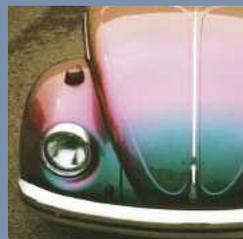
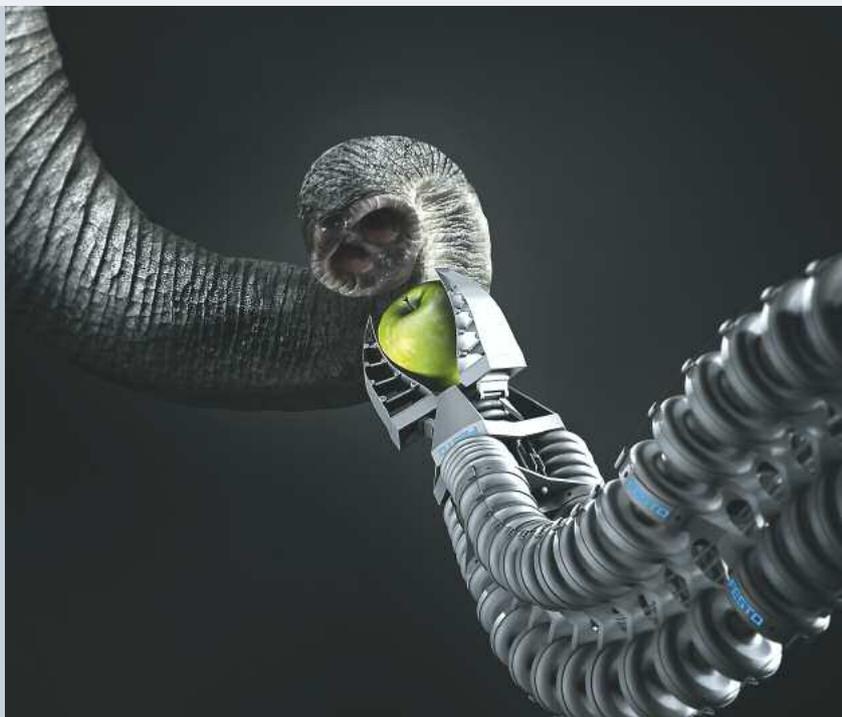




Nanotechnologie in der Natur - Bionik im Betrieb



An **Hessen** führt kein Weg vorbei.

Nanotechnologie in der Natur - Bionik im Betrieb

Band 20 der Schriftenreihe
der Technologieline Hessen-Nanotech

Impressum

Nanotechnologie in der Natur - Bionik im Betrieb

Band 20 der Schriftenreihe der Technologielinie
Hessen-Nanotech des Hessischen Ministeriums
für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung

Erstellt von:

Dr. Wolfgang Luther
VDI Technologiezentrum GmbH
Zukünftige Technologien Consulting
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf

In Kooperation mit:

Dr. Heike Beismann
Dr. Heike Seitz
VDI-Gesellschaft Technologies of Life Sciences
Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf

Redaktion:

Sebastian Hummel, Susanne Sander
(Hessisches Ministerium für Wirtschaft,
Energie, Verkehr und Landesentwicklung)
Alexander Bracht, Markus Lämmer
(Hessen Agentur, Hessen-Nanotech)

Herausgeber:

Hessen Trade & Invest GmbH
Konradinerallee 9
65189 Wiesbaden
Telefon 0611 95017-8326
Telefax 0611 95017-8620
www.htai.de

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und die Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in der Veröffentlichung geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit der Meinung des Herausgebers übereinstimmen.

© Hessisches Ministerium für Wirtschaft,
Energie, Verkehr und Landesentwicklung
Kaiser-Friedrich-Ring 75
65185 Wiesbaden
www.wirtschaft.hessen.de

Vervielfältigung und Nachdruck - auch auszugsweise - nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung.

Gestaltung: Theißen-Design, Lohfelden
Druck: A&M Service GmbH, Elz

www.hessen-nanotech.de

1. Auflage August 2011
2., unveränderte Auflage Januar 2015



Quelle: Festo

Abbildungen Cover

oben: Festo

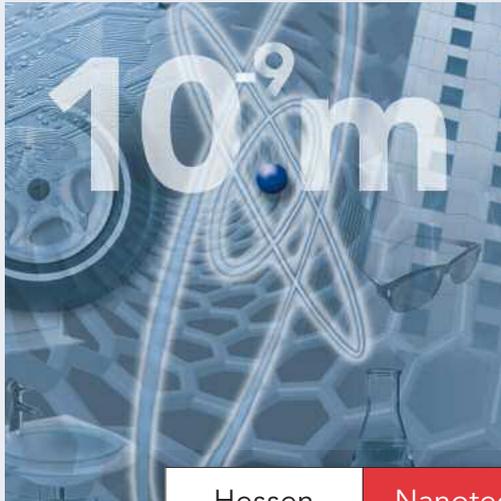
unten links: Plant Biomechanics Group Freiburg

unten Mitte: Dupont Deutschland GmbH

unten rechts: Claudia Blüm, Thomas Scheibel

Inhalt

Vorwort	3
1 Bionik und Materialtechnologie	4
1.1 Grundlagen	4
1.2 Lernen von der Natur – Konzeption und Strategie für bionische Innovationen	6
1.3 Motivation für Unternehmen zur Nutzung bionischer Verfahren	8
1.4 Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz	8
2 Bionische Lösungsansätze für technische Problemstellungen	9
2.1 Bionische Oberflächensysteme	9
2.2 Materialien und Bauteile	23
2.3 SelbstX-Eigenschaften	31
2.4 Leichtbau und Architektur	33
2.5 Robotik	36
2.6 Bionische Sensorik	38
2.7 Sonstige Anwendungen	39
3 Praxisbeispiele mit Bezug zu Hessen	40
3.1 Umweltschonende Antifoulinganstriche	40
3.2 Impulse aus der Natur	42
3.3 Automobiler Leichtbau durch Anwendung der Bionik	44
3.4 Molekulare Simulation von Grenzflächen: Bionik auf molekularer Ebene?	46
3.5 Bionisch-adaptive Architektur: Molekulare Mechanismen als Vorbild	48
3.6 Bionik im Bauwesen	50
4 Kompetenzträger und Netzwerke auf nationaler / internationaler Ebene	52
4.1 VDI-Gesellschaft Technologies of Life Sciences (VDI-TLS)	52
4.2 Biokon und Biokon international	54
4.3 Fachausschuss „Bionik und bioinspirierte Materialien“ der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde (DGM)	55
5 Literatur und weiterführende Informationen	56
Schriftenreihe Hessen-Nanotech	57



Technologielinie Hessen-Nanotech

Die Technologielinie Hessen-Nanotech des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung bündelt und koordiniert die Aktivitäten des Landes Hessen im Bereich der Nano- und Materialtechnologie sowie der angrenzenden Felder der Oberflächentechnologie, der Mikrosystemtechnologie und der Photonik.

Die bei der landeseigenen Wirtschaftsförderungsgesellschaft Hessen Trade & Invest GmbH angesiedelte Technologielinie hat das Ziel, die Wettbewerbsfähigkeit hessischer Technologie- und Dienstleistungsunternehmen weiter zu stärken.

Dazu werden Kompetenzen, Erfahrungen und Potenziale des Wirtschaftssektors dargestellt und weiterentwickelt. Eine wichtige Rolle spielt dabei die Vernetzung von Technologieanbietern und -anwendern.

Aufgaben der Technologielinien sind auch das Technologie- und Standortmarketing, die Organisation des Informationsaustauschs und die Informationsvermittlung sowie die Förderung der Netzbildung.

www.hessen-nanotech.de

Vorwort



Die Natur ist ein großer Innovator. Seit 3,8 Milliarden Jahren entwickelt und optimiert sie unermüdlich biologische Strukturen, Prozesse, Materialien und Funktionen, um das Leben auf der Erde den stetig wechselnden Umweltbedingungen anzupassen.

So sind über 2,5 Millionen Tier- und Pflanzenarten entstanden mit oft staunenswerten Eigenschaften und Fähigkeiten. Man kann auch sagen: 2,5 Millionen Antworten auf spezifische Herausforderungen. Aus diesem gewaltigen Ideenschatz Lösungen für technologische Probleme zu gewinnen, ist Forschungsgegenstand der Wissenschaftsdisziplin Bionik.

Die Wirkprinzipien der Natur zu verstehen, ist dabei elementar. Was mit der Betrachtung des Vogelflugs im 15. Jahrhundert durch Leonardo da Vinci begann, führte in unseren Tagen zu Entwicklungen mit dem Klettverschluss, selbstschärfenden Messern und selbstreinigenden Oberflächen.

Diesen drei Beispielen ist gemeinsam, dass sie auf Nanostrukturen basieren – ebenso wie biologische Zellen als kleinste Einheiten des Lebens. Die Erforschung dieser mikroskopisch kleinen Dimension verschafft uns Einsichten und Anregungen für neuartige Produkte und Verfahren, mit denen sich hessische Unternehmen Wettbewerbsvorteile erarbeiten können.

Hessen hat dieses Potenzial erkannt und als bedeutender Standort der Material- und Nanotechnologie den Blick auf die Strategien der Natur und ihren Wert für Innovationen gelenkt. Diese Broschüre ist ein Fundus bionischer, nanotechnologisch ausgerichteter Ansätze und Praxisbeispiele, der Anreize auf der Suche nach Problemlösungen geben soll.

Ich wünsche Ihnen eine anregende Lektüre.

A handwritten signature in blue ink that reads "Tarek Al-Wazir". The signature is written in a cursive, flowing style.

Tarek Al-Wazir
Hessischer Minister für Wirtschaft,
Energie, Verkehr und Landesentwicklung

1 Bionik und Materialtechnologie

1.1 Grundlagen

Angesichts einer wachsenden wirtschaftlichen, technologischen und gesellschaftlichen Dynamik im 21. Jahrhundert sehen sich Unternehmen einem zunehmenden Innovationsdruck ausgesetzt. Die Globalisierung der Wirtschaft schreitet voran, technische Entwicklungen werden schneller und komplexer, zentrale gesellschaftliche Herausforderungen wie Umwelt- und Klimaschutz, Ressourcenverknappung oder der Rückgang der Biodiversität müssen gemeistert werden. Neue Technologien, mit denen innovative und intelligente Produkte effizient und möglichst ressourcenschonend hergestellt werden können, werden dringend benötigt. Die Bionik und die Materialtechnologie gelten hierbei als aussichtsreichste technologische Zukunftsfelder, die Lösungsbeiträge für diese Herausforderungen bereitstellen können.

Die Bionik hat bereits eine lange Tradition. So wird oft Leonardo da Vinci als erster Bioniker genannt, da er beispielsweise versuchte, Erkenntnisse aus der Analyse des Vogelfluges für die Konstruktion von Flugapparaten zu nutzen. Etwa seit den 80er Jahren wird die Bionik auf die Nano- und Mikroskala erweitert (z. B. Lotus-Effect®; Barthlott und Neinhuis 1998).

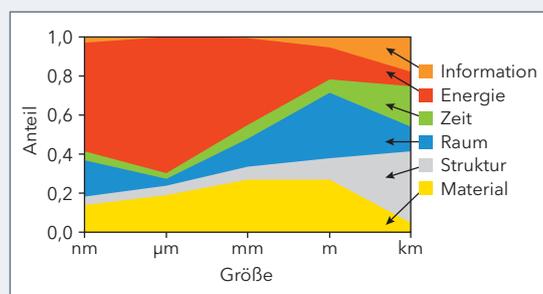
Insbesondere die sich rasant entwickelnden Technologiebereiche Informatik, Nanotechnologie, Mechanik und Biotechnologie, die vielfach eine Übertragung komplexer biologischer Systeme erst ermöglichen, liefern wichtige Impulse (Kesel 2005). An zahlreichen Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen ist die Bionik inzwischen als Lehr- und Forschungsgegenstand vertreten.

Es gab in der Vergangenheit viele Ansätze für eine einheitliche Definition der Bionik. Die aktuelle VDI Richtlinie VDI 6220 definiert Bionik folgendermaßen:

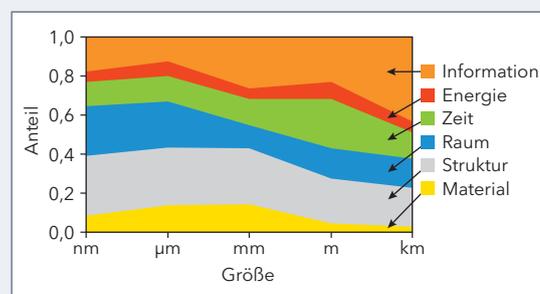
Bionik verbindet in interdisziplinärer Zusammenarbeit Biologie und Technik mit dem Ziel durch Abstraktion, Übertragung und Anwendung von Erkenntnissen, die an biologischen Vorbildern gewonnen werden, technische Fragestellungen zu lösen. Biologische Vorbilder im Sinne dieser Definition sind biologische Prozesse, Materialien, Strukturen, Funktionen, Organismen und Erfolgsprinzipien sowie der Prozess der Evolution.

Technik lernt von der Natur

Eine qualitativ vergleichende Abschätzung von Prof. Vincent (vgl. Vincent et al. 2006) beschreibt die unterschiedlichen Anteile an Ressourcen, die für konventionelle technische Problemlösungen und Problemlösungen in der Natur benötigt werden. Es zeigt sich, dass natürliche Prozesse insbesondere bei Größenskalen kleiner als ein Meter durch einen intelligenten Strukturaufbau deutlich weniger Energie und Material benötigen als konventionelle technische Bauteile und Strukturen.



Konventionelle technische Problemlösung



Biologische Problemlösung

Der Begriff Bionik wird häufig nicht einheitlich verwendet, und es gibt verschiedene synonym genutzte Begriffe. Beispielsweise werden Bionik und Biomimetik im deutschen Sprachgebrauch meist synonym verwendet. Im angelsächsischen Sprachgebrauch wird üblicherweise „biomimetics“ genutzt, wenn Bionik gemeint ist, dagegen bedeutet „bionics“ in der Regel, dass biologische Systeme technisch erweitert wurden (z. B. Prothetik). Alternativ zu bionisch oder biomimetisch wird auch der Begriff biologisch inspiriert (engl. „bio-inspired“) verwendet, der jedoch häufig weitergefasst ist. Weitere weitgehend inhaltsgleiche Begriffe sind Biomimikry und Biomimese. In Deutschland werden diese Begriffe – häufig abhängig von der Region oder verschiedenen Anwendern – gleichbedeutend genutzt. In der vorliegenden Broschüre wird durchgehend der Begriff Bionik entsprechend der Definition der Richtlinie VDI 6220 genutzt.

In der Bionik werden vorhandene natürliche Lösungen analysiert, die gefundenen Prinzipien abstrahiert und anschließend der Technik zugänglich gemacht. Die Bionik stellt keine Blaupausen für die Technik bereit, sondern lebt vom Austausch der Fachleute aus verschiedenen Fachrichtungen (BIOKON 2011). Dabei kann die Bionik auf Lösungen für bestimmte mechanische, strukturelle oder organisatorische Probleme zurückgreifen, die in der Biologie im Laufe von Milliarden Jahren evolutiv optimiert worden sind. Heute sind über 2,5 Millionen identifizierte Arten weitgehend mit ihren spezifischen Besonderheiten beschrieben. Im Sinne der Bionik stehen sie als gigantischer Ideenpool für technische Problemlösungen zur Verfügung (vgl. VDI 6223).

Für eine bionische Entwicklung ist es nicht ausreichend, lediglich die Natur zu kopieren und zu versuchen, natürliche Konstruktionen nachzubauen. Die Herstellung von Produkten sollte drei Kriterien erfüllen, damit ein Produkt als bionisches Produkt angesehen werden kann:

- 1. Das Produkt muss ein biologisches Vorbild haben,**
- 2. es muss eine Abstraktion des natürlichen Prinzips stattgefunden haben,**
- 3. es muss eine Übertragung in eine technische Anwendung erfolgt sein.**

Ein Beispiel für bionische Produkte sind solche mit der als Lotus-Effect® bezeichneten Eigenschaft der Selbstreinigung (vgl. Kapitel 2.1.2). Das biologische Vorbild, die Blätter der Lotosblume, verfügt über eine spezielle Mikrostrukturierung der Oberfläche und dadurch eine hohe Wasserabweisung. Die zugrundeliegenden Prinzipien selbstreinigender Oberflächen sind auf spezielle physikalische und chemische Eigenschaften zurückzuführen, weshalb sie abstrahiert und in technische Oberflächen umgesetzt werden können.

Fälschlicherweise wird häufig angenommen, dass es sich bei dem Olympiادach in München ebenfalls um ein bionisches Produkt handelt (bionische Architektur). Hierbei wird aber keines der drei genannten Kriterien erfüllt und somit kann diese Konstruktion nicht als bionisch gelten. Auch wenn die Ähnlichkeit mit den Netzen verschiedener Spinnen offensichtlich ist, handelt es sich beim Olympiادach um eine weitgehend starre Konstruktion, die sich hierdurch eindeutig von den extrem elastischen Spinnennetzen unterscheidet. Nur die Anmutung, doch weder Konstruktion noch funktionale Aspekte wurden der Natur entlehnt.

Als Grenzfall einer bionischen Entwicklung wird die Produktion künstlicher Spinnenseide (Kapitel 2.2.5) angesehen. Hier werden Biotechnologie und Bionik kombiniert. Die biotechnologisch hergestellten Seidenproteine unterscheiden sich nicht von den durch Spinnen hergestellten Proteinen. Allerdings können die Proteine nicht ohne Weiteres in einen Seidenfaden gesponnen werden. Hierzu bedurfte es der Abstraktion des Spinnapparats der Spinne und einer technischen Umsetzung. Diese technischen Spinnröhren wurden somit in einem bionischen Entwicklungsprozess hergestellt.

Viele produzierende Unternehmen haben bereits die Vorteile der Bionik erkannt und wenden zunehmend bionische Verfahren zur Entwicklung neuer Produkte oder zur Optimierung bestehender Produkte an. Allerdings stellt die Übertragung von Erkenntnissen aus der Biologie in die Technik aufgrund ihrer Komplexität hohe Ansprüche an die beteiligten Akteure. Die Natur verfügt über zahlreiche Lösungen, die oft intuitiv verstanden werden. Dennoch sind die Aufklärung der zugrundeliegenden Mechanismen und ihre Nutzbarmachung für die Technik häufig schwierig und langwierig. Fortschritte in der Materialtechnik und der Nanotechnologie werden jedoch dazu beitragen, dass künftig immer mehr bionische Lösungsansätze in die Technik übertragen werden können. Die Bionik wird somit auf absehbare Zeit ein aktuelles Forschungsfeld bleiben.

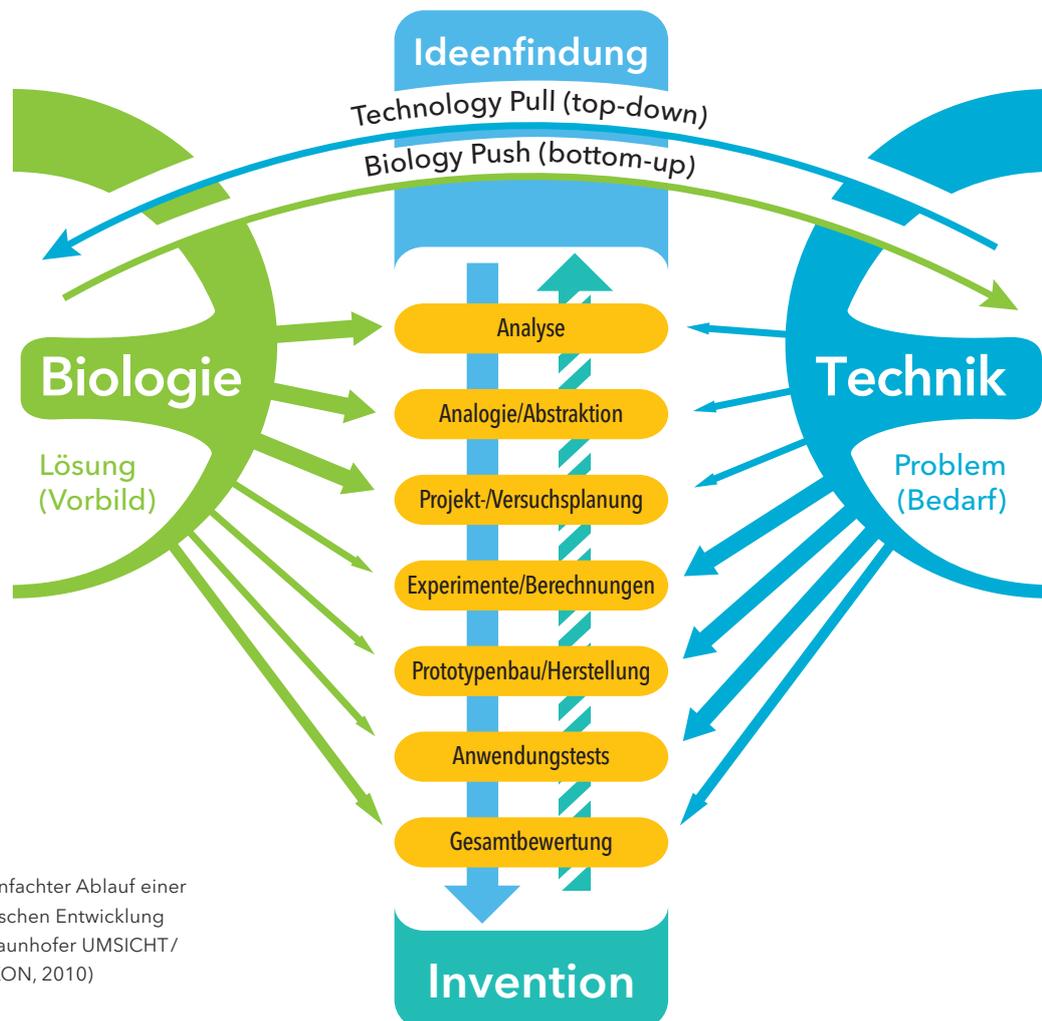
1.2 Lernen von der Natur – Konzeption und Strategie für bionische Innovationen

Aufgrund der interdisziplinären Arbeitsweise in bionischen Forschungs- und Entwicklungsprojekten kann es nur durch eine enge Kooperation zwischen Biologie, Ingenieurwissenschaften und weiterer Disziplinen zu einem effizienten Transfer der Forschungsergebnisse in technische Produkte entlang der gesamten Wertschöpfungskette kommen.

Der typische Prozess des bionischen Arbeitens wird in der folgenden Abbildung dargestellt. Der gradlinige und sequenzielle Verlauf stellt einen idealisierten Fall dar. Tatsächlich ist häufig eine parallele und sich wiederholende Bearbeitung erforderlich.

