

# Schlussbericht

**Auftragnehmer:** Max-Planck-Institut für Metallforschung  
Stuttgart, Dr. Stanislav N. Gorb      **Kennzeichen:** 01RS0411

**Auftragsbezeichnung:** Verbundvorhaben Mitwirkung am Bionik-Kompetenz-Netzwerk B/OKON Phase II

**Laufzeit des Auftrags:** 16.06.2004 – 15.06.2007

**Berichtszeitraum:** 16.06.2004 – 15.06.2007

---

## Inhalt

<b>I. Kurzdarstellung</b>	03
I.1. Aufgabenstellung	03
I.1.1. Forschungsziel	03
I.1.2. Wissenschaftlich-technische Arbeitsziele	03
I.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	03
I.3. Planung und Ablauf des Vorhabens	04
I.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	04
I.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	05
<b>II. Eingehende Darstellung</b>	06
II.1. Erzieltes Ergebnis	06
II.1.1. Wichtigste wissenschaftlich-technische Ergebnisse und andere wesentliche Ereignisse	06
II.1.1.1. Ereignisse	06
II.1.1.2. Beiträge zur grundlegenden Netzwerkarbeit	07
II.1.1.2.1. Beiträge zur thematischen Facharbeit	07
II.1.1.2.2. Internetauftritt <a href="http://www.flyfoot.de">www.flyfoot.de</a>	08
II.1.1.2.3. Teilnahme an Konferenzen, Kongresse, Workshops, Meetings	08
II.1.1.2.4. Organisation von Workshops, Meetings, Symposien, Sektionen	10
II.1.2. Bionik-relevante wissenschaftliche Ergebnisse/Projekte; Querverbindungen	10
II.1.2.1. Projekte	10
II.1.2.2. Gastwissenschaftlicher Austausch und projektfreie Kooperation	11
II.1.3. Öffentlichkeitsarbeit/Information/Bildung	12
II.1.3.1. Medien	13
II.1.3.2. Veranstaltungen/Ausstellungen/Messen	13
II.1.3.3. Information und Bildung	14
II.1.4. Industriekontakte	16
II.2. Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit	17
II.2.1. Nutzen für verschiedene Anwendungsgruppen/-industrien	17
II.2.2. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten	17
II.2.3. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit	17
II.3. Während des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	17
II.4. Veröffentlichungen	18
II.4.1. Wissenschaftliche Publikationen	18
II.4.2. Sekundärliteratur (Auswahl)	21

## **Anhang**

Anhang 1: Ausgewählte Public Relation Nachweise

Anlage 1.1: Pressemitteilung zum Wissenschaftspreis 2005

Anlage 1.2: Pressemitteilung zu Antihaftoberflächen für Insekten

Anlage 1.3: Pressemitteilung zu erstmalig entdeckten Seidenfäden an Spinnenfüßen

Anlage 1.4: Pressemitteilung zu (Käferfuß-) bio-inspiriertem Haftmaterial

Anlage 1.5: Pressemitteilung über MOU in NIMS NOW International

Anlage 2: Kongresse, Konferenzen, Symposien, Meetings, Workshops etc.

Anlage 2.1: Teilnahme an Kongressen usw.

Anlage 2.2: Symposium „Contact Phenomena in Materials and Biological Systems“, Programm

Anlage 2.3: Japanisch-Deutscher Workshop “Entomomimetik”, Protokoll

Anlage 2.4: Flyer zum Workshop im Rahmen Der DTI Global Watch Mission Visit

Anlage 3: Wissenschaftlicher Austausch am *B/OKON*-Standort Stuttgart

## **I. Kurzdarstellung**

### **I.1. Aufgabenstellung**

Das übergreifende Ziel des Vorhabens bestand darin, auf der Basis der herausragenden Beiträge des Auftragnehmers auf dem Gebiet der Materialwissenschaft biologischer Oberflächen ein Zentrum aufzubauen, in dem die fachliche Kompetenz für die Tribologie biologischer und biologisch inspirierter Oberflächen gesammelt, gebündelt und nachhaltig etabliert werden kann. Mit dieser Motivation sollte der Knotenpunkt das *B/OKON* Bionik-Kompetenznetzwerk bereichern, forcieren und konsolidieren.

