) und verbindet dieses Potenzial mit den Prinzipien von Evolution und Wachstum. Die Richtlinie definiert einen ganzheitlichen Produktentstehungsprozess im Strukturleichtbau in Anlehnung an den ELiSE[®]-Prozess. Sie kombiniert bionisches Arbeiten sowie bionische Produkte und Prozesse mit den klassischen Formen der Entwicklung und Konstruktion. Das Verfahrensprinzip ist grundsätzlich auf andere technische Problemstellungen und Organismen übertragbar.

Die Richtlinie zeigt dem Anwender, wie im Rahmen eines ganzheitlichen Produktentstehungsprozesses aus mehreren biologisch-inspirierten Konzepten eine optimierte und den technischen Anforderungen entsprechende Leichtbaukonstruktion entwickelt werden kann. Dabei kann der Anwender die bionischen Optimierungsmethoden als effektives Werkzeug zur Erhöhung von Lebensdauer und Verringerung des Gewichts von Bauteilen nutzen.

Die Richtlinie konzentriert sich hauptsächlich auf die Anforderungen an den Leichtbau, insbesondere im Sinne von Strukturoptimierung hinsichtlich Steifigkeit und Spannungsminimierung. Dies bedeutet, dass unter vorher definierten technischen Randbedingungen und, wenn gegeben, Fertigungsrestriktionen eine Bauteilkonstruktion derart erfolgt, dass alle gegebenen Lastfälle mit möglichst wenig Material ertragen werden können. Gleichzeitig erfolgt die Konstruktion in der Form, dass eine homogene Spannungsverteilung vorherrscht. Zentrale Randbedingungen sind statisch und dynamisch wirkende Kräfte sowie Crashlastfälle.

Die Richtlinie richtet sich an Ingenieure unterschiedlichster Branchen und Fachrichtungen in ihren Funktionen als Projektmanager, Produktentwickler, Prozessoptimierer, Konstrukteur oder Berechnungsingenieur, sowie an alle mit der Konstruktion und Beurteilung lasttragender Strukturen Betrauter.

2 Normative Verweise

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieser Richtlinie erforderlich:

- DIN ISO 18459:2016-08 Bionik; Bionische Strukturoptimierung (ISO 18459:2015)
- VDI 6220 Blatt 1:2012-12 Bionik, Konzeption und Strategie, Abgrenzung zwischen bionischen und konventionellen Verfahren/Produkten
- VDI 6224 Blatt 1:2012-06 Bionische Optimierung; Evolutionäre Algorithmen in der Anwendung

the development and optimisation of designs, final evaluation, and technical implementation. The optimisation process utilises the potential existing in the diversity of natural lightweight structures (morphological biodiversity) and connects this potential to the principles of growth and evolution. The standard defines an integrated product development process for the design of lightweight structures based on the ELiSE[®] process. It combines the application of biomimetics as well as biomimetic products and processes with the classic forms of design and construction. The principle of the process can also be applied in general to other technical problems and organisms.

The standard shows users how to design an optimised lightweight structure based on multiple biologically inspired concepts that meets the technical requirements in the framework of an integrated product development process. The user can apply biomimetic optimisation methods in this case as effective tools for increasing the lifespan and reducing the weight of components.

The standard concentrates primarily on the requirements on the lightweight design, and in particular in the sense of structural optimisation in terms of stiffness and the minimisation of mechanical stresses. This means that a component subject to predefined technical boundary conditions and, when present, manufacturing restrictions can be designed so that all given load cases can be handled using as little material as possible. At the same time, the component is designed so that the distribution of stresses is predominately homogeneous. Central boundary conditions include the static and dynamic forces arising as well as crash load cases.

The standard is directed towards engineers in a variety of different branches and disciplines in their function as process managers, product developers, process optimisers, and design or calculation engineers as well as towards everyone involved in the design, construction, and assessment of load-bearing structures.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this standard:

- DIN ISO 18459:2016-08 Biomimetics; Biomimetic structural optimization (ISO 18459:2015)
- VDI 6220 Part 1:2012-12 Biomimetics; Conception and strategy; Differences between biomimetic and conventional methods/products
- VDI 6224 Part 1:2012-06 Biomimetic optimization; Application of evolutionary algorithms