Ausgangspunkt der Ideenfindung für eine bionische Entwicklung können in einem Fall Erkenntnisse aus der biologischen Grundlagenforschung (Biology Push oder Bottom-Up-Prozess) und im anderen Fall eine technische Fragestellung oder ein technisches Problem (Technology Pull oder Top-Down-Prozess)

sein. Im letzteren Fall ist das Ziel die Verbesserung oder Weiterentwicklung eines bestehenden Produktes oder Prozesses. Kernstück im Prozess des bionischen Arbeitens ist die Abstraktion des biologischen Vorbilds bzw. der biologischen Prinzipien. Hier besteht ein großes Potenzial, effiziente und neuartige technische Lösungen zu entwickeln, die durch einen klassischen Konstruktionsansatz nicht entstanden wären. Der weitere Prozess des bionischen Arbeitens unterscheidet sich nicht grundsätzlich vom klassischen Entwicklungsprozess in der Produktion. Ein wesentlicher Unterschied besteht in der variierend intensiven interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen der Biologie und Technik. In der Regel ist das Ergebnis einer bionischen Entwicklung eine Invention, die erst dann zur Innovation wird, wenn bionische Produkte oder Prozesse erfolgreich in den Markt eingeführt wurden.



Vereinfachter Ablauf einer bionischen Entwicklung
(© Fraunhofer UMSICHT / BIONIKON, 2010)

Verlauf einer bionischen Entwicklung am Beispiel der künstlichen Haifischhaut

Problemstellung / Ziel

Schiffsrümpfe bewachsen schnell mit Algen, Seepocken und anderen Meeresbewohnern. Die Folge ist ein hoher Reibungswiderstand bei der Fahrt. Zusätzlich wird durch das Anheften der Organismen die Außenhaut der Schiffe beschädigt. Die Kosten für den erhöhten Energieverbrauch und die Reinigung sind immens. Um dem vorzubeugen wurden die Schiffsrümpfe bis 2008 mit einer mittlerweile verbotenen giftigen Farbe, die Tributylzinn (TBT) enthält, bestrichen. Es wurde daher eine Lösung gesucht, die die Schiffsrümpfe dauerhaft von Bewuchs freihält ohne toxisch zu sein.

Analyse / Wirkprinzip

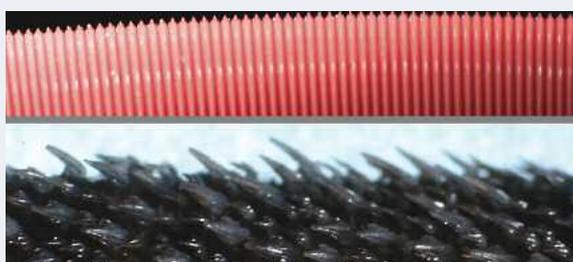
Raubfische wie der Hai haben im Vergleich zu anderen Fischen eine relativ lange Lebenserwartung, dennoch setzen sie nie Bewuchs an. Das Prinzip des Bewuchsschutzes ist in der Struktur der Haihaut zu finden. Durch kleine, bewegliche, zahnähnliche Plättchen, die sich ständig verschieben, können weder Algen noch Muscheln anhaften. Die besondere Oberflächenstruktur der Plättchen sorgt dafür, dass sich auch ohne Bewegung nur schwer etwas festsetzen kann. Zudem weist die Haut des Haifisches hervorragende Strömungseigenschaften auf.

Abstraktion

Das natürliche Funktionsprinzip musste abstrahiert und eine leicht bewegliche und gleichzeitig strukturierte technische Oberfläche entwickelt werden. Dieses Funktionsprinzip wurde für die Entwicklung einer technischen Lösung gegen den Bewuchs und für günstige Strömungseigenschaften weiterverfolgt.

Transfer und Umsetzung

Zunächst konnte die Mikrostrukturierung vom DLR Berlin auf Folien umgesetzt werden (Ribletfolien), die v.a. im aeronautischen Bereich eine Reduktion des Strömungswiderstands erreichten. Auf Schiffsrümpfen konnten diese Folien zwar die Strömungseigenschaften verbessern, trugen aber nicht zu einer Verminderung des Bewuchses bei.



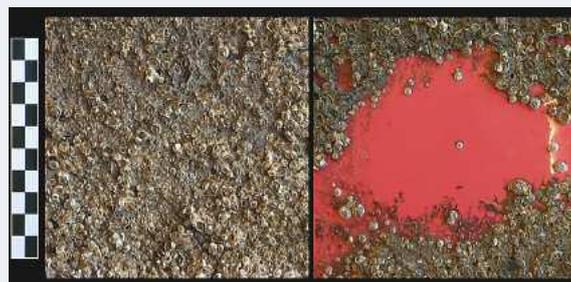
Zudem hat sich gezeigt, dass sich die Handhabung der Folie schwierig gestaltet, so dass erneut geplant und experimentiert werden musste. Vom Bionik-Innovations-Centrum der Hochschule Bremen (B-I-C) wurde dann der Schwerpunkt der Entwicklungsarbeit auf die Antifouling-Eigenschaften gelegt. Es wurde ein Schiffsanstrich entwickelt, der durch eine Mikrostrukturierung bei gleichzeitig flexiblem Material einen Bewuchs verhindert.



Antifouling-Farbe
(Quelle: B-I-C Bremen)

Gesamtbewertung

Durch die Entwicklung der flüssigen künstlichen Haifischhaut wurde ein bionisches Produkt geschaffen, das einen giftigen Schutzanstrich für Schiffsrümpfe ersetzt. Die Vorteile liegen auf der Hand: Bewuchs findet nicht mehr statt und dadurch wird der Strömungswiderstand der Schiffe gleichbleibend erhalten. Der Energieverbrauch wird entscheidend gesenkt.



Vergleich Bewuchs von Platte ohne (links) und mit künstlicher Haihautbeschichtung
(Quelle: B-I-C Bremen)

Invention / Innovation

Die künstliche Haifischhaut hat sich als bionisches Produkt der Firma Vosschemie auf dem Markt etabliert. Sie ist eine kostengünstige und umweltschonende Lösung für Probleme in der Schifffahrt. Zudem trägt sie zur Energieeffizienz durch verbesserte Strömungseigenschaften bei.

Vergleich künstliche (oben) und echte (unten) Haihaut.
(Quelle: B-I-C Bremen)

1.3 Motivation für Unternehmen zur Nutzung bionischer Verfahren

Grundsätzlich gelten in der Natur wie in der Technik die gleichen physikalischen Gesetzmäßigkeiten und Konstanten. Problemlösungen und Funktionalitäten aus der Biologie sind daher prinzipiell auch auf ähnliche Fragestellungen in der Technik übertragbar. Gerade bei der Entwicklung von komplexen technischen Produkten kann die Übertragung biologischer Funktionen zukünftig von großer Bedeutung sein. Biologische Systeme weisen zudem Charakteristika auf, die bei den meisten technischen Produkten kaum zu finden sind. Beispiele dafür sind die multi-kriterielle Optimierung, die zum Teil sich widersprechende Funktionen (Multifunktionalität) bei gleichzeitig hoher Betriebssicherheit gewährleistet. Dazu zählt auch die Anpassungsfähigkeit an sich verändernde Umweltbedingungen (Adaptivität), eine hohe Fehler- und Versagenstoleranz (Resilienz und Redundanz) sowie die Fähigkeit zur Selbstorganisation. Die systematische Übertragung dieser und weiterer unabhängiger Funktionen biologischer Systeme (z.B. Selbstreparatur, Selbsterneuerung und Selbstassemblierung, vgl. Kapitel 2.3) können bei der Entwicklung intelligenter, multifunktionaler Produkte von Vorteil sein (Speck und Speck 2009).

Darüber hinaus gibt es für Unternehmen weitere Gründe bionische Verfahren einzusetzen (VDI 6223) wie z. B.:

■ Interdisziplinarität

Durch die steigende Komplexität von Produkten und Prozessen in der industriellen Fertigung wird ein Zusammenspiel der Expertise aus verschiedenen Fachdisziplinen immer wichtiger. Die Anwendung bionischer Verfahren fördert in hohem Maße eine interdisziplinäre Denk- und Arbeitsweise in den beteiligten Unternehmen. Vor allem Biologie, Nanotechnologie und Informationstechnik spielen in der Bionik eine Schlüsselrolle.

■ Marketingwert

Bionische Entwicklungen haben in der Regel einen hohen Marketingwert. Aufgrund der Tatsache, dass Prinzipien bekannter biologischer Vorbilder in alltäglichen Produkten (z. B. Klettverschluss) wiederzufinden sind, bietet die Bionik oft erstaunliche Motive, um nicht nur die Funktion eines Produktes zu erläutern, sondern den Prozess von der Ideenfindung bis zur Produktgestaltung darzustellen und emotional zu nutzen.

■ Nachhaltigkeit

Die konsequente Ausrichtung von Unternehmensstrategien im Hinblick auf gesellschaftliche Zielsetzungen wie Nachhaltigkeit und Klimaschutz wird sich für Unternehmen zunehmend zu einem Wettbewerbsvorteil entwickeln. Die Bionik kann dabei eine wichtige Aufgabe in Zusammenhang mit einer nachhaltigen Entwicklung übernehmen, indem sie einen Beitrag zu effizienten und konsistenten Lösungen in der Produktentwicklung leistet.

1.4 Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz

Die Zukunftsfähigkeit produzierender Unternehmen wird wesentlich davon abhängen, sich den Zielen einer nachhaltigen Entwicklung und Ressourceneffizienz zu stellen. Aus diesem Grund ist ein Innovationssystem, das zumindest die Möglichkeit auf eine „nachhaltigere“ Entwicklung bietet, von großem Interesse. Die Bionik wird hierzu Beiträge liefern können (vgl. Einschub „Technik lernt von der Natur“ S.4). Allerdings bedeutet bionisch nicht *per se* nachhaltig, ökologisch oder umweltverträglich. Bionische Produkte oder Prozesse zeigen selten eine optimale, dem biologischen Vorbild entsprechende Anpassung

an die Umgebung oder Rahmenbedingungen. Daher muss die Qualität bionischer Lösungen immer durch eine Bewertung des Einzelfalls erfolgen und darf nicht verallgemeinert werden (Bertling et al. 2005). Weiterhin können bionische Produkte auch mit Materialien oder Materialkombinationen hergestellt werden, die keine vorteilhafte Ökobilanz besitzen und nicht den an nachhaltige Produktion und Produkte gestellten Anforderungen genügen. Dennoch bietet die Bionik vielfältige Ansätze, um technische Probleme energie- und materialeffizienter zu lösen, als dies mit konventionellen Techniken möglich wäre.

2 Bionische Lösungsansätze für technische Problemstellungen

Der Einsatz bionisch hergestellter Materialien, Strukturen und Komponenten gewinnt in einer großen Bandbreite von Anwendungsfeldern mehr und mehr an Bedeutung. Im Gegensatz zu technischen Materialien verfügen biologische Materialien nicht nur über eine hohe Leistungsfähigkeit sondern zusätzlich noch

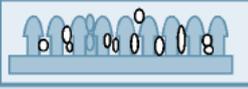
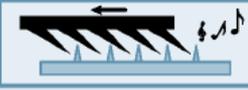
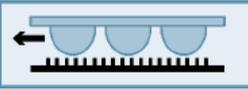
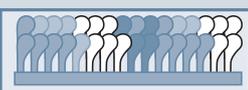
über eine hohe Anpassungsfähigkeit an wechselnde Umwelteinflüsse sowie hochwirksame Mechanismen zur Regeneration und Selbstreparatur. Die technische Übertragung der Eigenschaften ist zumeist noch unvollkommen, birgt aber immense Potenziale für technische Anwendungen und innovative Produkte.

2.1 Bionische Oberflächensysteme

Oberflächen bilden die Grenzfläche zwischen dem lebenden Organismus, dem technischen Produkt und der Umwelt. Oftmals werden unterschiedlichste Eigenschaften und Funktionen an diesen Schnittstellen realisiert. Insbesondere biologische Oberflächen zeichnen sich häufig durch eine ausgeprägte Multifunktionalität aus. Dazu gehören beispielsweise Formgebung, Begrenzung der Körperraußenmaße, Gewährleistung mechanischer Stabilität, Schutz gegen extreme Umweltbedingungen, Pathogenabwehr, Atmung, Mechano- und Chemosensorik, Thermoregulation und weitere. Biologische Systeme bieten daher ein großes Potenzial für technische Ideen zur bionischen Umsetzung von Funktionen wie Adhäsion, Reibung, Abnutzung, Schmierung, Filtration, Sensorik, Benetzung, Selbstreinigung, Antifouling, Thermoregulation, Optik etc. Oft lässt sich hierbei zeigen, dass diese Funktionen und Effekte durch mikro- und nanoskopisch strukturierte Differenzierungen bzw. Eigenschaftsgradienten erzeugt werden. Demnach ergibt sich die Eigenschaft aus der adäquaten Einstellung von Strukturgröße und mechanischer Werkstoffeigenschaft der jeweiligen Grenzfläche. Im technischen Bereich sind Grenzschichtfunktionalisierungen essentieller Bestandteil einer sehr breiten Produkt- und Anwendungspalette. Einen Überblick über Oberflächenfunktionalisierungen, Beispiele aus der Biologie und deren technische Anwendung ist in der nachfolgenden Tabelle gegeben (siehe auch VDI 6221).

Aus dem Bereich der Bionik sind der Ribleteffekt (Antifouling, Widerstandsreduktion in Fluiden) und der Lotus-Effect® (Selbstreinigung) am bekanntesten. Außerdem werden derzeit intensiv verschiedene Haftsyste me untersucht. Insgesamt zeigt sich bei allen diesen Beispielen, dass nicht eine besonders glatte Oberfläche die gewünschte Funktion (z. B. Selbstreinigung) erzeugt, sondern erst die speziell strukturierte Oberfläche. Ein Vorteil strukturierter Oberflächen besteht in der Zuverlässigkeit und der größeren Toleranz gegenüber Defekten einzelner kleiner Elemente der Oberfläche. Im Gegensatz zu den biologischen Vorbildern haben technische Umsetzungen allerdings oft noch eine begrenzte, häufig sehr kurze Lebensdauer, was einen deutlichen Nachteil darstellt. Zukünftig gilt es also besonders die Langlebigkeit der biologisch inspirierten Materialien und Produkte zu verbessern. Solche Materialien könnten dann als neuartige Haftbänder, z. B. im Bereich der Robotik und Medizintechnik, Anwendung finden. Es bestehen weitere Aktivitäten, biologisch inspirierte Oberflächen mit kontrollierter Reibkraft zu entwickeln, z. B. für Autoreifen oder neuartige Klettverschlüsse.

Im Folgenden werden einige Beispiele aus der Praxis näher vorgestellt, bei denen die Bionik Lösungen für materialtechnische Problemstellungen bieten kann.

Struktur / Funktion	Wirkungsprinzip	Biologische Beispiele	Beispiele für Technische Anwendungen
 aerodynamisch aktive Oberfläche	Reibungsminimierung	Insektenflügel, Haifischhaut	Luftwiderstand-minimierende Polymerfolien
 hydrodynamisch aktive Oberfläche	Reibungsminimierung oder Reibungsmaximierung	Haifischhaut, Plankton	Flugzeug-außenbeschichtungen
 Strukturen zur Luftrückhaltung	Adhäsion, Benetzbarkeit	Atmungsorgan der Wasserinsekten, Blätter des Wasserfarns	unter Wasser trockene Textilien
 anti-adhäsive, nicht benetzbare (selbstreinigende) Oberflächen	Minimierung der Kontaktfläche zwischen Partikeln/Tropfen und Substratoberfläche	Pflanzenoberflächen (z.B. Lotus, Kohl) Insektenoberflächen (z.B. Libellenflügel)	Fassadenfarbe, Antihafbeschichtungen
 Putzstrukturen	Reibungsmaximierung und Adhäsion	Insektenbeine (z.B. Putzkämme bei Bienen)	Förderbänder
 lauterzeugende Oberflächen	Reibungsmaximierung, mechanische Verklammerung	Stridulationsorgane (z.B. Zikaden, Grillen, Heuschrecken, Käfer)	Haftmaterialien
 Strukturen zur Nahrungszerkleinerung	Reibungsmaximierung (Abrasion)	Zähne, Mundwerkzeuge, Kaumägen	selbstschärfende Schneidwerkzeuge
 Filtrationsvorrichtungen	Reibungsmaximierung und Adhäsion	Mundwerkzeuge bei Fliegen, Filtrationsvorrichtungen bei Meeresorganismen	aktive Filtersysteme
 Anti-Reibungsflächen	Reibungsminimierung	Reptilienhaut, Gelenke	mikro-elektro-mechanische Systeme (MEMS)
 anisotrope Reibung	Reibungsminimierung, Gleiten	gerichtete Bewegung (z.B. Beförderung von Gegenständen wie Insekteneier im Legebohrer)	Förderbänder
 Haftsysteme	Reibungsmaximierung, Adhäsion	Füße, Mundwerkzeuge, biologische Greifsysteme, Fixierungssysteme (z.B. Geckofüße)	Haftmaterialien, Klebebänder, industrielle Greifer, Autoreifen
 Thermoregulation, Verdunstungsschutz	mehrfache Reflexion	Oberfläche von Wüstentieren und -pflanzen	Oberflächenbeschichtungen
 Körperfarbmuster zur Kommunikation, Tarnung	Reflexion, Interferenz, Diffraktion	Insektenflügel (z.B. Libellen)	neuartige multifunktionale optische Oberflächen

Biologische Mikrostrukturen auf Oberflächen, ihr Wirkungsprinzip, biologische Beispiele und technisches Anwendungspotenzial (Quelle: Gorb, S.N.: Functional surfaces in biology - mechanisms and applications. In: Biomimetics: Biologically Inspired Technologies. Ed. by Y. Bar-Cohen.: Boca Raton, London, New York: Taylor & Francis, (2006), S. 381-398. Gorb, S.N.; Voigt, D.: Funktionale biologische Oberflächen als Vorbilder für die Technik. Performance, Doppelausgabe 2.2009 / 1.2010, S. 68-77.)

2.1.1 Hochleistungsfähige, reversible Haftverbindungen

Ziel: Sehr stark haftende, aber reversible Verbindung

Biologisches Vorbild: Zehen des Geckos, Käfer- und Spinnenbeine

Wirkprinzip: Lamellen im Nanometerbereich erzeugen starke Haftung durch van-der-Waals-Kräfte.

Abstraktion: Mithilfe einer Gussform wird aus einem Polymer eine strukturierte Oberfläche mit den gewünschten Eigenschaften hergestellt.

Entwicklungsstand: Prototypstadium, z. B. Haftfolie für Kletterroboter, Anwendungspotenziale z. B. im Automobilbau oder in der Medizintechnik

Klebstoffe sind in der Materialtechnik von außerordentlicher Bedeutung. Der Weltmarkt für Kleb- und Dichtstoffe beläuft sich auf rund 47 Mrd. Euro pro Jahr. Auch wenn mittlerweile hochleistungsfähige Klebstoffe für unterschiedliche Anwendungsfelder zur Verfügung stehen, bleibt als grundlegendes Problem eine mangelnde Reversibilität des Klebvorganges bestehen. Klebverbindungen lassen sich in der Regel nicht rückstandsfrei und ohne Beschädigung der Substrate trennen. Dies schränkt die Anwendbarkeit und auch die Rezyklierfähigkeit von geklebten Materialverbänden ein. Bei vielen technischen Fragestellungen wären daher statt auf chemischen Bindungen basierende permanente Klebverbindungen reversible aber hochleistungsfähige Haftverbindungen von Interesse. Dies gilt sowohl im konstruktiven Leichtbau von Automobilen, Maschinen oder Flugzeugen als auch im Alltag, beispielsweise bei der Befestigung von Einrichtungsgegenständen oder im Freizeitbereich. Praktische technische Lösungen sind bislang allerdings Mangelware. Hier kommt unmittelbar die Bionik ins Spiel, die Anregungen und Möglichkeiten für die Entwicklung intelligenter Haftverbindungen liefert. Wie etwa schaffen es Geckos, Käfer oder Spinnen, an senkrechten Flächen empor zu klettern oder Muscheln und Pflanzen, sich mit enormer Kraft an verschiedenen Oberflächen verankern zu können?

Des Rätsels Lösung liefern Erkenntnisse aus der Bionikforschung. So wurde beispielsweise vor einigen Jahren der Haftmechanismus des Geckos entschlüsselt. Eine wichtige Rolle spielen dabei physikalische „van-der-Waals-Kräfte“. Diese sind zwar weitaus schwächer als chemische Bindungen, besitzen aber den Vorteil, dass jede Einzelverbindung für sich leicht gelöst werden kann und dennoch aus der Summe der Vielzahl von Kontaktpunkten eine hohe Haftwirkung resultiert. Dies ermöglicht es dem Gecko, sich durch sukzessives Ablösen von Haftkontakten leicht fortzubewegen, aber dennoch auf Oberflächen verschiedenster Materialien und Neigungswinkeln haften zu bleiben. Die Grundlage hierfür bildet die spezielle Oberflächenstrukturierung der Gecko-Zehen. An den Spitzen finden sich Millionen nanometerfeiner Härchen, die in der Summe für eine ausreichende Haftoberfläche sorgen, um das Körpergewicht des Geckos zu tragen.

Der Geckofuß als biologisches Vorbild für hochfeste, reversible Haftverbindungen
(Quelle: S.N. Gorb, Universität Kiel)



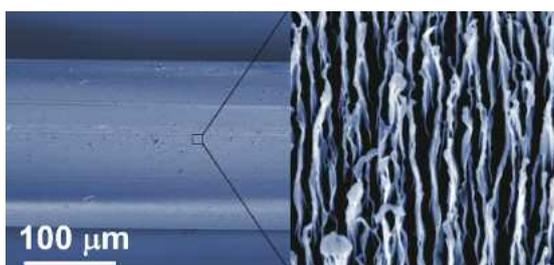
Winzige Härchen an den Käferfüßen fließen in Kontakt mit Oberflächen und vergrößern die Haftung. (Quelle: T. Eimüller, P. Guttman, S. N. Gorb)



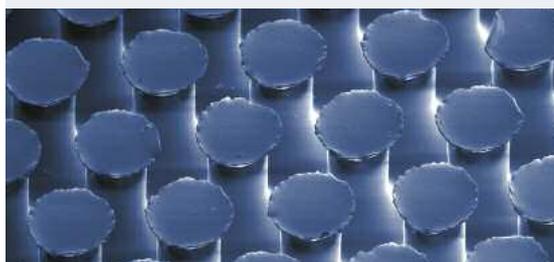
Mittlerweile gibt es fortgeschrittene Ansätze, derartige Haftwirkungen technisch einzusetzen. Hierbei werden feine Haftsäulen auf Substraten erzeugt, wobei die Haftwirkung maßgeblich vom Radius der Säulen und der Geometrie der Säulenenden bestimmt werden. Um eine optimale Haftwirkung zu erzielen, gilt es daher die Haftstrukturen mit einer hohen Präzision und Reproduzierbarkeit herzustellen.