Ein weiteres Anliegen bestand darin, die Innovationskraft der Bionik in die Umsetzung neuer Produkte und Verfahren insbesondere auch unter den Aspekten des Umweltschutzes einzubinden. Langfristig kann Bionik somit als ein integratives und innovatives Werkzeug zur Entwicklung von Produkten bei Firmen verankert werden.

#### **I.1.1. Forschungsziel**

Ziel unserer Forschung ist es, das mechanische Verhalten von Materialien im Mikrometer- und Submikrometerbereich zu verstehen. Vor diesem Hintergrund sind die Bestimmung der mechanischen Eigenschaften und quantitative Analysen zur Mikrostruktur, einschließlich umfangreicher Untersuchungen mittels in situ Transmissions-Elektronen-Mikroskopie (TEM) unumgängliche, wissenschaftliche Methoden. Die experimentellen Ergebnisse werden mit Modellbetrachtungen und Computersimulationen verglichen. Die so gewonnenen Einblicke dienen der Entwicklung und Synthese verbesserter Werkstoffe.

Eine grundlegende Fragestellung besteht in der Übertragbarkeit materialwissenschaftlicher Konzepte und Messmethoden vom Makro- in den Mikro- und Nanobereich biologischer Strukturen.

Unsere Arbeiten besitzen Grundlagencharakter. Sie orientieren sich aber an praktischen Problemen in Materialwissenschaft und Mikrotechnologie.

#### **I.1.2. Wissenschaftlich-technische Arbeitsziele**

In einer bisher noch nicht gekannten Bandbreite -quer durch die biologischen und technischen Disziplinen- sollte im Rahmen des Vorhabens eine konstruktive transdisziplinäre Zusammenarbeit organisiert werden, um Verbindendes, Ähnlichkeiten, Gemeinsamkeiten und mögliche Synergien aufzudecken. Die Herausforderung für alle Beteiligten aus Forschung, Wissenschaft, Bildung und Industrie bestand darin, unser Wissen mit dem evolutionären Know-How der Natur zu vereinen und die Synthese erfolgreicher, umweltkonformer Techniken zu realisieren.

Das Verstehen der Zusammenhänge zwischen Ultrastruktur und Reibungseigenschaften natürlicher Systeme steht am Anfang der Entwicklung neuartiger, biologisch inspirierter Materialoberflächen, die einer technischen Anwendung zugänglich gemacht werden können.

### **I.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde**

Das Bionik-Kompetenznetzwerk *B/OKON* wurde 2001 mit dem Ziel gegründet, die Potentiale der Bionik in Industrie und Wissenschaft aufzuzeigen und weiter auszuschöpfen. Nach einer ersten dreijährigen Förderphase mit 6 Mitgliedern, folgte 2004-2007 eine weitere im Rahmen des Verbundvorhabens *B/OKON* II. Dabei sollten eine umfassende Informationsinfrastruktur geschaffen und die wichtigsten Arbeitsgruppen im Bereich Bionik in Deutschland gebündelt werden. Vor diesem Hintergrund ist die Mitwirkung des Auftragnehmers im *B/OKON* zu betrachten.