Ansätze zur technischen Nutzung derartiger Haftverbindungen finden sich beispielsweise in der regenerativen Medizin, etwa bei der Behandlung von Trommelfellverletzungen oder beim Wundverschluss mit reversibel haftenden Nahtmaterialien. Durch selbsthaftende Nahtmaterialien könnte vermieden werden, dass sich beim Fixieren durch Knoten Entzündungen bilden oder das abgeheilte Gewebe beim Entfernen des Nahtmaterials beschädigt wird.

Nanofasern auf Nahtmaterial (Quelle: Max-Planck-Institut für Polymerforschung)



Künstlich hergestellte Geckostrukturen auf einer Kunststoffolie (Quelle: A.E. Kovalev, Universität Kiel)



Forschern des Max-Planck-Instituts für Polymerforschung ist es bereits gelungen, Prototypen von Nahtmaterial mit nanoskopischen Fibrillen herzustellen, die ein schnelles Haften und Lösen ermöglichen.

Wenn es gelingt, Herstellungsmethoden zu etablieren, mit denen sich die bionischen Haftstrukturen reproduzierbar und kostengünstig auf großflächigen Polymerfolien herstellen lassen, eröffnen sich viele interessante Anwendungsmöglichkeiten. Ein derartiges „Gecko-Klebeband“ ließe sich beispielsweise als reversible und hochbelastbare Verbindungstechnik z.B. in der Bautechnik oder im Automobil einsetzen. Erste technologische Lösungen basieren auf Guss- und Prägeprozessen, bei denen die Strukturen fotolithografisch auf Stempel-/Gussformen übertragen und anschließend auf Polymerfilme aufgeprägt werden. Technische und wirtschaftliche Lösungen könnten sich beispielsweise durch sogenannte Rolle-zu-Rolle-Verfahren ergeben, bei denen die Strukturen durch eine Stempelwalze in einen Epoxidharzfilm (auf einer Kunststoffolie) geprägt und anschließend ausgehärtet werden (Kroner, Kamperman und Arzt 2010).

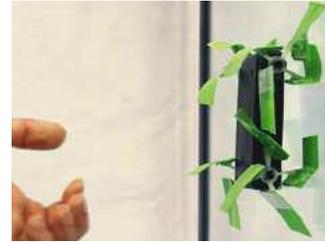
Auch in anderen Anwendungsfeldern wie der Bautechnik bieten sich Einsatzpotenziale für bionische Haftverbindungen. Die Hochschule Darmstadt befasst sich beispielsweise mit der Entwicklung reversibler Haftverbindungen nach dem Prinzip des Geckos, die als mobile Anschlagpunkte zur sicheren und flexiblen Befestigung technischer Infrastrukturen wie Kabel und Leitungen auf einer Baustelle eingesetzt werden können (Hessisches Ministerium für Wissenschaft und Kunst 2011).

In der Natur gibt es neben der Nutzung von van-der-Waals-Kräften viele weitere Haft- bzw. Klebmechanismen, die beispielsweise auf kapillaren oder chemischen Wechselwirkungen basieren und unter sehr variablen Umgebungsbedingungen einsetzbar sind. Beispiele hierfür sind Kletterpflanzen, deren extrem feste Verankerung mit dem Untergrund aus einer speziellen Nano-/Mikrostruktur der Haftorgane in Kombination mit Haftsekreten resultiert, oder Muscheln, die Adhäsionssekrete zur Permanenthaftung unter Wasser nutzen. Adhäsive Muschelproteine sind auch für technische Einsatzmöglichkeiten interessant, wie beispielsweise zur Fixierung dentaler Implantate – eine Anwendung, die die Uniklinik Frankfurt im Rahmen des BMBF-Projektes BioClou entwickelt hat.

Die Entschlüsselung der chemischen und mikromechanischen Eigenschaften von Adhäsionssekreten ist ein aktuelles Forschungsfeld der Bionik, von der die technische Klebstoffentwicklung profitieren könnte.



Beschichtungsanlage zur Herstellung strukturierter Polymerfolien (Quelle: INM, Foto: Uwe Bellhäuser)



Anwendung von bio-nischen Haftmechanismen am Beispiel eines Laufroboters, der senkrechte Flächen emorklettern kann (Quelle: Case Western Reserve University)

2.1.2 Selbstreinigende Oberflächen

Ziel: Reinhaltung von Oberflächen

Biologisches Vorbild: Pflanzenblätter wie Lotus oder Kapuzinerkresse

Wirkprinzip: Hydrophobe, nano- und mikrostrukturierte Oberflächen verhindern Anhaften von Schmutzpartikeln - Wassertropfen transportieren diese ab.

Abstraktion: Ausbildung nano-/mikrostrukturierter superhydrophober Oberflächen durch physikalische oder chemische Beschichtungstechniken etwa durch Selbstorganisation von Siliziumdioxidnanopartikeln und Fluorpolymeren

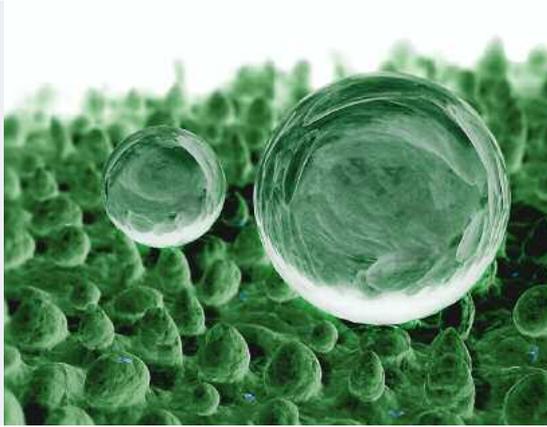
Produkte: Außenwandfarbe Lotusan®, Beschichtung z.B. von Fassaden, Textilien, Keramik, Glas

Verschmutzte Oberflächen sind nicht nur ein alltägliches Ärgernis im privaten Umfeld, sondern verursachen auch in der Industrie Kosten in Milliardenhöhe. Maschinenoberflächen in der Lebensmittel-, Kosmetik oder Pharmaindustrie haben hohe Anforderungen in Bezug auf kontinuierliche Reinhaltung. Verschmutzungen von Leitungen, Wärmetauschern oder Transportmitteln können die Funktionsweise vieler Infrastruktureinrichtungen erheblich beeinträchtigen. Der Arbeitsaufwand und die Umweltbelastung durch chemische Reinigungsmittel stellen ein erhebliches Kosten- und Umweltproblem dar. In

der Biologie finden sich viele wirksame Mechanismen gegen die Verunreinigung von Oberflächen. Das bekannteste Beispiel ist der sogenannte Lotus-Effect®, der die geringe Benetzbarkeit einer Oberfläche bezeichnet, wie sie bei der Lotosblume aber auch vielen einheimischen Pflanzenarten beobachtet werden kann. Wasser perlt in Tropfen ab und nimmt dabei auch alle Schmutzpartikel auf der Oberfläche mit. Verantwortlich dafür ist eine komplexe mikro- und nanoskopische Architektur der Oberfläche, die die Haftung von Schmutzpartikeln minimiert.

Links:
Computergrafik Oberfläche
Lotus-Effect® (Quelle: William
Thielicke - w.th@gmx.de)

Rechts:
Wassertropfen auf Kapuzinerkresse, natürlicher
Selbstreinigungseffekt
(Quelle: © marika / pixelio.de)



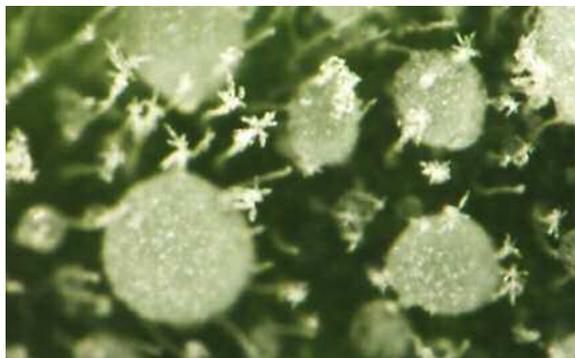
Derartige Oberflächen werden superhydrophob genannt, d.h. sehr stark Wasser abweisend. Selbstreinigende Oberflächen sind von zunehmend technischer und wirtschaftlicher Bedeutung, z.B. bei selbstreinigenden Textilien oder Fassadenflächen. Für die Herstellung superhydrophober Oberflächensysteme gibt es verschiedene technische Verfahren. Eine kostengünstige Methode besteht in flüssigen Beschichtungslösungen, die funktionalisierte Siliziumdioxid-Nanopartikel, Vernetzungsmittel und

Fluorpolymere enthalten. Auf den beschichteten Oberflächen entsteht selbstorganisiert eine mikrorauhe Struktur eines Netzwerkes organischer und anorganischer Bestandteile, an deren Außenseite sich wasserabweisende Molekülketten befinden, so dass insgesamt ein superhydrophober Effekt entsteht. Verschiedene Materialien wie Textilfasern, Metall, Glas oder Keramik lassen sich so mit einem Selbstreinigungseffekt ausstatten.



Nanobeschichtete Textilfasern werden u.a. für Markisenstoffe mit Selbstreinigungseffekt eingesetzt (links). Durch die superhydrophoben Eigenschaften des Textilgewebes perlt Wasser tropfenförmig ab (oben rechts) und spült dabei anhaftende Schmutzpartikel fort. Die Abbildung Mitte rechts zeigt das chemisch funktionalisierte Polyestergewebe in elektronenmikroskopischer Aufnahme (Bildbreite: 500 µm). In einer stärkeren Vergrößerung (unten rechts) wird ein nanoporöser Belag sichtbar, mit dem ein Großteil des Textils bedeckt ist und der für die superhydrophoben Eigenschaften verantwortlich ist. (Quelle: BASF)

Superhydrophobe Beschichtungen liefern auch Lösungsansätze für die Vermeidung des Vereisens von Oberflächen. Verschiedene Pflanzen, Fische, Frösche und Insekten verfügen über Eigenschaften, die durch eine spezielle chemische Funktionalisierung und Strukturierung von Oberflächen eine Eisbildung verhindern.



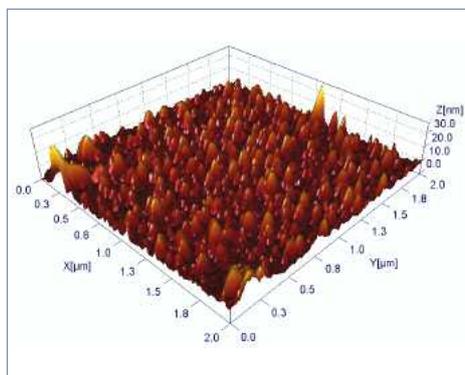
Die Natur liefert das Vorbild: Mikroskopische Aufnahmen von Eis auf einem Blatt des heimischen „Frauenmantels“ (Alchemilla). Die Oberflächenstruktur und -chemie verhindert, dass Eis auf der Oberfläche fest anhaften kann. Es bilden sich vereinzelt Eiströpfchen und -nadeln, die sich einfach von der Oberfläche ablösen lassen. (Quelle: Dr. Michael Haupt, Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB)

Was in der Natur überlebenswichtig ist, ist auch in der Technik von erheblicher Bedeutung. In vielen technischen Fragestellungen wie dem Automobil- und Flugzeugbau oder auch bei Windkraftträdern wären wirksame Anti-Icing-Oberflächen ein enormer Vorteil.

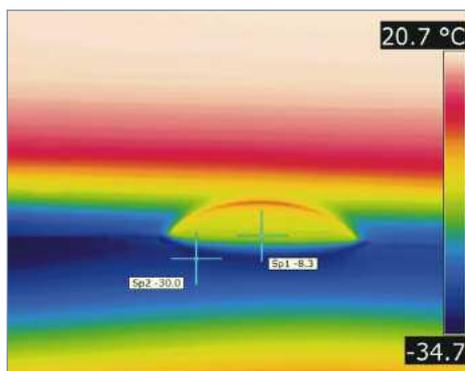


Die Enteisung von Flugzeugtragflächen ist ein zeit- und kostenintensiver Prozess (Quelle: iStockphoto.com/Ceneri)

Wie bei der Selbstreinigung spielen auch bei der Vermeidung der Eisbildung die Nanostrukturen eine entscheidende Rolle. Derzeit werden systematische Untersuchungen durchgeführt, welche Struktur- und Materialkombinationen optimale Eigenschaften im Hinblick auf diese Funktionalität bewirken. Im Experiment konnte bereits gezeigt werden, dass neben der chemischen Funktionalisierung auch die Strukturierung einen deutlichen Einfluss auf die Vermeidung der Eisbildung besitzen. Im Rahmen eines BMBF-Projektes konnten hydrophobe mikro- und nanostrukturierte Schichten für Kunststoffoberflächen hergestellt werden, die einen wirksamen Vereisungsschutz bieten, da die Bildung von Kristallisationskeimen auf der Oberfläche behindert und die Haftung von Eis um mehr als 90% reduziert wird (Fraunhofer IGB 2011).



Raster-Kraft-Mikroskop-Aufnahme einer durch Plasmatechnologie beschichteten Kunststoffolie. Durch die Nanostrukturen in Kombination mit der Oberflächenchemie wird die Eisbildung und die Eishaftung deutlich verringert. (Quelle: Dr. Michael Haupt, Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB)



Thermographische Aufnahme eines unterkühlten Wassertropfchens auf einer im Plasma beschichteten Kunststoffolie. Der Wassertropfen wird durch die künstliche Oberflächenfunktionalisierung auch bei Temperaturen unter Null Grad Celsius flüssig gehalten. (Quelle: Dr. Michael Haupt, Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB)



Forschung und Entwicklung im Kontext Anti-Eis-Beschichtungen – Beurteilung der Reifhaftung durch einen Reif-Adhäsions-Test. (Quelle: FhG IFAM)

2.1.3 Reibungsmindernde Oberflächen

Ziel: Verschleißminderung und Reduzierung der Reibung zwischen Festkörpern

Biologisches Vorbild: Struktur der Hautschuppen des Sandfischs

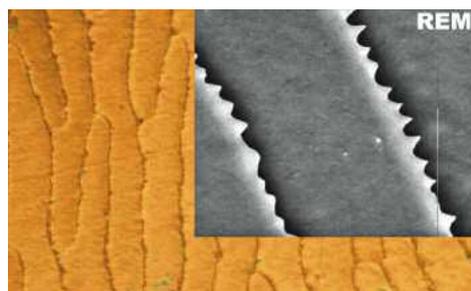
Wirkprinzip: Sägezahnartige Mikro- und Nanostruktur der Hautschuppen, die quer zur Fortbewegungsrichtung, d. h. zur „Sandströmung“, verläuft, streift schmirgelnden Quarzstaub von Sandkörnern ab. Die Sandkörner gleiten über die Kämme der Mikrostruktur.

Abstraktion: Mikrokämme aus Silizium und Polymeren

Entwicklungsstand: Nachgebildete Strukturen zeigen bisher noch nicht ausreichend die gewünschten Eigenschaften; Anwendungspotenziale: z. B. Trockenschmierung, landwirtschaftliche Maschinen, Verschleißschutz für Solaranlagen (insbesondere für den Einsatz in Wüsten)

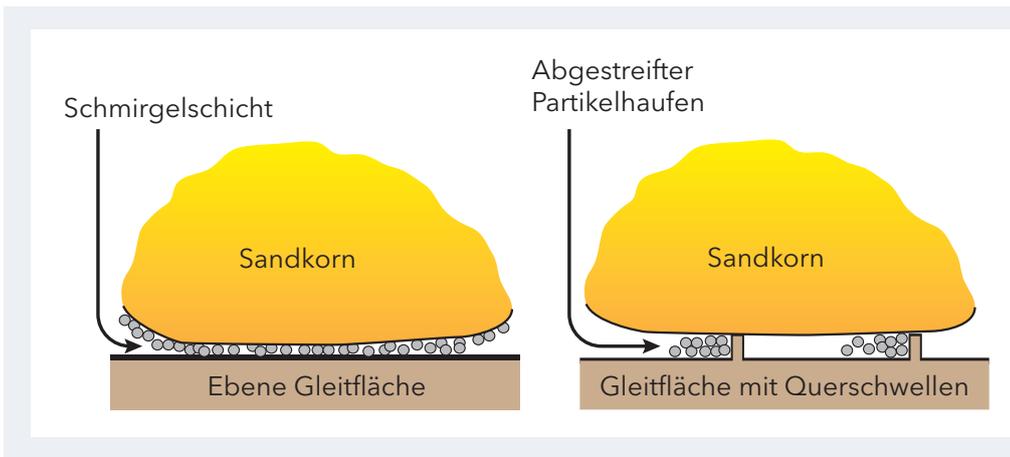
Energieverlust und Verschleiß durch Reibung zählen zu den Grundproblemen mechanischer Prozesse. Ob in der Industrie oder im Verkehrssektor, die Reduktion von Reibung könnte Volkswirtschaften von Kosten in Milliardenhöhe entlasten und erheblich zur Umwelt- und Ressourcenschonung beitragen. Auch hier kann die Natur Lösungsansätze liefern. Die Minderung von Reibung zur effizienten und Energie sparenden Fortbewegung ist in der Natur ein weitverbreitetes Prinzip. Schon seit längerer Zeit werden Prinzipien zur Reibungsminimierung in Luft (Aerodynamik) und Wasser (z. B. Haifischhaut) untersucht. In jüngerer Zeit wird die Biologie als Vorbild

herangezogen, um Reibkontakte zwischen Festkörpern zu optimieren. Als Beispiel aus der Natur wird hierbei der Sandfisch (*Scincus albifasciatus*) aus der Sahara untersucht, der sich bei der Fortbewegung im Sand in ständigem Reibkontakt mit feinen Sandkörnern befindet und dennoch durch ein äußerst glatt und glänzend erscheinendes Schuppenkleid besticht. Ursache hierfür ist eine im Verlauf der Evolution heraus gebildete raffinierte Oberflächenstruktur. Eine unter dem Elektronenmikroskop erkennbare, quer zur Strömung des Sandes verlaufende Schwellenstruktur fungiert als Abstreifkamm für den Wüstenstaub, der die Sandkörner überzieht.



Der Sandfisch verfügt über einen effizienten und verschleißbaren Fortbewegungsmechanismus im Wüstensand, der auf einer sägezahnartigen Mikrostruktur der Hautschuppen basiert. (Quelle: TU Berlin)

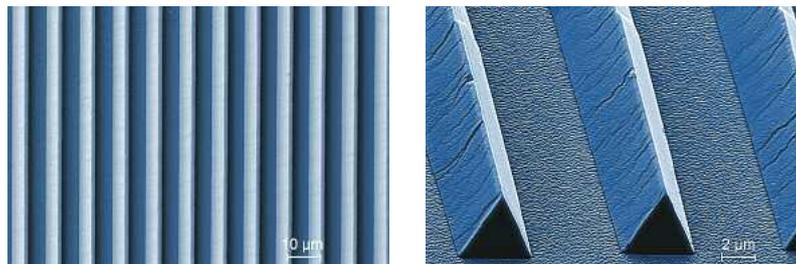
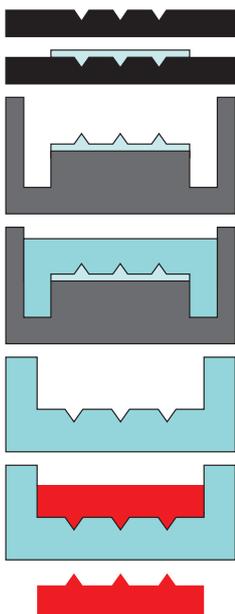




Prinzip des reibungs-
mindernden Abstreifeffektes
kleiner Partikel durch quer-
gestellte Kammstrukturen
(Quelle: TU Berlin]

Die von schmirgelnden Staubpartikeln befreiten Sandkornflächen können so mit geringer Reibung und fast ohne Abrieb über die Schwellenstruktur gleiten. Nanoskalige Spitzen auf den Schuppen dienen dabei als effiziente Ableitstrukturen für elektrostatische Aufladungen, um zu vermeiden, dass feine geladene atmosphärische Tonpartikel sich fest auf der Sandfischhaut anlagern können. Im Rahmen von Forschungsarbeiten konnten derartige Strukturen mittels mikrotechnischer Lithographie- und Abformungsverfahren nachgestellt werden, allerdings noch ohne die Zyklenbeständigkeit des Vorbildes aus der Natur (Rechenberg et al. 2009).

In der Technik bietet das Prinzip dieses mikrostrukturierten Abstreifkammes Potenziale in Anwendungen, bei denen Schleifpartikel zwischen Grund- und Gegenkörper zum Verschleiß führen, wie z. B. bei Fußbodenbelägen aber auch landwirtschaftlichen Maschinen, Geräten in der Kohle- und Abraumförderung sowie Granulierungsapparaten und Sinteranlagen. Der Sandfisch könnte hier als ein Vorbild für die Entwicklung einer effizienten und weitgehend wartungsfreien Trockenschmierung dienen, um die Nachteile des Einsatzes von Schmierstoffen wie Kontamination und Entsorgungsproblematik zu vermeiden.



Oben: Künstlich erzeugte „Mikrokämme“ als reibungsmindernde Struktur nach dem biologischen Vorbild des Sandfisches

Links: Herstellungsverfahren auf Basis einer geätzten Silizium-Masterform, die über mehrere Prozessschritte in ein Polymer abgeformt wird (Quelle: IZM Berlin]

2.1.4 Nano- und Mikrostrukturen für optische Effekte

Ziel: Lichtbeständige attraktive Farben

Biologisches Vorbild: Farberzeugung an Strukturen bei Schmetterlingen oder Käfern

Wirkprinzip: Lichtinterferenz an strukturierten Oberflächen und Materialien

Abstraktion: Dünne Metalloxidschicht auf Trägerpartikel (aus Siliziumdioxid) führt ebenfalls zu Interferenz des Lichtes. Es entsteht ein richtungsabhängiger irisierender Farbeindruck.

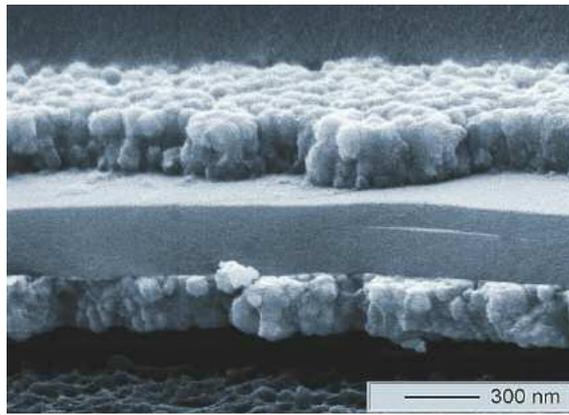
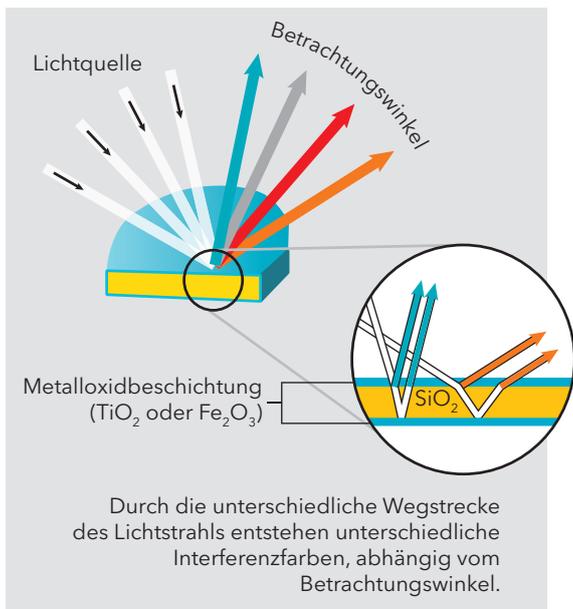
Produkt: Interferierende Pigmente, Anwendung z. B. in Autolacken, Kosmetikfarben oder Verpackungen

Morphofalter und Käfer mit intensiver metallisch glänzender Farbgebung auf Basis nanostrukturierter Oberflächen (Quellen: links: Wikipedia public domain, rechts: MPI für chemische Ökologie)



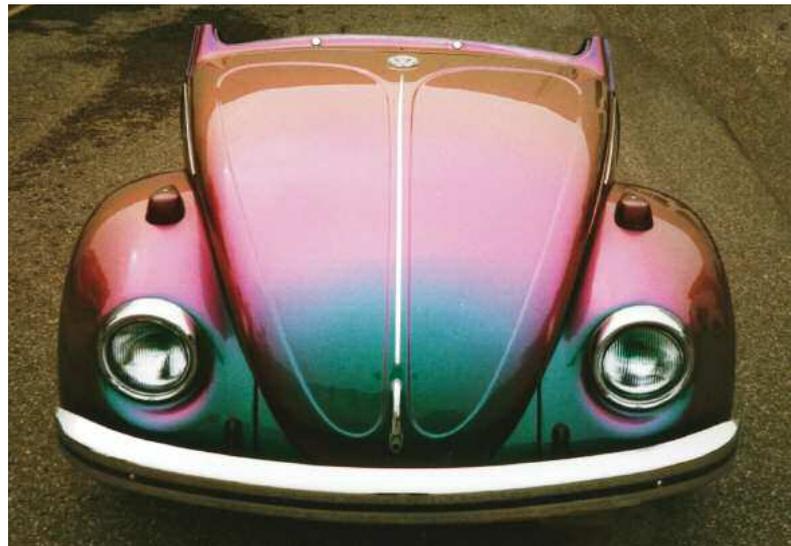
Farbeindrücke bestimmen unser optisches Wahrnehmungsvermögen und ästhetisches Empfinden. Farben sind in vielen Industriebereichen, etwa als Codierung oder Gefahrenhinweis, vor allem aber im Konsumgüterbereich von entscheidender Bedeutung. Eine attraktive Farbgebung entscheidet oftmals über Erfolg oder Misserfolg eines Produktes, z. B. bei Kosmetikartikeln oder Verpackungen. Obwohl die Entwicklung und Nutzung von Farbstoffen bereits die gesamte Kulturgeschichte der Menschheit begleitet hat, blieben bestimmte Farbeffekte, wie sie in der Natur beobachtet werden, lange Zeit unerklärlich. Eindrucksvolle Beispiele sind der Perlglanzeffekt bestimmter Muschelsorten oder das changierende Farbspiel spezieller Insektenpanzer, Schmetterlingsflügel oder Pfauenfedern. Die schillernden Farben entstehen dabei ohne molekulare, organische Farbstoffe allein durch Interferenzeffekte auf Basis von Nano- und Mikrostrukturen der jeweiligen Oberflächen. Die Oberflächen bestehen dabei aus zweidimensionalen kristallinen Strukturen, die

eine regelmäßige Gitterstruktur bilden. Dabei entsteht in Abhängigkeit vom Betrachtungswinkel ein unterschiedlicher Farbeindruck. Anders als etwa beim Regenbogen wird das auftreffende Licht nicht spektral zerlegt sondern jeweils Anteile des Lichts an unterschiedlichen Strukturen der Oberfläche reflektiert. Der geringe Unterschied in der zurück gelegten Wegstrecke der reflektierten Strahlen verursacht eine Überlagerung der elektromagnetischen Wellen, die sich je nach Wegunterschied auslöschen oder verstärken können. Da das Licht aus Wellen verschiedener Wellenlängen besteht, werden beispielsweise blaue und rote Wellenlängen unterschiedlich verschoben. So kann das blaue Licht verstärkt werden, während das rote Licht verschluckt wird. Technisch werden derartige Strukturen beispielsweise für Effektpigmente in der Kosmetik oder bei Autolacken genutzt. Je nach Betrachtungswinkel und Dicke der Pigmentschichten entstehen wechselnde Farbeffekte beim Beobachter.



Oben: Interferenzpigmente bestehen aus einem Siliziumdioxidkern und einer nanoskaligen Metalloxidbeschichtung. Auf das Pigment auftreffende Lichtstrahlen werden teilweise an der oberen und teilweise an der unteren Grenzschicht zwischen Metalloxidbeschichtung und Siliziumdioxidkern reflektiert. Durch Interferenzeffekte ergeben sich je nach Betrachtungswinkel unterschiedliche Farbwirkungen. (Quelle: Merck)

Rechts: Effektlackierung durch Interferenzpigmente. Interferenzpigmente bewirken einen mit dem Betrachtungswinkel wechselnden Farbeindruck, wie in der Abbildung anhand eines Automobillackes demonstriert wird. (Quelle: Dupont Deutschland GmbH)



Ziel: Antireflectionseigenschaften für transparente Oberflächen

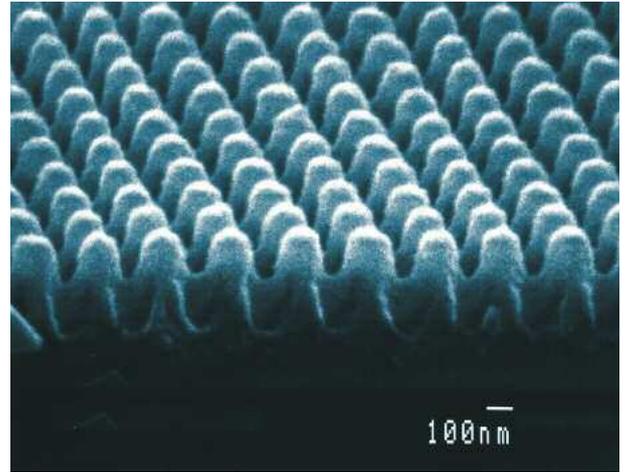
Biologisches Vorbild: Lichtsammeleffekt bei Augen nachtaktiver Motten

Wirkprinzip: Nano-/ mikrostrukturierte Linsenoberflächen sorgen für einen fließenden Übergang des Brechungsindex zwischen Luft und Mottenaugen. Dadurch lassen sich Reflexionsverluste vermeiden und die Lichtausbeute im Auge erhöhen („Mottenaugeneffekt“).

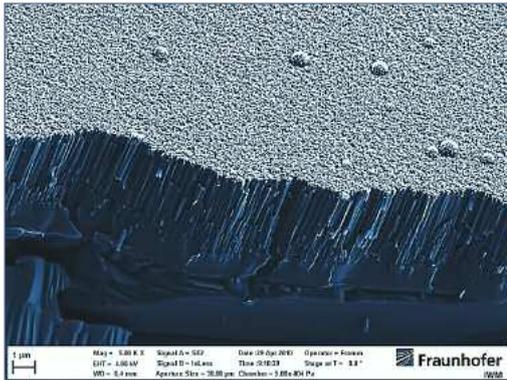
Abstraktion: Säulenartige Nanostrukturen oder nanoporöse Siliziumdioxidbeschichtungen auf transparenten Oberflächen ermöglichen einen fließenden Übergang des Brechungsindex zwischen Luft und Substrat und sorgen für Antireflectionseigenschaften. Die Antireflectionsschichten lassen sich mittels Beschichtungs- oder Prägeverfahren auf Glas- und Kunststoffsubstraten erzeugen.

Produkte: Entspiegelung von Displays und Architekturglas, erhöhte Lichtausbeute bei Solarzellen

Wiener Nachtpfauen-
auge (Quelle: André
Künzelmann/UFZ)



Künstliche Antireflexionsoberfläche, bei der nanoskalige
Strukturen nach dem natürlichen Vorbild von Mottenaugen zu
entspiegelnden Eigenschaften führen (Quelle: Fraunhofer ISE)

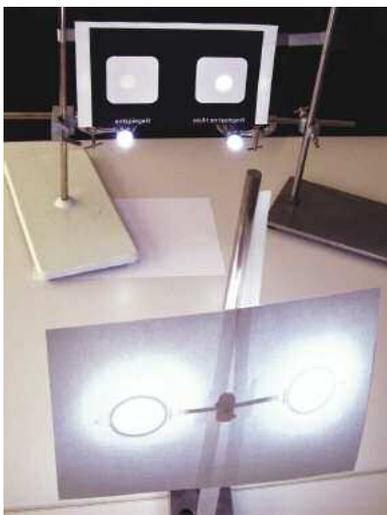


Elektronenmikroskopie-Aufnahme einer Motten-
augenstruktur auf einer entspiegelten Kunststoff-
oberfläche (Quelle: Fraunhofer IWM, Freiburg)

Ein weiterer in der Natur vorkommender optischer Effekt sind antireflektierende Eigenschaften und Lichtsammelleffekte, wie sie bei Augenlinsen nachtaktiver Insekten (z. B. Motten) vorkommen. Durch eine facettenartige Mikro-/Nanostruktur des Mottenauges wird der Brechungsindex zwischen umgebender Luft und der Linsenoberfläche fließend angepasst, so dass Lichtbrechung und -reflektion vermieden wird. Das einfallende Licht gelangt weitgehend vollständig in das Mottenauge und wird somit möglichst effizient genutzt. Technisch wird der Mottenaugeneffekt beispielsweise zur Entspiegelung von Displays oder Solarzellen eingesetzt.

Wichtig ist es dabei, die entspiegelten Strukturen möglichst kostengünstig und mit hoher mechanischer Stabilität herzustellen. Entspiegelte Gläser lassen sich beispielsweise durch Sol-Gel-Beschichtungen herstellen, bei denen sich durch ein Tauchverfahren auf dem Glassubstrat eine nanoporöse Antireflexschicht aufbringen lässt, die die Lichtreflexion auf ca. 2% reduziert (vgl. Hessen-Nanotech 2008). Mittlerweile sind auch Verfahren entwickelt worden, mit denen sich Antireflexstrukturen auf Kunststoffsubstraten kostengünstig herstellen lassen. Dabei werden die gewünschten Strukturen durch ein Beschichtungsverfahren in einer Gussform erzeugt und mit einer speziellen Spritzgusstechnik in einem einzigen Prozessschritt auf entspiegelte Kunststoffscheiben übertragen.

Demonstration des
Entspiegelungseffekts
(Quelle: Fraunhofer
IWM, Freiburg)



Entspiegeltes
Kunststoffdisplay
eines Autotachos
(Quelle: Fraunhofer
IWM, Freiburg)

2.1.5 Effiziente Stofftrennung und Filtration

Ziel: Mehrphasige Stofftrennung, Wassergewinnung aus Nebel

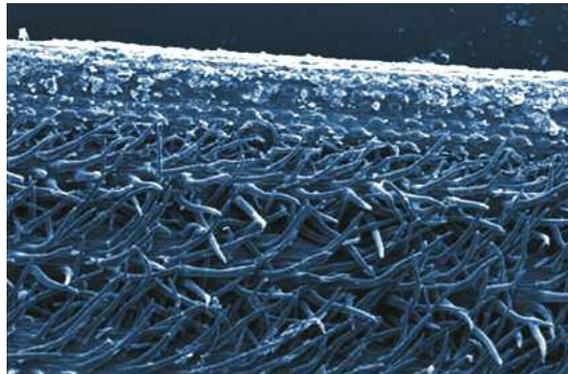
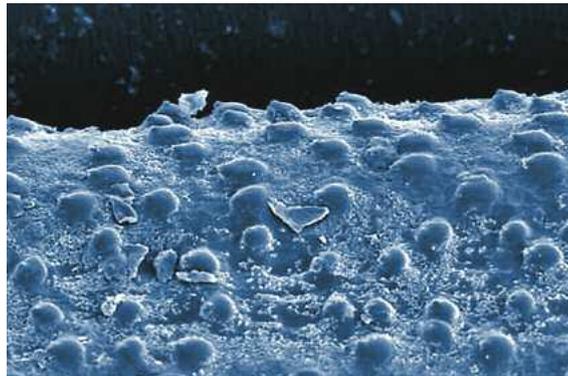
Biologisches Vorbild: Dünengras

Wirkprinzip: Mit dreidimensionaler Blattstruktur werden Nebeltröpfchen kondensiert

Abstraktion: Nanostrukturierte Filtermedien oder Koaleszenzabscheider mit veränderter Filterarchitektur

Entwicklungsstand: Potenziale bei Trennverfahren für Ölemulsionen, Wassergewinnung in Wüsten

Stofftrennung und Filtration gehören zu den Grundoperationen in der chemischen Verfahrenstechnik und sind demnach von immenser wirtschaftlicher Bedeutung. Trotz ausgereifter Filtrationstechniken stellt insbesondere eine effiziente und kostengünstige Abtrennung sehr feiner Stoffgemische wie etwa gesundheitsgefährdender Stoffe aus Industrieprozessen immer noch eine Herausforderung dar. Das Problem mehrphasige Stoffgemische voneinander zu trennen ist nicht nur eine technische Fragestellung, sondern stellt sich auch an vielen Stellen in der Natur. Ein Beispiel ist die Abscheidung von Nebelwasser aus der Atmosphäre, wie sie von einigen Pflanzen speziell in sehr niederschlagsarmen Klimazonen praktiziert wird. Über einen wirksamen Mechanismus verfügt eine afrikanische Grasart, die durch eine sehr filigrane dreidimensionale Blattstruktur in der Lage ist, Nebelwasser an der Blattoberfläche zu kondensieren und die sich ausbildenden Tropfen zu nutzen. Derartige Strukturen liefern Vorbilder für effiziente Nebelabscheider und neuartige Filtermaterialien. Eine Entwicklung betrifft beispielsweise Filtermedien, mit denen z.B. feinste Kühlschmierstoff-Tröpfchen in der spanenden Industrie aus Gasen effizient entfernt werden können. Nach biologischem Vorbild lassen sich neue Koaleszenzabscheider realisieren, bei denen Synergieeffekte zwischen neuartigen Filtermaterialien, Oberflächenstrukturierung und optimierter Filterarchitektur ermöglicht werden.



Die afrikanische Grasart *Stipagrostis sabulicola* ist ein effizienter Nebelabscheider aufgrund der dreidimensional mikro-nanostrukturierter Blattoberfläche. (Quelle: ITV Denkendorf)



Technische Anwendungsmöglichkeit für nanostrukturierte Koaleszenzabscheider sind spanende Fertigungsverfahren in der Industrie. (Quelle: ITV Denkendorf)

Ölbienen (*Centris* sp.)
in Aktion: Haare an
den Beinen speichern die Flüssigkeit
(Quelle: Tierökologie
Uni Bonn)



Weitere Potenziale bestehen auch bei der Entwicklung umweltfreundlicher Trennverfahren für Ölemulsionen. Basierend auf den Eigenschaften bestimmter Insektenarten wie Öl sammelnder Bienen sollen neuartige faserbasierte Filtersysteme mit extrem hoher Saugfähigkeit und Haltekapazität entwickelt werden. In der Umwelttechnik könnten diese Filter zur effi-

zienten Abtrennung öligter Bestandteile aus Öl-Wasser-Emulgatoren-Mischungen eingesetzt werden. Potenzial besteht auch für regenerierbare Ölbindetextilien, die sowohl die Einweganwendung als auch die umweltbelastende thermische Entsorgung ersetzen könnten.



Hinterbein einer Ölbienen (*Centris*) mit den typischen verzweigten Haaren
(Quelle: Tierökologie Uni Bonn)



Hinterbein einer Ölbienen (*Centris*) beladen mit Öl
(Quelle: Tierökologie Uni Bonn)



Elektronenmikroskop-Foto des Prototyps eines Textils inspiriert durch die Ölbienen
(Quelle: Tierökologie Uni Bonn)

2.2 Materialien und Bauteile

Wo klassische Ansätze der Ingenieur- und Materialwissenschaft oftmals an Grenzen stoßen, eröffnen sich durch disziplinenübergreifende Forschungsstränge der Materialtechnik und der Nanotechnologie neue Lösungsansätze für bionische Entwicklungen. Ebenso wie die Natur auf dem intelligenten Zusammenwirken nanostrukturierter Materiebausteine basiert, ist auch für die Umsetzung biologischer Effekte in die technologische Praxis die gezielte Nanostrukturierung von Werkstoffen und Oberflächen in vielen Fällen das Mittel der Wahl.

Biologische Materialien zeichnen sich durch vielfältige Eigenschaften und eine hohe Leistungsfähigkeit aus. Als Beispiel sei hier Spinnenseide genannt, die viele verschiedene Funktionen erfüllen kann (Netzbau, Kokonbau, Flugfäden, etc.) und dabei erstaunliche Eigenschaften aufweist, die im Leistungsbereich technischer Materialien liegen (fünffmal so reißfest wie Stahl, dreimal so fest wie die derzeit besten synthetischen Fasern, siehe Kapitel 2.2.5).

Solche biologischen Materialien (Spinnenseide, Perlmutter, Pflanzengewebe etc.) sind daher von besonderem Interesse für die Forschung und bilden die Grundlage für bionische Entwicklungen.

Biologische Materialien zeichnen sich häufig durch eine ausgesprochene Multifunktionalität aus, während technische Materialien in der Regel auf wenige Funktionen hin entwickelt und optimiert werden.

Ein weiteres Charakteristikum, das biologische Materialien entscheidend von vielen technischen Materialien unterscheidet, ist das biologische Wachstum. Das bedeutet, dass Materialien unter extremer Ressourcenschonung aus kleinen Einzelbausteinen aufgebaut werden; dies geschieht in der Regel unter milden Milieubedingungen. Es werden also keine hohen Temperaturen, keine extremen pH-Werte und keine hohen Drucke erforderlich, um diese leistungsfähigen Materialien zu erzeugen.

Im Zuge der anhaltenden und immer wichtiger werdenden Debatte um die Nachhaltigkeit von Produkten einschließlich ihrer Entsorgung kann auch hier von biologischen Materialien gelernt werden. Organismisch erzeugte Materialien sind in der Regel vollständig abbaubar und können wieder in den natürlichen Stoffkreislauf einbezogen werden.

Allerdings birgt diese quasi genetisch angelegte „begrenzte Nutzungsdauer“ organischer Materialien auch eine große Herausforderung für die technische Umsetzung. Technische Produkte sollen häufig möglichst langlebig sein. Aber auch hier gilt es diese Prinzipien intelligent zu erkennen und technisch zu nutzen.

2.2.1 Materialoptimierung für schärfere Klingen

Ziel: Selbstschärfende Messer für den industriellen Einsatz

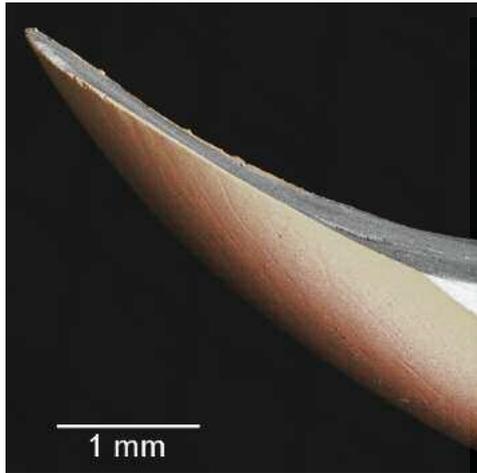
Biologisches Vorbild: Zähne von Nagetieren

Wirkprinzip: Weiche innenliegende und harte außenliegende Anteile bei Zähnen, Selbstschärfung durch gerichtete Abrasion, weiches innenliegendes Material stützt, hartes (jedoch auch sprödes) Material bildet die Schnittkante

Abstraktion: Kombination aus verschiedenen harten Materialien, die sich bei Gebrauch unterschiedlich stark abschleifen

Entwicklungsstand / Produkt: Selbstschärfende Klingen

Nagezahn der Wühlmaus (Quelle: Paläontologie der Uni Bonn)



Selbstschärfendes Schneidwerkzeug (Querschnitt) (Quelle: Fraunhofer UMSICHT)

Schneidwerkzeuge für den industriellen Einsatz müssen so lange wie möglich scharf bleiben, denn die großen Klingen verursachen hohe Kosten beim Schärfen oder durch Austausch. Selbstschärfende Klingen können diese Kosten deutlich reduzieren.

Ein biologisches Vorbild war schnell gefunden: Alle Nagetierzähne arbeiten nach dem Prinzip der „Selbstschärfung“. Eine Analyse dieser Zähne zeigt den Einsatz zweier unterschiedlich harter Materialien.

Bis man das biologische Vorbild entdeckt hatte, versuchte man es mit harten oder weichen Materialien: Die harten Materialien machten das Messer spröde und bruchanfällig, die weichen verursachten ein schnelles abstumpfen. Erst die Verbindung des „langlebigen“, stabilen Anteils mit dem „kurzlebigen“, sich schnell abschleifenden Teils der Klinge, führt zu den „rattenscharfen Zähnen“, die dem Prinzip der Zähne von Nagetieren folgen. Eine erste technische Umsetzung wurde von Fraunhofer UMSICHT bereits 2005 vorgestellt.