Das Max-Planck-Institut für Metallforschung beherbergt acht Abteilungen. Die verfolgten Fachrichtungen am Institut sind Biologie (Zoologie, Botanik, Anatomie, Physiologie, Zellbiologie, Biophysik), Physik (Kontaktmechanik, Grenzflächen, Haftung, Reibung, Verschleiß, Benetzbarkeit, dünne Schichten, Elektromigration), Werkstoffwissenschaften (Materialwissenschaft, Mikrotechnologie, Metallographie, Verbundwerkstoffe, zelluläre Materialien, Fasersysteme, Ermüdung, mechanische Eigenschaften in Mikromaterialien), Bionik

(Struktur-, Konstruktions-, Bewegungs-, Geräte-, Sensorbionik), Prüfmethode (Mechanische Spektroskopie, Mikrozug-Apparatur, Hochgeschwindigkeitsvideoanalyse, Rasterelektronenmikroskopie [REM], Transmissionselektronenmikroskopie [TEM], Weißlichtinterferometrie, Profilometrie, hochempfindliche Härteeindruckmethoden (Nanoindentation), Rasterkraftmikroskopie [AFM], Modellierung und Computersimulation.

Die Abteilung Dünnschicht- und Biosysteme vereint Mitarbeiter aus den Fachbereichen Biologie, Chemie, Physik und Werkstoffwissenschaften. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit fördert innovative effiziente Forschungs- und Entwicklungsarbeit. Themenschwerpunkte und Kernkompetenzen der Evolutionary Biomaterials Group liegen in

- der Zoologie und Evolutionsbiologie (vergleichende Untersuchungen der funktionellen Oberflächen bei Tieren),
- der biologischen Mikro- und Nanotribologie (Reibung und Adhäsion der Oberflächen) und
- der Entwicklung künstlicher Oberflächen mit definierten tribologischen Eigenschaften.

Bionische Kompetenzfelder tangieren unter anderem

- Strukturbionik (Flügelgelenke und Federsysteme/Resilin bei Insekten),
- Konstruktionsbionik (Saugnäpfe von Weichtieren und technische Sauggreifer; Mikrohaken bei Tieren und Pflanzen als technische Klettverschlüsse),
- Bewegungsbionik (Insektenlokomotion), Gerätebionik (Mikrogreifer nach dem Bauprinzip der Natur) und
- Sensorbionik (Aufbau, Physiologie und Mechanik der Mechanosensoren bei Insekten und Spinnen).

### I.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

**Kontinuierliche Aufgaben** bestanden im Ausbau der Industriekontakte und der Wahrnehmung einer Beraterfunktion bezüglich innovativer Lösungsansätze zu adhäsiven und reibungsaktiven Oberflächen.

Laufende **Forschungsarbeiten** sollten fortgesetzt werden, insbesondere:

- mikrostrukturelle Untersuchungen,
- eine Datenbank biologischer Oberflächen,
- die quantitative Beschreibung der Oberflächenbeschaffenheit,
- mechanische Untersuchungen in makroskopischem und mikroskopischem Maßstab,
- Reibungs- und Adhäsionsmessungen in makroskopischem und mikroskopischem Maßstab und
- die Bestimmung der Adhäsionseigenschaften künstlicher Oberflächen.

**Leistungen für das Netzwerk** waren folgende geplant:

- Beratung zu tribologischen Bionik-Fragen;
- Systematisierung der Kenntnisse über biologische Oberflächen;
- Suche geeigneter Experten und Projektpartner;
- Öffentlichkeitsarbeit, universitäre Ausbildung, Weiterbildung, Bionik an Schulen;
- die Einwerbung von Drittmitteln für innovative F&E-Vorhaben;
- Beteiligung am Aufbau eines internationalen Bionik-Verbundes und
- die Gestaltung einer Homepage im Internet.

Die geplanten **Meilensteine** des Projektes lauteten

- (1) allgemeine Netzwerkaufgaben (Internetportal, Zuarbeiten, Webseite Stuttgart);
- (2) die Mitarbeit in den B/OKON-Fachgruppen sowie
- (3) die Beteiligung an Ausstellungen, Messen und Kongressen.