2.2.2 Gestaltoptimierung gegen Ermüdungsbrüche

Ziel: Brüche bei Materialermüdung und Versagensbrüche vermeiden bzw. hinauszögern

Biologisches Vorbild: Baumwachstum, Knochenwachstum

Wirkprinzip: Gleichverteilung der Spannung durch Auf- oder Abbau von Material

Abstraktion: Übertragung der Wachstumsregeln auf technische Konstruktionen

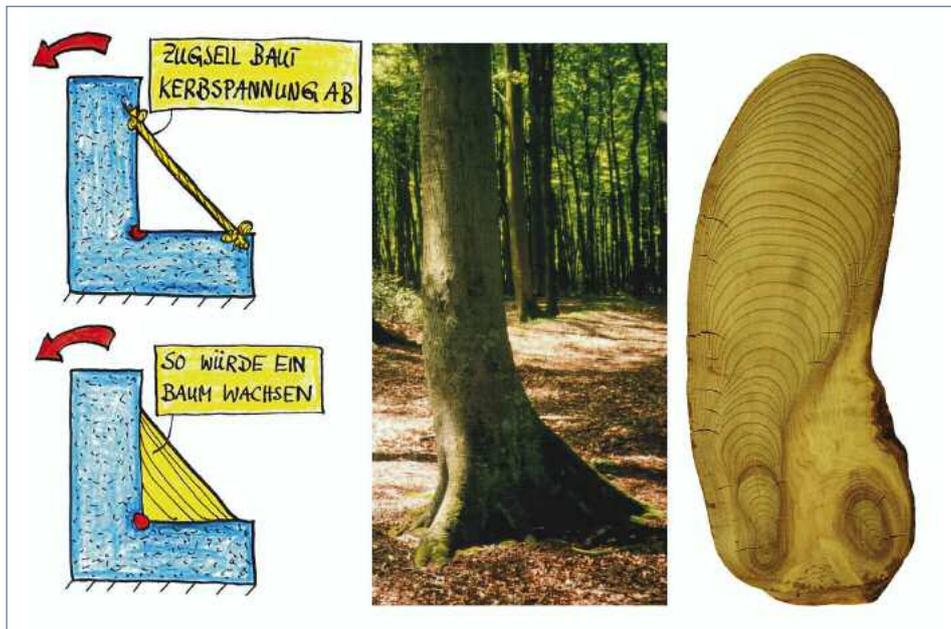
Produkt: Computerprogramme zur Berechnung der Spannung entsprechend der Wachstumsregeln

Versagensbrüche von Bauteilen werden häufig durch wiederkehrende Belastungen ausgelöst (Ermüdungsbrüche). Diese zu vermeiden ist nicht nur eine Frage der Kostenersparnis, sondern kann, z. B. im medizinischen Bereich beim Einsatz von Implantatschrauben, lebensnotwendig sein.

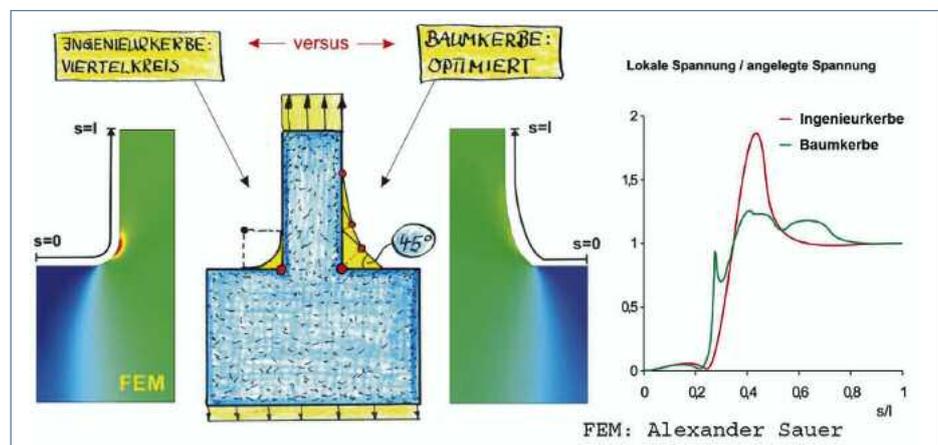
Für das einwandfreie Funktionieren von biologischen Strukturen und auch technischen Bauteilen ist neben den Materialeigenschaften auch die Gestalt von großer Bedeutung. Biologische Strukturen können ihre Gestalt unter Belastung (z. B. Bäume) oder auch unter mangelnder Belastung (z. B. Knochen) durch Wachstum adaptiv anpassen. Dadurch können Spannungen konstant verteilt und Versagensbrüche vermieden werden.

Diese Wachstumsregeln können simuliert werden und als Basis für Optimierungsprogramme verwendet werden, um ein versagenssicheres Bauteil mit möglichst geringem Gewicht zu konstruieren. Das zu optimierende Bauteil wird dabei rechnerisch nach den gleichen Wachstumsregeln gestaltet, wie sie beispielsweise bei Holz oder Knochen anzutreffen sind (siehe Kapitel 3.3).

Die Übertragung dieser Gesetzmäßigkeiten in technische Anwendungen wurde maßgeblich am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) durchgeführt, das auch entsprechende Computerprogramme entwickelte, um die Gestaltoptimierung für technische Formen berechnen zu lassen. Inzwischen liegen auch anschauliche und einfache Vorgehensweisen für Geodreieck und Taschenrechner vor:



Quelle: Prof. Mattheck, KIT Karlsruhe



2.2.3 Technischer Pflanzenhalm

Ziel: Leichte Hohlrohrkonstruktion mit hoher Bruch- und Knickstabilität sowie guten Dämpfungseigenschaften

Biologisches Vorbild: Pfahlrohr und Schachtelhalm

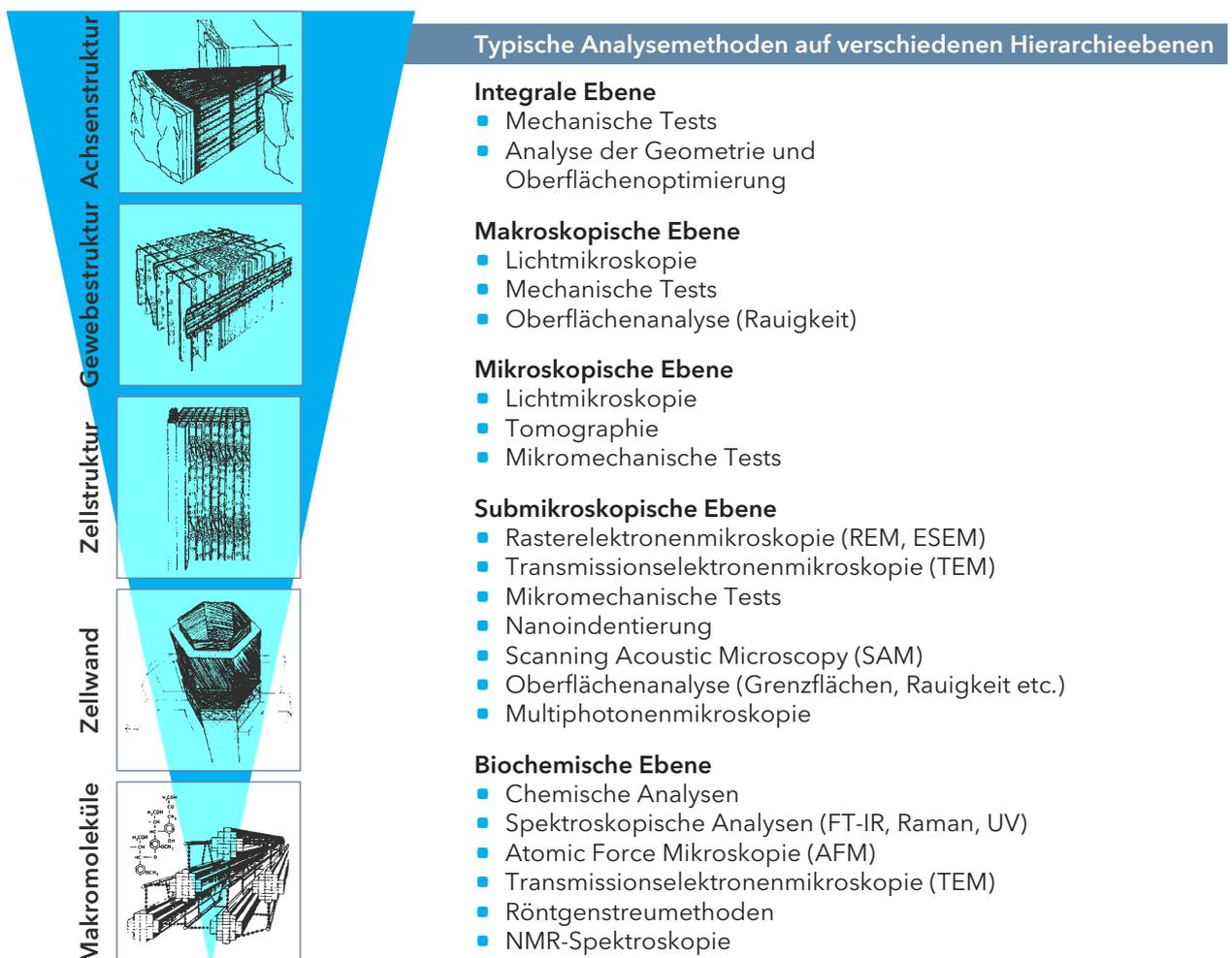
Wirkprinzip: Hohlrohre mit hierarchisch angeordneten Faserverbänden

Abstraktion: Kombination von Faserverbundmaterialien mit Hohlrohrstrukturen, umgesetzt über Pultrusionsverfahren

Produkt: Technischer Pflanzenhalm

Möglichst geringes Gewicht bei gleichzeitig maximaler Stabilität mit zusätzlich hervorragenden Dämpfungseigenschaften in eine einzige Struktur zusammenzubringen sind technisch immer noch eine große Herausforderung. Pflanzliche Vorbilder gibt es dazu genügend, jeder Grashalm ist in dieser Hinsicht eine fantastische Leichtbaukonstruktion der Natur.

Die hohe Fehler- und Versagenstoleranz solcher biologischer Systeme hängt zum großen Teil mit ihrem modularen Aufbau zusammen. Diese Eigenschaft wird auch heute schon häufig in technischen Systemen genutzt, meist jedoch auf der Ebene der Bauteile (z.B. Karosseriebau). Auf der Ebene des Materials kann hier noch viel von der Natur gelernt werden.



Bildquellen: Ingo Burgert, MPI Potsdam Golm / Plant Biomechanics Group Freiburg



Der technische Pflanzenhalm, ein bionisches strukturoptimiertes Faserverbundmaterial, mit den biologischen Vorbildern Pfahlrohr (links) und Schachtelhalm (rechts).
(Quelle: Plant Biomechanics Group Freiburg)

Da biologische Materialien und Strukturen fast immer hierarchisch aufgebaut sind, ist eine gründliche Analyse auf verschiedenen Längenskalen im Vorfeld jeder bionischen Lösungsstrategie unbedingt notwendig. Es muss geprüft werden, ob die Randbedingungen, die für das biologische Vorbild gelten, auch für die technische Umsetzung relevant sind. Erst durch die Abstraktion, d. h. das Loslösen des gefundenen Prinzips vom biologischen Vorbild, kann eine bionische Umsetzung gelingen.

Die Erkenntnisse aus den Analysen wurden im so genannten „Technischen Pflanzenhalm“ von der Universität Freiburg und dem Institut für Textil- und Verfahrenstechnik Denkendorf umgesetzt. Die hohe Biegesteifigkeit wurde vom Schachtelhalm (*Equisetum*) abstrahiert, während die besonderen Dämpfungseigenschaften vom Pfahlrohr (*Arundo donax*) abstrahiert wurden. Der zum Patent angemeldete Technische Pflanzenhalm ist ein bionischer Faserverbundwerkstoff, der im Flechtpultrusionsverfahren hergestellt wird. Trotz seines geringen Gewichts weist er eine hohe Biege- und Knickstabilität auf. Außerdem kann er Schwingungen gut abdämpfen. Diese bionische Umsetzung von Material und Struktur in ein technisches Hohlrohr kann z. B. zur Aufnahme von Leitungen dienen.

2.2.4 Anorganisch-organische Hybridmaterialien

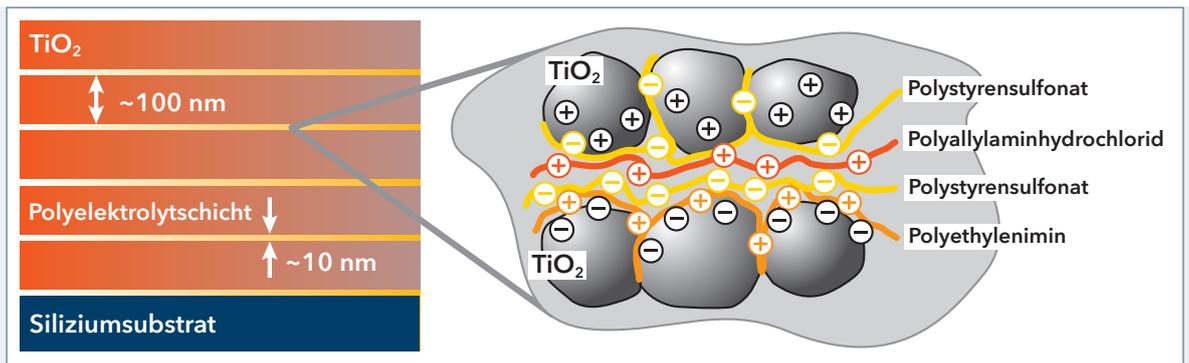
Ziel: Werkstoffe mit multifunktionalem Eigenschaftsprofil
(z. B. hohe Druck- und Bruchfestigkeit, Härte, Biokompatibilität)

Biologisches Vorbild: Knochen, Zähne, Perlmutter

Wirkprinzip: Hierarchisch aufgebaute anorganisch-organische Hybridmaterialien

Abstraktion: Kombination anorganischer Materialien und Polymere in Selbstorganisationsprozessen

Entwicklung / Produkt: Künstliches Perlmutter, Knochenersatzmaterial



Stabile Sandwichstruktur als Perlmutterimitat: Nanoschichten aus Titandioxid und Polymer machen ein Verbundmaterial besonders bruchfest, wenn ihre Dicken im Verhältnis 10:1 zueinander stehen. (Quelle: MPI für Metallforschung)

Herkömmliche Werkstoffe sind oftmals limitiert, wenn es darum geht, verschiedene technische Eigenschaften und Funktionen in einem Material zu vereinen. So ist Keramik zwar sehr hart, dafür aber spröde und wenig bruchfest. Ganz anders einige Materialien, die aus der Natur bekannt sind. Knochen oder Perlmutter sind hochleistungsfähige Materialien, die eine hohe Härte mit Elastizität, Druck- und Bruchfestigkeit kombinieren.

Ein Ziel aktueller materialwissenschaftlicher Forschung ist es daher, organisch-anorganische Hybridmaterialien mit vergleichbarer Struktur wie in der Natur vorkommende Biomineralien und -keramiken technisch herzustellen. Ein seit längerem untersuchtes Biomineral ist Perlmutter, das aus alternierenden Schichten von Aragonit (Kalziumcarbonat) und einem Biopolymer besteht. Dank der nanoskaligen Laminatstruktur weist das Material eine bis zu 3000 mal höhere Bruchzähigkeit auf als gewöhnlicher Kalk.

Inzwischen wurden verschiedene Verfahren entwickelt, derartige Strukturen technisch herzustellen. Beispielsweise gelingt es durch Reaktion einer Mischung aus Metalloxiden, organischer Monomeren und Tensiden durch Selbstorganisation eine vergleichbare laminatartige Struktur auf einem Substrat zu erzeugen. Es entsteht eine optisch transparente, sehr harte Beschichtung, die z. B. für die Veredlung von Oberflächen verwendet werden kann.

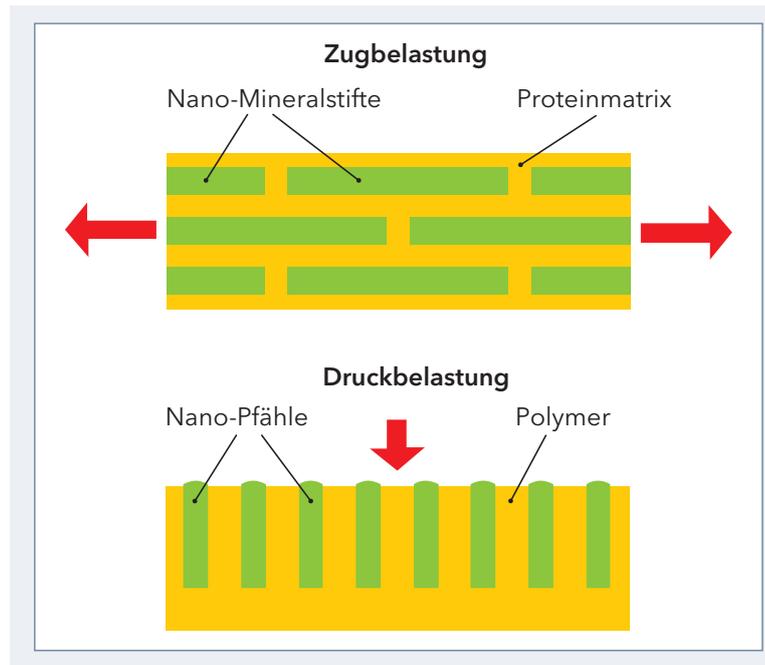
Knochen sind ein weiteres Beispiel für Biokeramiken als ein hoch komplex strukturiertes Hybridmaterial aus organischen und anorganischen Bestandteilen, das im gesunden Organismus einem ständigen Umbau unterworfen ist. Durch verschiedene Krankheitsbilder und Alterserscheinungen kann das Gleichgewicht zwischen Auf- und Abbau gestört werden. Künstliche Materialien für den Zahn- und Knochenersatz sind deshalb im Fokus biomedizinischer Materialentwicklungen. Der Schlüssel hierzu liegt im Verständnis der Nanostruktur und geeigneten Verfahren zu deren Herstellung. Ein erfolgreicher Ansatz besteht darin, künstliche Materialien zu erzeugen, die als Substrat für körpereigene Zellen dienen und so die Selbstheilungskräfte unterstützen. Bereits auf dem Markt sind nanostrukturierte Biomaterialien, die Anwendung finden als Knochenaufbaumaterial bei Knochendefekten.



Schale mit Perlmutter (Quelle: Uni Göttingen)

Die Materialien bestehen aus nanostrukturierten Hydroxylapatitkristalliten, die zwischen Kollagenfibrillen eingelagert werden und so die nanostrukturierte, extrazelluläre Matrix des Knochens nachahmen. Im Werkstoffverbund sind die Hydroxylapatitkristallite mit Siliziumdioxid-Nanopartikeln vernetzt, wobei ein nanoskaliges Porensystem entsteht. Die so gebildete Struktur unterstützt die Anbindung körpereigener Proteine und fördert somit den Heilungsprozess durch den Wiederaufbau körpereigenen Knochenmaterials. Weitergehende Entwicklungen umfassen die Integration wachstumsfördernder Substanzen in die Knochenersatzmatrix. Forschern ist es beispielsweise gelungen, aus natürlichen Aminosäuren Nano-Kapseln zu erzeugen, in die Wachstumsfaktoren eingeschlossen werden. Durch kontinuierliche Abgabe des Wirkstoffes wird der Knochenaufbau begünstigt und der Heilungsprozess beschleunigt.

Neue Erkenntnisse zur Herstellung von Biomaterialien lassen sich auch aus Untersuchungen zur Biosynthese anorganischer Verbindungen in biologischen Organismen wie beispielsweise Tiefseeorganismen ableiten, deren Strukturen einen enormen Druck aushalten müssen. Durch generelle mechanistische Überlegungen lassen sich Zielstrukturen für das Design bionischer Hybridwerkstoffe definieren. So lässt sich durch längliche parallel zur Oberfläche in die Polymermatrix eingebettete mineralische Nanostrukturen die Zugfestigkeit des Komposits verbessern, während für eine Erhöhung der Druckfestigkeit eine senkrechte „Pfahlanordnung“ der anorganischen Nanostrukturen gewählt werden sollte.



Mechanistische Grundlagen zum Design nanostrukturierter Biokomposite mit verbesserter Zugfestigkeit (oben) und Druckfestigkeit (unten). Durch parallele Ausrichtung der Nanostrukturen zur Kraftwirkung wird der jeweilige Verstärkungseffekt erzielt. (Quelle: TU Berlin, Prof. Rechenberg)

2.2.5 Hochfeste und elastische Kunststofffasern

Ziel: Herstellung besonders stabiler und reißfester Fasern

Biologisches Vorbild: Zusammensetzung und Aufbau der Spinnenseide

Wirkprinzip: Kombination von Material- und Struktureigenschaften

Abstraktion: Biotechnologische Herstellung der Proteine, kombiniert mit bionischer Verspinnentechnik der Fäden zur Strukturnachbildung

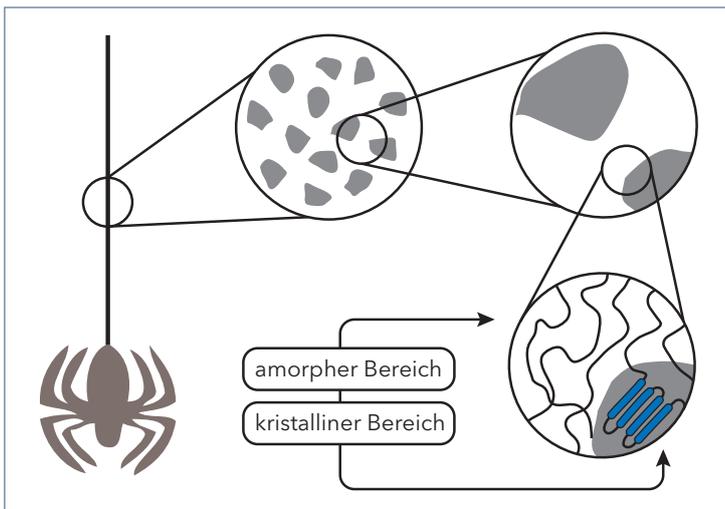
Entwicklungsstand / Produkt: Dreidimensionale Faserstrukturen, z. T. mit Metallionen imprägniert

Im Bereich textiler Fasern stellen Eigenschaften wie Reißfestigkeit und Elastizität für innovative Entwicklungen die großen Herausforderungen dar. Dabei muss eine Faser möglichst reißfest und gleichzeitig noch sehr elastisch sein.

Im Bereich der Biopolymere finden sich herausragende Werkstoffe mit technisch z.T. unerreichten Eigenschaften. Ein beeindruckendes Beispiel ist hierbei die Spinnenseide, die fünfmal so reißfest ist wie Stahl, dreimal so fest wie die derzeit besten synthetischen Fasern und zugleich äußerst elastisch. Die chemische Zusammensetzung und der strukturelle Aufbau von Spinnenseide sind mittlerweile aufgeklärt. Spinnenfäden bestehen aus Proteinketten, die z.T. über physikalische Wechselwirkungen miteinander vernetzt sind, um für Stabilität zu sorgen. Dazwischen finden sich unvernetzte Bereiche, die den Faden elastisch machen. Die besondere Funktionalität des Spinnfadens resultiert dabei zu großen Teilen aus der Besonderheit des Spinnprozesses, weniger durch die Variation des Materials an sich. Durch Variation der Spinnparameter sind Spinnen in der Lage, Spinnfäden mit unterschiedlicher Funktionalität zu spinnen, wie z. B. klebrige Fangfäden und stabile Konstruktionsfäden.

Mit Hilfe biotechnologischer Verfahren lassen sich Spinnenseidenproteine künstlich herstellen. Als Ausgangsmaterial für industrielle Anwendungen werden pulverförmige Seidenproteine genutzt, die sich beispielsweise mit Elektrospinverfahren in fadenförmige Makromoleküle überführen lassen. Aus diesen Fasern lassen sich unterschiedliche Strukturen mit breiten Anwendungspotenzialen in der Technik herstellen. Vliesstoffe können beispielsweise in Anlagen zur Staubfilterung und Luftreinhaltung eingesetzt werden. Weiterhin können die Proteine zu sehr dünnen und widerstandsfähigen Folien und Filmen weiterverarbeitet werden, die Anwendungspotenziale in der Medizin- oder Verpackungstechnik aufweisen. Bio- und nanotechnologische Ansätze verfolgen die weitere Optimierung von Spinnseidenproteinen durch chemische Funktionalisierung, wie z. B. der Metallisierung durch Gasphasenabscheidungsverfahren.

Spinnfäden sind fünf Mal reißfester als Stahl und zugleich äußerst elastisch. Dennoch lässt sich das natürliche Material weiter verbessern. Mit Metallionen infiltriert, hält ein doppelt genommener Spinnfaden sogar einen ca. 30 Gramm schweren Würfel, dreimal mehr als der natürliche Faden. (Quelle: MPI für Mikrostrukturphysik)



Struktur von Spinnenseide
(Quelle: DGM)

2.3 SelbstX-Eigenschaften

Materialversagen verursacht enorme volkswirtschaftliche Schäden und bedroht tagtäglich unsere Sicherheit. Technische Systeme und Materialien haben im Gegensatz zu biologischen Organismen und Materialien nicht die Fähigkeit sich selbst zu reparieren. Schlaglöcher, die sich von alleine schließen oder defekte Brückenpfeiler, die sich selbst reparieren, zählen daher bislang allenfalls zu den Zukunftsvisionen und Wunschträumen von Materialwissenschaftlern.

Einige spezifisch biologische Materialeigenschaften rücken in jüngster Zeit jedoch vermehrt in den Fokus des technischen Interesses. Dazu zählen die Fehler- und Versagenstoleranz, die sogenannten SelbstX-Eigenschaften (z.B. Selbstreparatur, Selbstorganisation, Selbstanpassung etc.) und die Modularität (d.h. die Besonderheit biologischer Systeme modular aufgebaut zu sein).

2.3.1 Selbstreparatur von Werkstoffen

Ziel: Reparatur von Haarrissen

Biologisches Vorbild: Regeneration von lebendem Gewebe

Wirkprinzip: Selbstheilungsprozesse und Wachstum

Abstraktion: Reparatur von Haarrissen durch Schäume und Polymere nach dem Aufreißen von Kapseln im Grundmaterial

Entwicklungsstand / Produkt: Selbstreparatur von Polymermaterialien

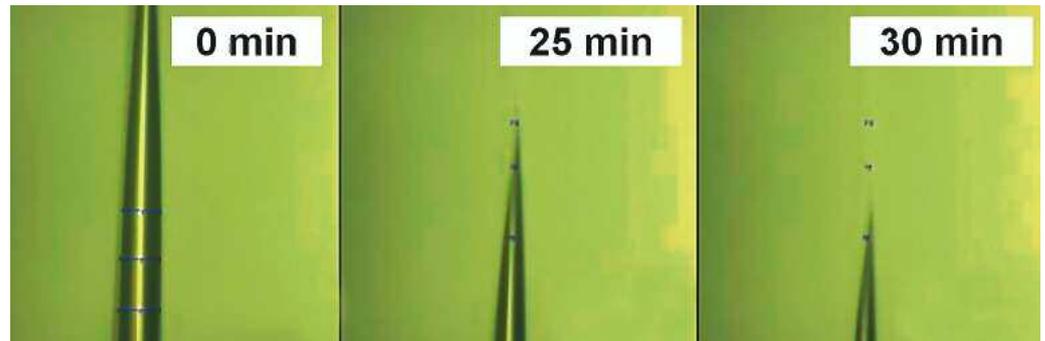
Haarrisse sind häufig eine erste Ursache für eine fortschreitende Materialermüdung in tragenden Bauteilen und Konstruktionen wie etwa bei Brücken, Autos oder Flugzeugen. Sie sind schwer zu detektieren, und es ist fast unmöglich solche frühen Ermüdungserscheinungen oder Beschädigungen zu reparieren.

Dagegen ist die Fähigkeit natürlicher Organismen, sich bei Verletzungen selbst zu regenerieren, einer der faszinierendsten Mechanismen in der Biologie. Die Übertragung derartiger Prozesse auf technische Werkstoffe und Systeme steckt derzeit noch in den Kinderschuhen. Dennoch gibt es in den letzten Jahren verstärkte Bemühungen selbstheilende Materialien zu entwickeln, um die Lebensdauer von Werkstoffen in verschiedenen Anwendungen zu verbessern, insbesondere in strukturellen Bauteilen, aber auch in der Mikroelektronik. Das Ziel ist es, Ermüdungserscheinungen oder Beschädigungen von Werkstoffen wie Risse, Kratzer oder Korrosionslöcher autonom reparieren zu lassen. Fortschritte in der Mikro- und Nanotechnik sowie Bionik haben zu ersten Lösungs-

ansätzen für die Umsetzung technischer Selbstheilungsmechanismen geführt. Benötigt werden hierbei sowohl ein beständiges Füllmaterial als auch ein selbstgesteuerter Mechanismus zum Auslösen des Heilungsprozesses.

Am weitesten ausgereift sind bislang Selbstheilungskonzepte von Polymermaterialien. Ein interessanter Ansatz basiert auf dem Einsatz von Mikro- bzw. Nanokapseln, die flüssige reaktive Monomere enthalten und zusammen mit einem Katalysator im Kunststoffbauteil verteilt sind. Tritt ein Riss im Material auf, werden dabei auch einige Kapseln beschädigt und der Inhalt verteilt sich in der Lücke. Durch Reaktion mit dem in der Matrix dispergierten Härter bzw. Katalysator wird ein Polymerisationsprozess ausgelöst, der den Riss durch ein stabiles Polymer-Netzwerk wieder verschließt. Auch wenn der Aushärtungsprozess dabei einige Stunden dauern kann, ist es möglich, feine Mikrorisse beispielsweise in Kunststoffplatinen elektronischer Bauteile zu schließen, bevor sich die Materialschädigung weiter ausbreiten kann.

Erste Erfolge auf dem Weg zu selbstheilenden Werkstoffen: Elastomere mit Vernetzungsadditiven können Mikrorisse von selbst reparieren. (Quelle: Fraunhofer UMSICHT)



Das Interesse an selbstreparierenden Materialien und Beschichtungen ist dort besonders groß, wo hohe Sicherheitsanforderungen erfüllt werden müssen, z.B. in tragenden Strukturen von Fahrzeugen,

Flugzeugen oder Satelliten. Durch selbstheilende Materialien könnten kostenintensive Ausfallzeiten und Reparaturen reduziert werden.

2.3.2 Strukturierung durch Selbstorganisation

Die Herstellung komplexer Einheiten aus hierarchisch aufgebauten Einzelkomponenten ist technisch nicht nur sehr schwierig, sondern auch extrem kostenintensiv. Wenn das Ausgangsmaterial hingegen in der Lage ist, sich selbst in die gewünschte Struktur zu bringen, könnten enorme Kosten eingespart werden. Die Selbstorganisation von Materialbausteinen zu komplexen Einheiten ist eines der Grundprinzipien für Strukturbildung und Wachstum in der Natur. Bausteine wie Atome, Moleküle, Molekülverbände oder Partikel ordnen sich selbstgesteuert zu übergeordneten Strukturen, wobei die Baupläne implizit im Ausgangsmaterial enthalten sind. Diese Prozesse bilden die Basis auch für sehr komplexe Prozesse wie die Replikation von DNA-Strängen, die Selbstorganisation von Proteinen oder die Selbstheilung biologischen Gewebes.

Technisch wird versucht, sich Prinzipien der Selbstorganisation zunutze zu machen, um funktionelle Materialien deutlich kostengünstiger herzustellen, als dies mit üblichen Strukturierungsverfahren möglich wäre. Die Strukturen, die sich mit technischen Selbstorganisationsverfahren herstellen lassen, sind dabei noch deutlich einfacher als die Vorbilder in der Natur und beschränken sich meist auf ein- bis zweidimensional strukturierte Systeme wie Partikel, Hohlkapseln, Drähte oder Oberflächen.

Als Bausteine für technische Selbstorganisationsprozesse eignen sich sowohl Biomaterialien wie DNA, Lipide oder Proteine als auch chemische Substanzen wie funktionalisierte Nanopartikel oder Makromoleküle.

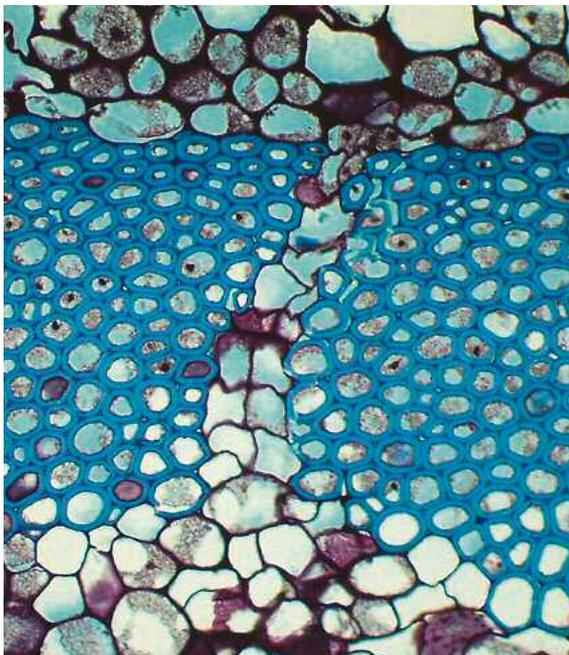
Aber auch mit anorganischen Ausgangsstoffen lassen sich Selbstorganisationsprozesse realisieren, z.B. auf Basis des industriell etablierten Sol-Gel-Verfahrens. Vernetzbare Moleküleinheiten, in der Regel auf Basis von Siliziumverbindungen, verbinden sich hierbei selbstgesteuert in einer Reaktionslösung zu Nanopartikeln und daraus aufgebauten Strukturen. Je nach Wahl der Reaktionsbedingungen und der chemischen Funktionalisierung der Ausgangsmoleküle lassen sich dabei nanostrukturierte Fasern, nanoporöse Festkörper oder Beschichtungen mit einem breiten Eigenschaftsspektrum realisieren. Derartige Selbstorganisationsprozesse werden heute bereits erfolgreich für kommerzielle Umsetzungen bionischer Effekte, wie z.B. der Lotus-Effect® (vgl. Kapitel 2.1.2), genutzt.

2.4 Leichtbau und Architektur

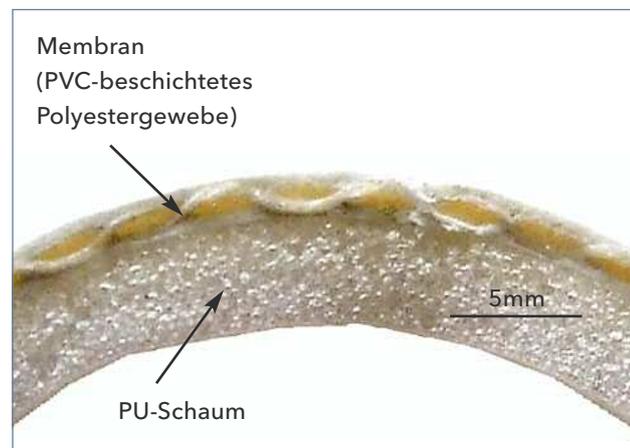
In der belebten Natur werden viele verschiedene Strategien verfolgt, mit denen sich Organismen möglichst gut an ihre Umwelt anpassen. Den meisten Strategien ist gemeinsam, dass Ressourcen effizient eingesetzt werden, was wiederum in vielen Fällen zu grandiosen Leichtbau-Konstruktionen führt, die dennoch oft erstaunliche Stabilitäten aufweisen und zusätzlich noch weitere wichtige Funktionen erfüllen (z.B. Klimaregulation). Die Entwicklung solcher effektiver und gleichzeitig kostengünstiger Konstruktionen ist eine wichtige Aufgabe der Architektur geworden.

Da biologische Leichtbaukonstruktionen oft auch den ästhetischen Sinn des Menschen ansprechen, wurden diese Konstruktionen bereits früh kopiert. Grund war oft nur der ornamentale Wert, ohne die dahinterliegenden biologischen Prinzipien zu erkennen. So gilt z.B. das Dach des Olympiastadions in München als hervorragende Leichtbaukonstruktion, ist aber keine bionische Umsetzung.

Mit dem wissenschaftlichen Ansatz der Bionik und den Möglichkeiten, die neue Materialien und Verbundwerkstoffe heute bieten, lassen sich völlig neue Wege beschreiten. So kann durch die Verlaufsrichtung und Packungsdichte von Fasern eine Vielzahl fein abgestimmter Struktureigenschaften erreicht werden, die ähnlich dem passiven Öffnen und Schließen eines Kiefernzapfens bei Austrocknung bzw. Befeuchtung für die Klimaregulation genutzt werden könnten. Auch können heutzutage Pneustrukturen, die Pflanzen- oder Tierzellen zum Vorbild haben, umgesetzt werden. Mit neuen Materialien können hier Selbstreparatur-Mechanismen (siehe Abbildungen unten) eingebaut und erstaunlich tragfähige Konstruktionen erzeugt werden. Wie bei den oben genannten Anwendungsfeldern gilt auch hier, dass die Architektur von einer Vielzahl einzelner Komponenten aus der Bionik profitieren kann. Eine Auflistung möglicher Funktionen aus der Natur, die verwertet werden könnten, findet sich in Kap. 3.6.



Selbstreparatur in einem natürlichen Gewebe. Ein Riss im blau gefärbten Gewebe wird durch in den Riss wachsende Zellen (rosa gefärbt) wieder verschlossen.
(Quelle: EMPA, Universität Freiburg)



Selbstreparaturmechanismus von Membranen durch Schaumbildung
(Quelle: EMPA, Universität Freiburg)

2.4.1 Pneustrukturen im Leichtbau

Ziel: Konstruktion von sehr leichten Flächentragwerken

Biologisches Vorbild: Strukturfestigkeit pflanzlicher und tierischer Zellen

Wirkprinzip: Stabilität durch modularen Aufbau und Druck im Inneren der einzelnen Einheiten

Abstraktion: Mit Luft gefüllte Pneustrukturen mit einer Versteifung der Oberfläche

Produkt: Tensairity®, Gewächshaus „Project Eden“



Tensairity® Demonstrations-Brücke mit 8 m Spannweite und 3.5 t max. Last (Quelle: EMPA)

Nicht in allen landschaftlichen Gebieten ist es möglich, mit schweren Geräten stabile Brücken zu bauen. So erlauben Skigebiete in schwer zugänglichen Gebirgsregionen nicht den Einsatz von schweren Maschinen. Außerdem soll oft ermöglicht werden, eine Brückenkonstruktion nur für die Wintersaison aufzustellen (z. B. um verschiedene Skigebiete mit-

einander zu verbinden), während dies im Sommer nicht nötig oder gewünscht ist. Hier werden schnell auf- und abbaubare Konstruktionen benötigt, die bei geringem Gewicht eine hohe Stabilität aufweisen. Zudem können solche Leichtbaukonstruktionen es ermöglichen, auch bei festen Installationen erhebliche Ressourcen und damit Kosten einzusparen.

Tensairity® Parkhaus Dach
28 m, Montreux, Schweiz
(Quelle: Luscher Architectes
SA & Airlight Ltd)





Gewächshaus
„Eden Project“ in
Großbritannien
(Quelle: H. Beismann)

So genannte Pneustrukturen sind in der belebten Natur ein häufiges Phänomen, wenn es um den ressourcensparenden Einsatz vom Material geht. Solche Strukturen sind sowohl sehr stabil, als auch extrem leicht. Jedes pflanzliche oder auch tierische Gewebe ist letztlich aus Zellen aufgebaut, die diesem Prinzip folgen. Die einzelnen Zellen stehen unter Druck und bauen dadurch die Stabilität des gesamten Gewebes auf, zudem werden die Zellen durch versteifende Fasern in den Zellwänden gegen Zug- und Biegekräfte geschützt. Dieses Prinzip wurde in der Produktanwendung der Tensairity®-Technologie umgesetzt. Hier handelt es sich um pneumatische, luftgefüllte Strukturen, die äußerst leicht und damit einfach zu transportieren und gleichzeitig sehr stabil sind. Die Tensairity®-Technologie ist eine Kombination aus einem mit Luft gefüllten Körper, wie zum Beispiel einer Röhre, und konventionellen Zug- und Druckelementen, also Stäben und Kabeln oder Stahlträgern.

Zusätzlich wurde in einigen Umsetzungen auch ein Selbstreparaturmechanismus eingebaut. Wird die äußere Membran beschädigt, so verschließt Schaum im Inneren das Loch. Luftgefüllte Brücken halten sogar das Gewicht eines Personenkraftwagens aus, ohne sich nennenswert zu biegen. Weitere Anwendungen sind Überdachungen von großen Hallen, Sportstadien und Plätzen.

Ein weiteres Beispiel eines Gebäudes, das das Konstruktionsprinzip der Pneustrukturen nutzt, ist das Gewächshaus des Bildungsprojektes „Eden“ in Großbritannien. Hier werden Folienkissen und Luft als tragende Elemente genutzt. Die Folienkissen stehen unter ständigem leichten Überdruck und bewahren so die Stabilität des gesamten riesigen Gewächshauses.

2.5 Robotik

In der Robotik kommen viele verschiedene Ingenieurdisziplinen zum Einsatz. Bei Robotersystemen muss der komplette Ablauf von Sensorik, Software, Elektronik und Aktorik abgestimmt ineinander greifen, damit ein gut funktionierendes Gesamtsystem entsteht. Entsprechend dieser Vielzahl an Komponenten kann auch die Bionik an vielen Stellen helfen, das Gesamtsystem eines Roboters zu optimieren. Dies reicht entsprechend von den klassischen Bionik-Feldern des Leichtbaus und der Materialverbes-

serung (siehe vorherige Kapitel) zu Strömungsminimierung (z. B. über die Optimierung der Oberfläche bei Unterwasser-Robotern, siehe Kapitel 2.1) bis zur Anwendung und Übertragung von Tierverhalten bei der Navigation und Steuerung (z. B. Schwarmverhalten von Vögeln, Fischen und Insekten für Roboterflotten). Im Bereich der elektro-mechanischen Komponenten wird der Teilbereich Biomechatronik der Bionik bedeutsam.

2.5.1 Bionischer Handlings-Assistent

Ziel: Gefahrlose Mensch-Maschine-Interaktion

Biologisches Vorbild: Elefantenrüssel

Wirkprinzip: Weicher, flexibler und muskulöser Rüssel, der als Tast- und Greiforgan eingesetzt wird

Abstraktion: Nachgiebiges gesintertes Material gepaart mit einer druckluftbetriebenen Steuerungs- und Regelungstechnik

Produkt: Bionischer Handling-Assistent

Bisherige Robotersysteme werden in der Regel aus Metall gefertigt und sind für Arbeiten bestimmt, die durch Routine geprägt sind und bei denen schwere Lasten bewegt werden müssen. Der Arbeitsraum der Maschine und des Menschen sind aus Sicherheitsgründen getrennt. Eine gefahrlose Mensch-Maschine-Interaktion kann über verschiedene Wege erreicht werden. Ein vollkommen neuer Ansatz ist, auch das Material aus dem ein Roboter gebaut wird, durch ein

nachgiebiges „weiches“ Material zu ersetzen. Dies gilt es als zusätzliche, passive Sicherung zu nutzen, denn auch die beste Steuerungstechnik hat eine gewisse Reaktionszeit, die im Fall einer ungewollten Kollision möglicherweise zu langsam reagiert, um ein System zu stoppen. Neue Materialien und die Bionik helfen dabei, eine gefahrlose Mensch-Maschine-Interaktion zu ermöglichen.

Die Grundlage für den Bionischen Handling-Assistenten bildet ein generatives Laser-Verfahren, mit dem aus einem Kunststoffgranulat die flexible Leichtbaukonstruktion der Greiferstruktur gefertigt wird. (Quelle: Deutscher Zukunftspreis / Fotos Ansgar Pudenz)





Vorbild für den Bionischen Handling-Assistenten von Festo war der Elefantenrüssel (Quelle: Festo)

Die Firma FESTO hat einen völlig neuen Weg beschritten und einen Bionischen Handling-Assistenten entwickelt, dessen Entwicklung vom Elefantenrüssel inspiriert wurde. Diese Innovation wurde im Dezember 2010 mit dem Deutschen Zukunftspreis ausgezeichnet. Dieses „Dritte-Hand“-System wurde aus einem leichten Kunststoff in einem generativen Laserfertigungsverfahren hergestellt. Betrieben wird der Bionische Handling-Assistent mit Druckluft und einer intelligenten Steuerungstechnik. Durch diese Komponenten wird eine Nachgiebigkeit garantiert, die bei einer Kollision keine Gefahr mehr für den Menschen birgt. Diese inhärente Nachgiebigkeit unterscheidet das System von Konkurrenzprodukten, insbesondere solchen bei denen die Nachgiebigkeit nur über die Steuerungs- und Regelungstechnik erzeugt werden kann, das Material aber weiterhin Metall ist.

Damit werden viele neue Anwendungsfelder eröffnet, u. a. in Bereichen in denen Menschen arbeiten und gefahrlose maschinelle Unterstützung brauchen, etwa in der Industrie, um Werkzeuge oder Bauteile einem Monteur/einer Monteurin in das Innere eines Fahrzeugs zu reichen. Aber auch der Einsatz im häuslichen Umfeld ist denkbar.