### I.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Im Zuge der Evolution entwickelten sich in biologischen Systemen anpassungsfähige tribologische Strukturen, deren Funktionsweisen bis zum heutigen Zeitpunkt nicht vollständig geklärt sind. Vielfältige biologische Oberflächen übernehmen eine Vielzahl an mechanischen

Funktionen: Reibung, Anti-Reibung und Haftung zwischen körpereigenen Segmenten oder auf verschiedenen Substraten, andere Funktionen wie z. B. Körperreinigung oder Lauterzeugung bis hin zur Steigerung aerodynamischer Leistungen. Für jeweilige Funktionen werden optimierte Oberflächenstrukturen verwendet, deren Größenordnungen bis in den Mikron- und Submikronbereich reichen.

Die harte Oberhaut (Kutikula) der Insekten bildet diese Strukturen aus. Sie kann als Verbundmaterial verstanden werden, in dem Chitinfasern in einer Protein-Matrix eingebettet sind. Die Kutikula dient als multifunktionaler Baustein. Längere kutikuläre Fortsätze verfügen über Gelenke, um sie beweglich zu halten. Viele spezialisierte kutikuläre Mikrostrukturen besitzen keine Gelenke und entstehen aus einer einzigen epidermalen Zelle heraus.

Mit den Arbeiten zur technischen Umsetzung haftender und wieder lösbarer, mikro- und nanostrukturierter biologisch inspirierter Oberflächen stellt die Bionik gegenwärtig einen Schwerpunkt am Institut dar.

Die industrielle Verwendung von Materialien mit bestimmten Reibungs- und Adhäsionseigenschaften reicht vom Klettverschluss bis zum Autoreifen. Allgemeine Gesetzmäßigkeiten und die strukturellen Eigenschaften der von uns untersuchten Systeme werden in einer Datenbank registriert und systematisiert. Viele der im Projekt als Modellsysteme untersuchten biologischen Systeme bieten optimierte Kombinationen aus Oberflächenstrukturen und tribologischen Eigenschaften.

#### Ausgewählte Literatur:

##### *Bücher*

Gorb S. N. (2001) Attachment devices of insect cuticle. Dordrecht et al., Kluwer, 305pp.

Scherge M., Gorb S. N. (2001) Biological micro- and nanotribology. Berlin et al., Springer, 300pp.

##### *Artikel*

Gorb S. N. (1998) The design of the fly adhesive pad: distal tenent setae are adapted to the delivery of an adhesive secretion. Proc. Roy. Soc. London B 265:747-752.

Gorb S. N. (1999) Ultrastructure of the thoracic dorso-medial field (TDM) in the elytra-to-body arresting mechanism in tenebrionid beetles (Coleoptera: Tenebrionidae). J. Morphol. 240:101-113.

Gorb S. N. (1999) Evolution of the dragonfly head-arresting system. Proc. Roy. Soc. London B 266:525-535.

Gorb S. N., Scherge, M. (2000) Ultrastructural architecture and mechanical properties of attachment pads in *Tettigonia viridissima* (Orthoptera, Tettigoniidae). J. Comp. Physiol. A 186:821-831.

Gorb S. N., Popov V. L. (2002) Probabilistic fasteners with parabolic elements: biological system artificial model and theoretical considerations. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A 360:211-225.

Gorb S. N., Gorb E. V., Kastner V. (2001) Scale effects on the attachment pads and friction forces in syrphid flies (Diptera, Syrphidae). J. Exp. Biol. 204:1421-1431.

Scherge, M., Gorb S. N. (2000) Microtribology of biological materials. Tribology Letters 8:1-7.

Voetsch W., Nicholson R., Müller R., Stierhof Y-D., Gorb S., Schwarz U. (2002) Chemical composition of the attachment pad secretion of the locust *Locusta migratoria*. Insect Biochem. Mol. Biol. 32:1605-1613.

## **1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Es besteht ein weitläufiges Netzwerk bedeutender Zusammenarbeit mit Firmen (z. B. 3M, Tesa, Binder, Velcro, DuPont, Schmalz, Recticel) und zahlreichen Instituten im In- und Ausland.