Ein mögliches Einsatzgebiet für den Bionischen Handling-Assistenten von Festo könnte das Krankenhaus sein. (Quelle: Festo)

2.6 Bionische Sensorik

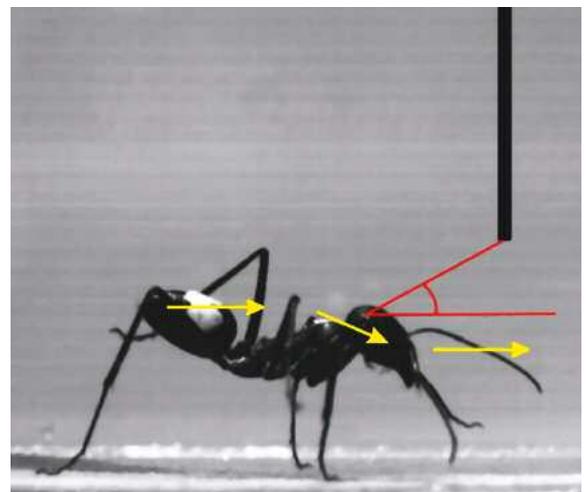


Ameise *Cataglyphis fortis* in ihrer natürlichen Umgebung. Mit einfachen Sensoren, können komplexe Aufgaben gelöst werden. (Quelle: Tobias Seidl)

Damit ein lebender Organismus in einer wechselhaften Umwelt überleben kann, muss er die Veränderungen der Umwelt sensorisch aufnehmen, diese Daten verarbeiten und eine adäquate Reaktion generieren. Dies trifft auf alle Lebewesen zu, also Tiere, Pflanzen, Pilze und Mikroorganismen gleichermaßen. Informationen werden sowohl in biologischen als auch in technischen Systemen von Sensoren geliefert. Das Gebiet der biologischen Sensorik befasst sich mit dem Messen und Dechiffrieren von für das Lebewesen relevanten Umweltparametern. Sensoren können dabei als beliebige Strukturen abstrahiert werden, die physikalische Parameter in eine Serie von Daten übertragen. Die Informationsverarbeitung setzt anschließend an (VDI 6225).

Biologische Sensorsysteme zeichnen sich gegenüber technischen Systemen durch eine frühzeitige und drastische Datenreduktion aus – alles was nicht benötigt wird, wird herausgefiltert. Haarsinneszellen an den Cerci von Grillen reagieren dann am stärksten, wenn sich ein Fressfeind in unmittelbarer Nähe befindet. Die Augen von fliegenden Insekten sind besonders auf bewegte Kontraste abgestimmt und erlauben sicheres pilotieren auch im unwegsamen Gelände. Die Kraftsensoren in den Beinen laufender Insekten reagieren besonders sensibel auf Kraftänderungen, die mit der Gangstabilität verbunden sind. Im Verbund sind einzelne Sinnesorgane in der Lage, komplizierte Reizmuster zu detektieren: Unser Tastsinn wird durch eine Vielzahl von Sensoren gebildet, die über den ganzen Körper verteilt sind. Neben der Datenreduktion ist in all diesen Beispielen auch die biologische Informationsverarbeitung von herausragendem Interesse – je intelligenter diese geschieht, desto leistungsfähiger ist das bestehende neuronale System. Die bionische Sensorik überträgt diese Grundprinzipien in technische Lösungen. Technische Antennen ertasten Hindernisse und erkennen Oberflächen, technische Fliegenaugen erlauben die Kontrolle von Raumfähren und technische Netzhäute bilden energiesparende Implantate, die nur noch selten Batteriewechsel bedürfen. Integrierte Kraftsensoren erlauben nicht nur Insekten das kontinuierliche Überwachen ihrer Körperteile. Die Informationsaufnahme und -verarbeitung im Tier- und Pflanzenreich ist höchst leistungsfähig und verfolgt fundamental andere Ansätze als die technische Sensorik (Textquelle: Tobias Seidl).

Ameise in einem Versuch beim Ausweichen eines Hindernisses (Quelle: Tobias Seidl)



2.6.1 Beispiel: „elektronische Nase“

Der biologische Geruchssinn ist der Informationskanal zur Detektion gasförmiger Signale (Nahrungs- und Gefahrgerüche, soziale Signale). Beim menschlichen Geruchssinn sind etwa 350 verschiedene Riechzellentypen vorhanden, von denen jeder selektiv auf ein eigenes Spektrum von Geruchsstoffen anspricht. Eine Geruchsstoffmischung führt zu einem Muster von Riechzellenerregungen, das im Gehirn mit zuvor erfahrenen und gespeicherten Geruchseindrücken abgeglichen wird.

Das Messkonzept der „elektronischen Nasen“ ist eine strukturelle Analogie zum biologischen Geruchssinn. An die Stelle der Riechzellen werden unterschiedliche elektronische Gassensoren gesetzt (sogenannte Sensorarrays). Das Signalmuster des unterschiedlichen Ansprechens der Sensoren auf Gas- bzw. Geruchsstoffmischungen ist die primäre Datenebene. Als Signale werden nicht nur stationäre Zustände, sondern auch aus den zeitlichen Signalformen abgeleitete Werte wie Anstiegszeiten verwendet. Die neuronale Verarbeitung in Riechkolben und Gehirn wird mit elektronischer Datenverarbeitung und speziellen musterverarbeitenden Softwarealgorithmen nachgebildet. Ziel ist die Klassifizierung ähnlicher Signalmuster und deren Zuordnung zu geruchlichen Referenzwerten (VDI 6225).

Technisch können unterschiedliche Typen von Gassensoren eingesetzt werden, wie z. B. Metalloxydsensoren, Schottky-Dioden oder miniaturisierte Schwingquarze, deren Schwingfrequenz sich bei der Adsorption der gesuchten gasförmigen Stoffe messbar ändert. Im Idealfall lässt sich die Sensoroberfläche so funktionalisieren, dass gezielt nur die gesuchten Moleküle detektiert werden, wie z. B. Spreng- oder Explosivstoffe. In der Regel sprechen die eingesetzten Gassensoren aber nicht selektiv auf bestimmte Geruchsstoffe, sondern breitbandig auf viele gasförmige Stoffe an. Ein Beispiel sind molekülunspezifische Halbleiter-Gassensoren, die bestimmte Luft-



inhaltsstoffe infolge charakteristischer Widerstandsänderungen mit Hilfe von Mustererkennung und entsprechenden Auswertalgorithmen detektieren können. Derartige Gassensoren, deren Empfindlichkeit sich durch nanostrukturierte Metalloxydverbindungen optimieren lässt, werden beispielsweise vom Institut für Angewandte Physik der Universität Gießen erforscht. Im Rahmen des BMBF-Projektes BioHot¹ sollen elektronische Nasen entwickelt werden, die zur Frühbranderkennung in Holzspänetrocknern eingesetzt werden können. Als Vorbild dient hierbei eine australische Käferart, die über Sensoren verfügt, die das Entstehen von Waldbränden frühzeitig anhand spezifischer gasförmiger Stoffe erkennen können. Mit Hilfe eines derartigen bionischen Sensorsystems könnten Trocknungsprozesse in der Holzverarbeitenden Industrie durch einen optimierten Energieeinsatz deutlich wirtschaftlicher gestaltet werden.

Elektronische Nasen sind sehr vielfältig einsetzbar und eignen sich generell für Anwendungen, die eine kontinuierliche Luft- und Geruchsüberwachung erfordern. Das Spektrum umfasst Qualitätskontrollen in der Lebensmittelindustrie, Warnsysteme zur Brand- oder Gefahrstoffdetektion bis hin zu medizinischen Fragestellungen bei der Früherkennung von Krankheiten durch Analyse der Atemluft oder Schweißabsonderungen. Auch zur Überwachung der Luftqualität in Automobilen gibt es bereits eine technische Umsetzung der Firma Bosch in Form einer automatischen Lüftungskappensteuerung, die automatisch schließt, wenn Abgase angesaugt werden.

Elektronische Nasen liefern ein objektives Messverfahren zur Einschätzung von Gerüchen, z. B. um Windelmaterialien zu entwickeln, die unangenehme Gerüche mindern. (Quelle: Lehrstuhl für Messtechnik der Universität des Saarlandes, Foto: Bellhäuser - das bilderwerk)

¹ www.uni-giessen.de/cms/fbz/fb07/fachgebiete/physik/einrichtungen/institut-fur-angewandte-physik/kohl/biohot

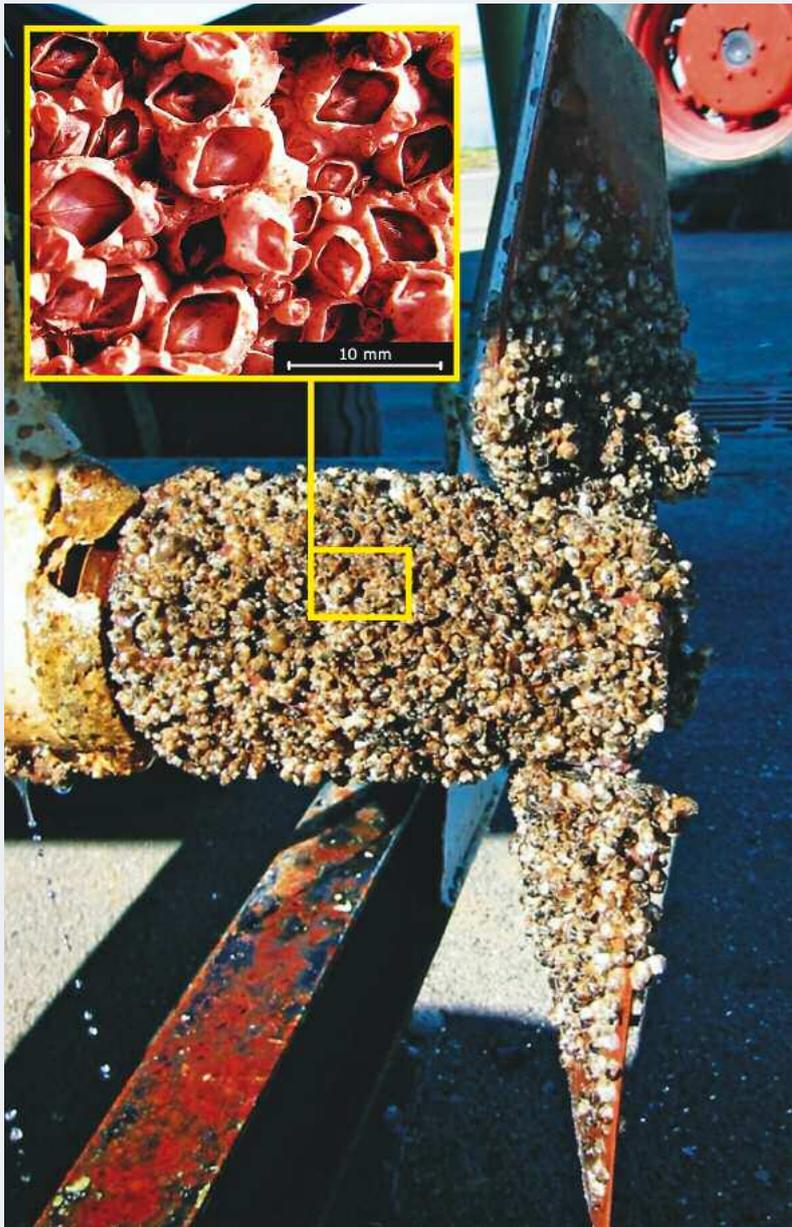
2.7 Sonstige Anwendungen

Die Möglichkeiten bionischer Konzepte sind bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Für eine Vielzahl technischer Herausforderungen liefert die Natur biologische Vorbilder. Zu nennen sind beispielsweise hierarchisch strukturierte Schalen und Hülsen von Pflanzensamen und Steinfrüchten, die als Vorbild für

die Entwicklung bionischer Materialien mit hoher Aufpralldämpfung und Durchschlagresistenz dienen können. Potenzielle Anwendungen derartig hierarchisch strukturierter Kompositmaterialien z. B. auf Basis faserverstärkter Metallschäume sind Unfall- und Aufprallschutz in der Verkehrs- und Fahrzeugtechnik.

3 Praxisbeispiele mit Bezug zu Hessen

3.1 Umweltschonende Antifoulinganstriche



Bewachsene Schiffsschraube. Die Ausschnittvergrößerung zeigt den Bewuchs mit Seepocken (Quelle: Bionik-Innovations-Centrum der Hochschule Bremen)

Wenn sich Seepocken, Muscheln, Bakterien und Pilze an Schiffsrümpfe heften, wird es teuer. Hochgerechnet auf alle Handelsflotten weltweit verursacht dieses Biofouling als Ballast zusätzliche Kraftstoffkosten von rund 60 Milliarden Euro pro Jahr. Vor allem die Seepocke kann eine mehrere Dezimeter dicke Kruste auf der Schiffswand bilden, die den Reibungswiderstand und damit den Treibstoffverbrauch mit entsprechenden Folgen für die Umwelt erhöht. Zudem können Biofilme, etwa über ihre Stoffwechselprodukte, ihre Unterlage auch mechanisch angreifen.

Lange Zeit wurde der Bewuchs mit bioziden Anstrichen ferngehalten. Doch seit 2008 sind biozide Lacke auf Zinnbasis verboten und es ist nur eine Frage der Zeit, bis auch kupferhaltige Farben nicht mehr eingesetzt werden dürfen. Die Reeder suchen deshalb händeringend nach umweltschonenden Alternativen. Derartige Alternativen werden auch in anderen Anwendungsfeldern benötigt: zum Schutz der menschlichen Gesundheit und zum Schutz von technischen Geräten vor dem Bewuchs mit Bakterien und Pilzen. Entsprechende Anwendungsfelder sind geschlossene Räume mit wachstumsfördernden Umweltbedingungen wie relativ hohe Temperatur und hohe Luftfeuchtigkeit und/oder mit hohen Hygieneanforderungen wie etwa Klinikbereiche, Badezimmer, Schwimmbäder und Weltraumstationen.

Wie die Alternativen aussehen können, zeigt die Natur: Delphine oder Haie zum Beispiel besitzen spezielle Hautstrukturen, bei denen die Kombination aus Struktur und Elastizität verhindert, dass Biofilme anwachsen. Andere Lebewesen, etwa der im Meer lebende Schwamm *Geodia barretti*, wehren den Bewuchs mit natürlichen Aktivstoffen wie Baretin ab.

Diese Prinzipien will Evonik Industries auf Schiffslacke übertragen. Der Grundstein dazu wurde in einem vom BMBF geförderten Projekt gelegt, in dem Evonik mit drei Partnern aus Bremen an „bioinspiriertem Antifouling“ geforscht hat: mit dem Bionik-Innovations-Centrum der Hochschule, dem Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM und der OHB-System AG, die auf den Bereich Raumfahrtssysteme und Sicherheit spezialisiert ist.

Gemeinsam haben die Partner geeignete biologische Vorbilder identifiziert und ermittelt, mit welchen Aktivstoffen und welchen Oberflächenstrukturen sie Antifouling-Eigenschaften erzeugen können. Da Tests unter Realbedingungen im Meer aufwändig sind, hat Evonik außerdem Schnelltests entwickelt, die erstmals schon im Labor zuverlässige Hinweise geben, ob sich Mikro- und Makroorganismen auf den Lackoberflächen ansiedeln und wie leicht sie sich ablösen, wenn das Schiff gereinigt wird. Der Servicebereich Verfahrenstechnik & Engineering und der Geschäftsbereich Inorganic Materials von Evonik arbeiten in Hanau mit Unterstützung der Projektpartner an Additiven, mit denen sie natürliche, ungiftige Aktivstoffe durch Mikroverkapselung bzw. feste Anbindung an spezielle Träger in handelsübliche Schiffslacke einbringen. Zum Einsatz kommen sollen sie in Schiffslacken auf Silicon- und PUR-Basis. Das soll dem Anwender den Umstieg auf die neuen Lackrezepturen erleichtern. Außerdem lassen sich die Systeme wie bisher applizieren und machen neues Equipment überflüssig.

Ergebnis des BMBF-Projekts sind Lackformulierungen mit nachweislicher Antifouling-Wirkung, die jedoch noch nicht die geforderte mechanische Stabilität besitzen und deren Langzeiteigenschaften noch charakterisiert werden müssen. Dieses Problem wollen die Evonik-Forscher in einem Nachfolgeprojekt lösen und die Additive bzw. die Lackformulierungen weiter optimieren. Da bei umweltschonenden Antifoulinganstrichen für Schiffe ein milliarden-schwerer Markt lockt, hat sich Evonik ein ehrgeiziges Ziel gesetzt: Schon in drei Jahren sollen die Additive marktreif sein.

Kontakt:

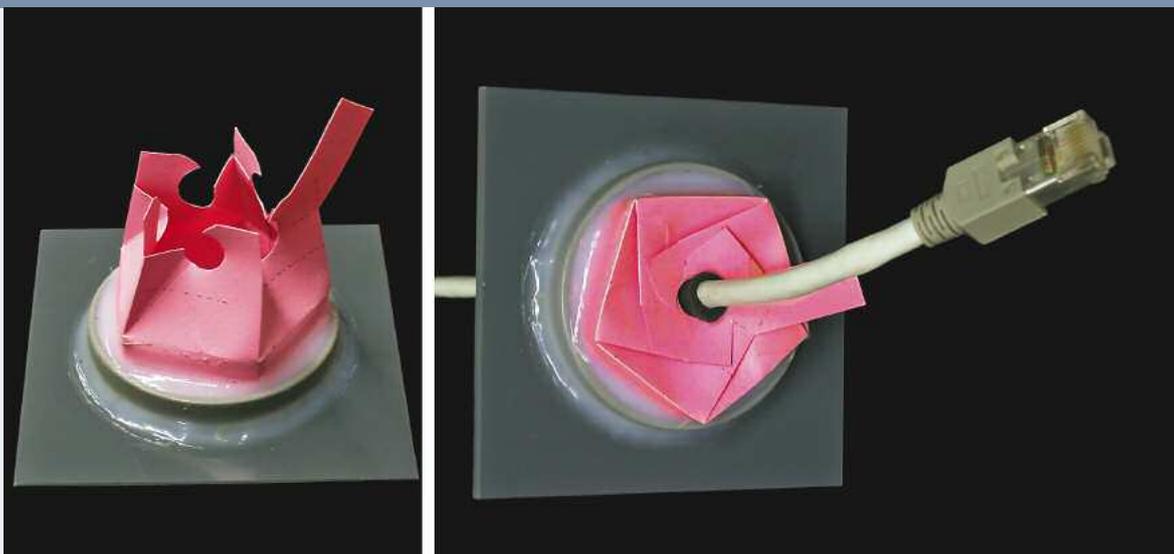
Dr. Juri Tschernjaew
Telefon 06181 59-5461, Fax -75461
juri.tschernjaew@evonik.com

Evonik Industries AG
Servicebereich Verfahrenstechnik & Engineering
Rodenbacher Chaussee 4
63457 Hanau-Wolfgang

www.evonik.com

3.2 Impulse aus der Natur

Die Blätter der Venusfliegenfalle schließen sich wie ineinander gefächerte Lamellen. Dieses Verschlusssystem lieferte die Idee für die Gestaltung einer optimal abdichtenden Kabeleinführung. (Quelle: Rittal)



Seit einigen Jahren legt man bei Rittal knifflige technische Problemstellungen auch in die Hände versierter Bioniker. Die Zusammenarbeit mit der Universität Freiburg und der ITV Denkendorf hat für den Systemanbieter für Gehäuse- und Schaltschranktechnik wertvolle Impulse und Ideen für neue Produkte hervorgebracht. Durch die Natur inspirierte Lösungen sind beispielsweise Dämpfungselemente für Transportpaletten oder neue Konzepte zu Kabeleinführungen.

Die Ergebnisse der Kooperation mit dem Team um Prof. Dr. Thomas Speck von der Universität Freiburg, das aus Naturwissenschaftlern verschiedener Disziplinen zusammengesetzt ist, können sich sehen lassen. Darunter befinden sich beispielsweise neue Ansätze für Kabeleinführungen. Das sind Öffnungen bzw. Verschlusssysteme, durch die sich Kabel in einen Schaltschrank einführen lassen. Diese sollten breit genug sein, um Kabel leicht aufnehmen zu können, zugleich aber das Eindringen von Feuchtigkeit, Staub und Schmutz verhindern. Dazu gab es zwei Vorbilder aus der Natur: die Venusfliegenfalle und den Waldkaktus. Die Fangblätter der Venusfliegenfalle, einer fleischfressenden Pflanze aus der Familie der Sonnentaugewächse ist für Insekten eine tödliche Falle. Die Blätter schließen sich über ihrem Opfer wie ineinander gefächerte Lamellen und geben es nicht wieder frei. Dieses Verschlusssystem, das sich in ähnlicher Weise beim Waldkaktus findet, lieferte die Idee für die Gestaltung einer optimal abdichtenden Kabeleinführung.

Eine weitere interessante, der Natur nachempfundene Lösung ist eine schockabsorbierende Palette für den sicheren Transport von Schaltschränken, in die bereits hochsensible Elektronik eingebaut ist. Das Konzept ist ebenso einfach wie schlüssig: Zur Dämpfung der Paletten werden künstliche „Stacheln“ eingesetzt, die dabei helfen, Stöße effektiv abzumildern. Bei der Strukturoptimierung der Palette ließen sich die Bioniker von dem Beispiel der Natur leiten: So schützen die Stacheln von Igel und Stachelschweinen diese vor Sturzverletzungen.

Die bionische Palette nutzt nachwachsende Rohstoffe wie etwa Hanf, Flachs oder Leinen. Die aus einem Faserverbundstoff mit geschäumter Matrix und optimiert ausgerichteten Verstärkungsfasern gefertigte Palette ist damit bei vergleichbaren Kosten umweltschonender und entsorgungsfreundlicher als herkömmliche Palettensysteme. Diese bestehen zu meist aus einer Kombination unterschiedlichster Materialien wie zum Beispiel Metall, Holz oder Kunststoff. Solch ein Materialmix ist problematisch, da die Paletten meistens nach einmaligem Gebrauch entsorgt werden. Nicht alle gängigen Materialien sind für das Recycling geeignet. Der Ressourcenverbrauch ist bei herkömmlichen Palettensystemen hoch.

Die bionische Schockpalette ist eine gemeinsame Entwicklung von Rittal, der Universität Freiburg sowie der ITV Denckendorf. Um seinen Kunden auch in Zukunft wirkungsvolle, aus der Natur abgeleitete Lösungen für unterschiedlichste Anwendungen bieten zu können, arbeitet Rittal mit dem Bionik-Kompetenz-Netzwerk (BIOKON) zusammen, das sich die Schaffung einer umfassenden Informationsinfrastruktur und die Bündelung der wichtigsten Arbeitsgruppen im Bereich Bionik auf die Fahnen geschrieben hat.

VDI Bionik-Richtlinie

Mit der neuen Richtlinie VDI 6223 „Bionische Materialien, Strukturen und Bauteile“ können nun die über die Jahre gesammelten Erfahrungen vor allem mittelständischen Unternehmen zugänglich gemacht werden. Die VDI-Richtlinie zeigt den praktischen Anwendungsnutzen der Bionik in der Produktentwicklung auf. Die Richtlinie entstand, unter aktiver Mitwirkung von Mitarbeitern von Rittal als Industriepartner.

Die Bionik ist für Rittal zu einer neuen Quelle im Kreativitätsprozess geworden und stellt eine sinnvolle Ergänzung zu traditionellen Entwicklungstools dar. Es ist zu hoffen, dass infolge der neuen Richtlinie und der damit verbundenen praktischen Einblicke in bionisches Arbeiten die Chancen der Bionik für Innovationsprozesse erkannt werden.

Kontakt:

Hans-Robert Koch
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Telefon 02772 505-2693, Fax -2537
koch.hr@rittal.de

Rittal GmbH & Co. KG
Auf dem Stützelberg
35745 Herborn

www.rittal.de



Bei der bionischen Schockpalette geht es um den wirksamen Schutz beim Transport von Schaltschränken mit hochsensibler Elektronik.
(Quelle: Rittal)

3.3 Automobiler Leichtbau durch Anwendung der Bionik

Durch das Bestreben den Treibstoffverbrauch eines Kraftfahrzeugs möglichst gering zu halten, gewinnt das Thema Leichtbau in der Automobilindustrie immer größere Bedeutung. Ein wichtiges Werkzeug zum Erreichen dieses Zieles ist dabei die simulationsgestützte Optimierung, wie sie auch bei der Adam Opel AG zum Einsatz kommt. Wenn es darum geht, möglichst leichte Bauteile mit hoher Festigkeit zu entwickeln, haben sich vor allem die Optimierungsmethoden bewährt, die aus dem Bereich der Bionik stammen und deren Grundlagen am Forschungszentrum Karlsruhe entwickelt wurden. Dort wurden die Eigenschaften von biologischen Kraftträgern (wie beispielsweise Bäume, Knochen, Krallen, etc.) studiert. Da sich während der Evolution nur die am besten angepassten Strukturen durchgesetzt haben,

kann man erwarten, dass solche biologischen Bauteile optimal bezüglich Festigkeit und Gewicht sind und somit ein festigkeitsoptimiertes Leichtbaudesign darstellen.

Die biologischen Kraftträger erreichen ihre optimale Form durch eine Wachstumsregel. Diese kann man simulieren und als Basis für Optimierungsprogramme verwenden, um ein versagenssicheres Bauteil mit möglichst geringem Gewicht zu konstruieren. Man lässt dabei das zu optimierende Bauteil virtuell auf dem Rechner wachsen, wie es beispielsweise ein Knochen tun würde, wenn er die Funktion des Bauteils übernehmen müsste.

Basierend auf dieser Idee wurde das CAO-Verfahren (Computer Aided Optimization) entwickelt. Hier wird

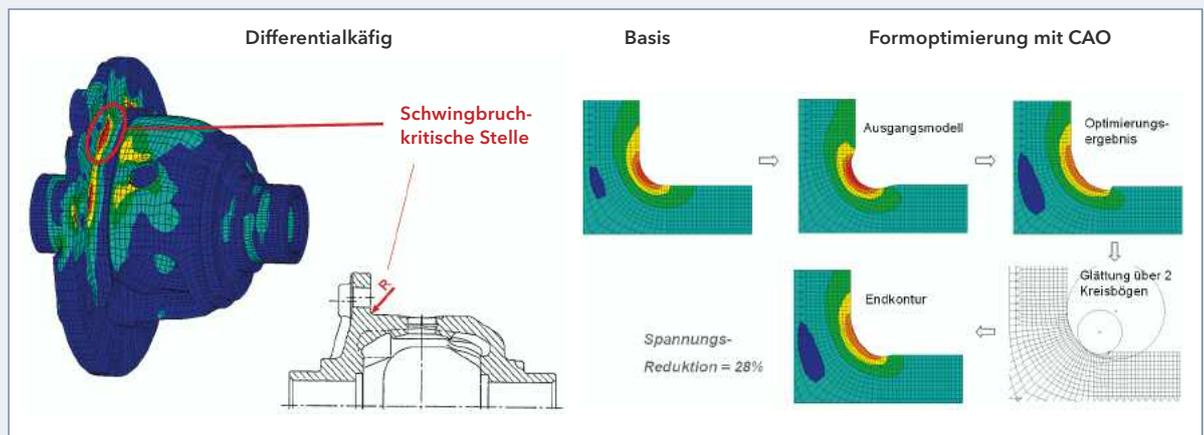


Abb. 1: CAO-Verfahren am Beispiel eines Differentialgetriebegehäuses (Quelle: Adam Opel AG)

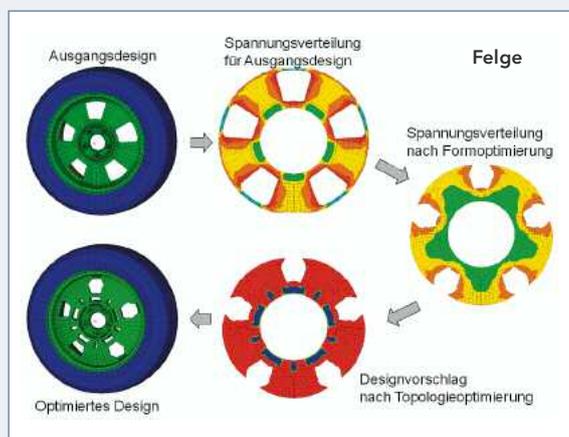


Abb. 2: Optimierung einer Felge (Quelle: Adam Opel AG)

die Wachstumsregel nur auf die Außenkontur eines Bauteils angewendet. Dabei verschiebt man die Außenkontur in den hochbelasteten Bereichen nach außen und lagert dadurch Material an, während man diese in den niedrig belasteten nach innen verschiebt und damit Material entfernt. Diesen Prozess führt man jedoch nicht nur einmal durch sondern mehrmals in kleinen Schritten, vergleichbar mit der Bildung von Jahresringen beim Baum. Eine Anwendung aus der Praxis ist in Abbildung 1 am Beispiel eines Differentialgetriebegehäuses gezeigt. Hier traten in dem markierten Bereich Spannungsspitzen

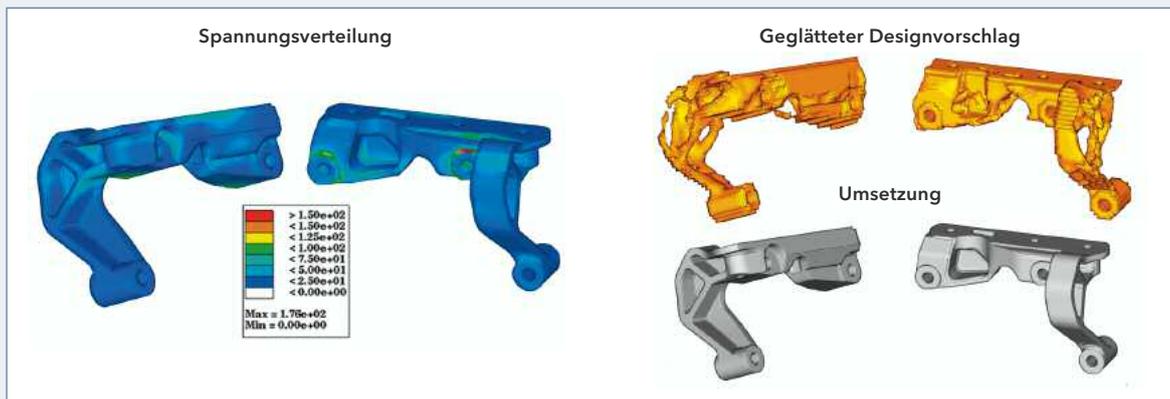


Abb. 3:
Optimierung von
Gussteilen am Beispiel
eines Motorhalters
(Quelle: Adam Opel AG)

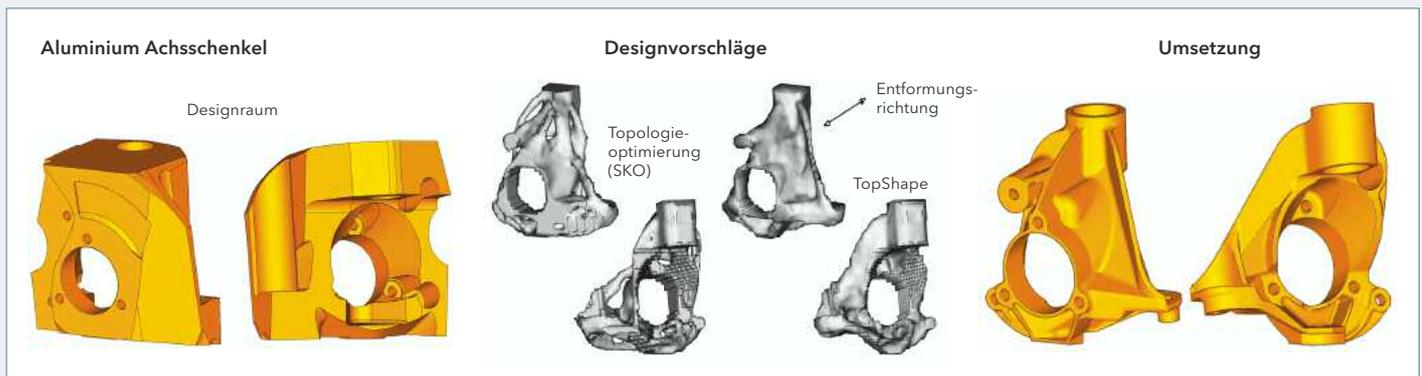


Abb. 4: Optimierung eines Achsschenkels ausgehend vom Bauraum (Quelle: Adam Opel AG)

auf, die reduziert werden mussten, um die Festigkeit des Bauteils sicherzustellen. Durch die Formoptimierung mit CAO konnte die Spannung um 30 % reduziert werden, was einer Lebensdauererhöhung um einen Faktor 8 entspricht.

In Gegensatz zum CAO-Verfahren wird beim SKO-Verfahren (Soft Kill Option) die Wachstumsregel nicht nur auf die Außenkontur sondern auch auf das Innere eines Bauteils angewendet, so dass innerhalb eines Bauteils Löcher entstehen können. Damit entspricht das SKO-Verfahren mehr dem Wachstum eines Kochens, der ja auch teilweise hohl und porös ist und über Fresszellen Material im Innern abbauen kann. Ein Anwendungsbereich der SKO-Methode ist die Bestimmung von optimalen Lochpositionen und Lochformen in einem Bauteil. In Abbildung 2 ist die Optimierung einer Felge dargestellt. Ausgangspunkt ist eine Felge mit fünf vorgegebenen Löchern. Diese wurden im ersten Schritt mit dem CAO-Verfahren optimiert, sodass sich dann eine Lochform ohne Spannungsspitzen ergab. Anschließend wurde mit SKO die optimale Position für zusätzliche Löcher in der Felge ermittelt.

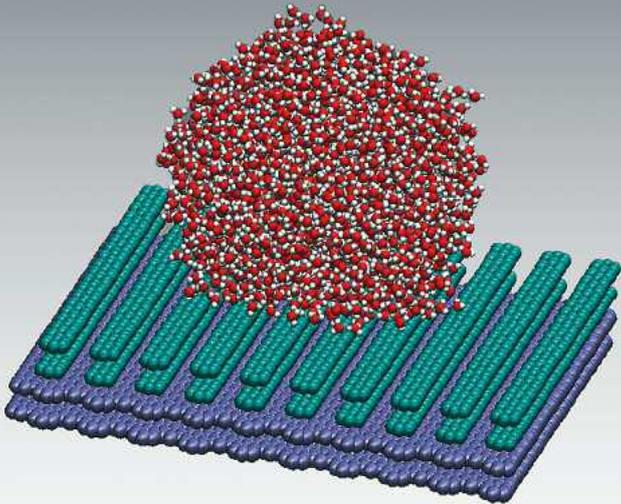
Ein weiterer Anwendungsbereich ist die Optimierung von Gussteilen. Ausgangspunkt ist jeweils der zur Verfügung stehende Bauraum (Designraum). Nach Anwendung von SKO ergibt sich dann ein Designvorschlag, der als Vorlage bei der Konstruktion des Gussteils dient. Die Vorgehensweise ist in Abbildung 3 am Beispiel eines Motorhalters dargestellt.

Bei dem Programm TopShape, das Fertigungsrestriktionen von Gussteilen berücksichtigt, handelt es sich um eine Erweiterung von SKO. Damit simuliert TopShape das Wachstum eines Knochens, der quasi die Fertigungsrestriktionen für Gussteile kennt. In Abbildung 4 ist die Optimierung eines Achsschenkels ausgehend vom Bauraum dargestellt. Wendet man das SKO-Verfahren an, so ergibt sich eine fast wurzelartige Struktur, welche nur sehr schwer interpretierbar und in ein gussfähiges Design umzusetzen ist. Das Ergebnis von TopShape ist dagegen nahezu direkt verwendbar.

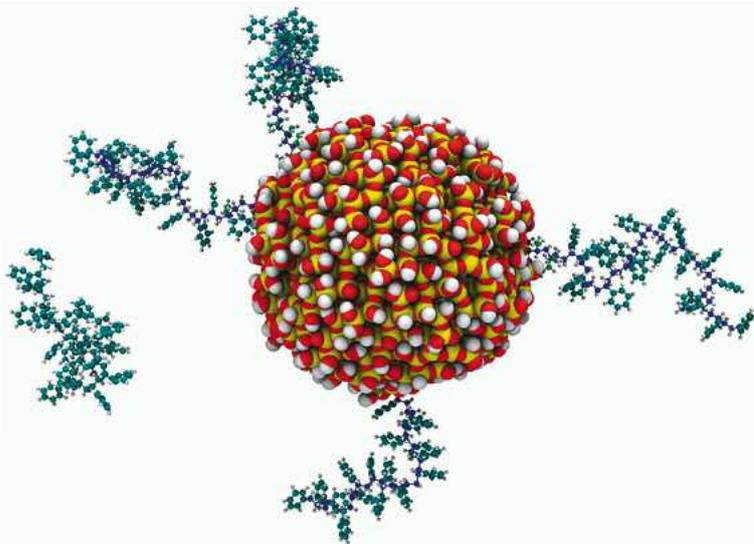
Kontakt:
Prof. Dr. Lothar Harzheim
lothar.harzheim@de.opel.com

Adam Opel AG
65423 Rüsselsheim

3.4 Molekulare Simulation von Grenzflächen: Bionik auf molekularer Ebene?



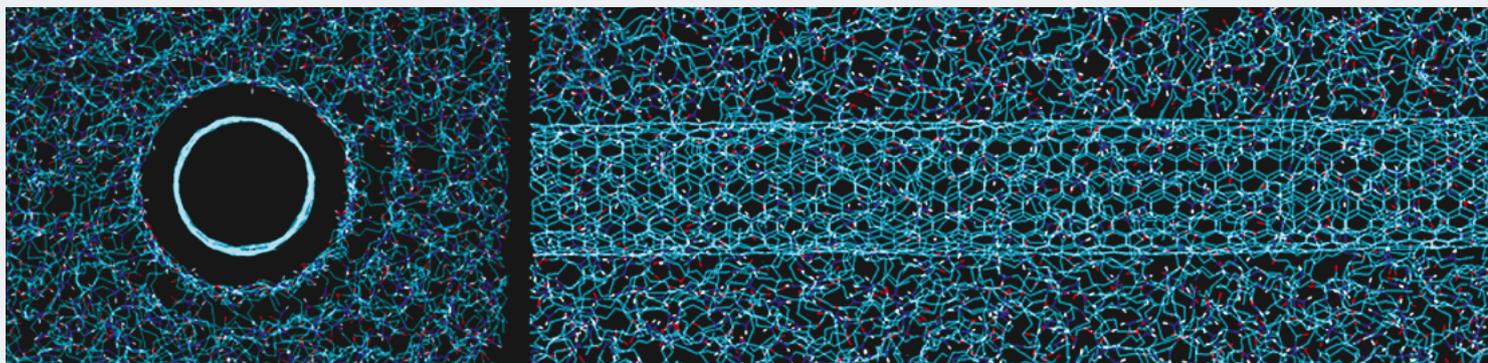
Wassertropfen auf einer nanostrukturierten Graphit-Oberfläche.
Die nm-breiten Furchen führen zu einer erhöhten Wasserabweisung
verglichen mit glattem Graphit. (Quelle: Frédéric Leroy)



Molekulare Simulation zum Dispergierungsverhalten
von Silica-Nanoteilchen in Polystyrol und dem Einfluss
von auf das Nanoteilchen gepfropften Polymermole-
külen. (Quelle: Tinashe Ndoro)

Grenzflächeneffekte spielen gleichermaßen in biologischen und technischen Systemen eine große Rolle. Äußere Grenzflächen sind verantwortlich für das Erscheinungsbild (Farbe, Glanz, Textur) aber auch für Eigenschaften wie Haftung, Benetzbarkeit und Anfälligkeit für chemischen und biologischen Abbau. Innere Grenzflächen schaffen eine Abgrenzung in Kompartimente in der Biologie und Kraftschluss, Wärmeübergang und Ladungsübergang in Verbundmaterialien.

Die Eigenschaften von Grenzflächen werden maßgeblich durch die molekularen Wechselwirkungen zwischen den aufeinander treffenden Phasen oder Materialien bestimmt. Die Natur hat für den jeweiligen Zweck hoch optimierte Oberflächen und Grenzflächen geschaffen, und zwar auf der Ebene von Molekülen oder Mikro- und Nanostrukturierung. Ein bekanntes Beispiel ist der so genannte Lotus-Effect®, bei dem die an sich schon hydrophobe Oberfläche der Blätter durch Mikrostrukturierung soweit superhydrophobiert wird, das Wasser und Schmutz davon abperlen. Dieser Effekt lässt sich in technischen Oberflächen nicht nur kopieren, sondern unter Umständen dadurch verstärken, dass man die Oberfläche nicht nur auf der Mikrometerebene, sondern auch auf der Nanoebene strukturiert.



Diese Simulation einer Kohlenstoffnanoröhre in einer Polyamid-Matrix zeigt nicht nur die grenzflächeninduzierte Strukturbildung im Polymer, sondern erlaubt auch die Berechnung des Wärmeübertragungswiderstandes zwischen Nanoröhre und Polymer. (Quelle: Mohammad Alaghemandi)

Nanostrukturierte, hydrophobe Oberflächen sind aber nicht ohne weiteres experimentell herzustellen. Es lassen sich jedoch Computersimulationen durchführen, die aufzeigen können, wie eine solche Oberfläche strukturiert sein müsste, um einen höheren Selbstreinigungseffekt zu erzielen. Dies erfolgt mit der Methode der Molekulardynamik, die ein realistisches Modell von Oberfläche und Benetzungsflüssigkeit auf molekulare Ebene benutzt: die Wechselwirkung zwischen einzelnen Atomen und Molekülen wird dabei berücksichtigt. So wird die Beschreibung von nanometerskaligen Strukturen und Prozessen möglich, für die Standardmaterialmodelle der Strukturmechanik bzw. Fluidmechanik versagen. Diese Technik ist so weit entwickelt, dass sich beispielsweise voraussagen lässt, ob eine Oberflächenstruktur mit kreisförmigen Löchern von 2,5 nm Durchmesser effektiver ist als eine mit 2,5 nm breiten Gräben.

Die Molekulardynamik lässt sich jedoch auch gut auf innere Grenzflächen in Polymerverbunden anwenden, die im Zusammenhang mit Kleb- und Beschichtungsprozessen sowie bei der Herstellung von Nanokompositen wichtig sind. Hier lässt sich die mechanische Anhaftung quantitativ bestimmen. Zudem kann man feststellen, wie dick die sogenannte Interphase nahe der Grenze ist, in der das Polymer seine Volumeneigenschaften noch nicht voll erreicht hat, und welche Auswirkungen sie auf die Festigkeit des Gesamtverbunds hat.

Auch neuartige Komposite, zum Beispiel aus Polyamid und Kohlenstoffnanoröhren (CNTs) können molekular simuliert werden. Durch Betrachtung der molekularen Wechselwirkungen kann nicht nur in Erfahrung gebracht werden, warum CNTs im Polymer zur Aggregation neigen und schwer zu dispergieren sind. Es lässt sich zum Beispiel auch der Grenzflächeneffekt nachvollziehen, dessentwegen die extrem hohe Wärmeleitfähigkeit von CNTs verloren zu gehen scheint, wenn sie in ein Polymer eingearbeitet werden. Demnach sind CNT-Polymer-Komposite keine Kandidaten für thermisch hoch leitfähige Materialien.

Kontakt:

Prof. Dr. Florian Müller-Plathe

f.mueller-plathe@theo.chemie.tu-darmstadt.de

Eduard-Zintl-Institut für Anorganische und
Physikalische Chemie und Center of Smart Interfaces
Technische Universität Darmstadt
Petersenstraße 20
64287 Darmstadt

www.chemie.tu-darmstadt.de/mueller-plathe

3.5 Bionisch-adaptive Architektur: Molekulare Mechanismen als Vorbild

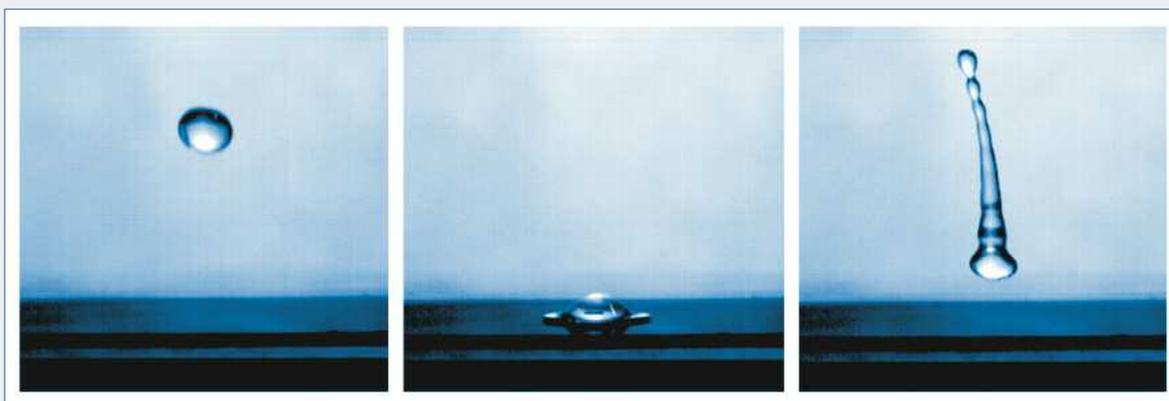
Der Text basiert auf einem gemeinsamen Beitrag folgender Autoren des Wyss Instituts: Ben Hatton, Ian Wheeldon, Philseok Kim, Chuck Hoberman, Don Ingber und Joanna Aizenberg.

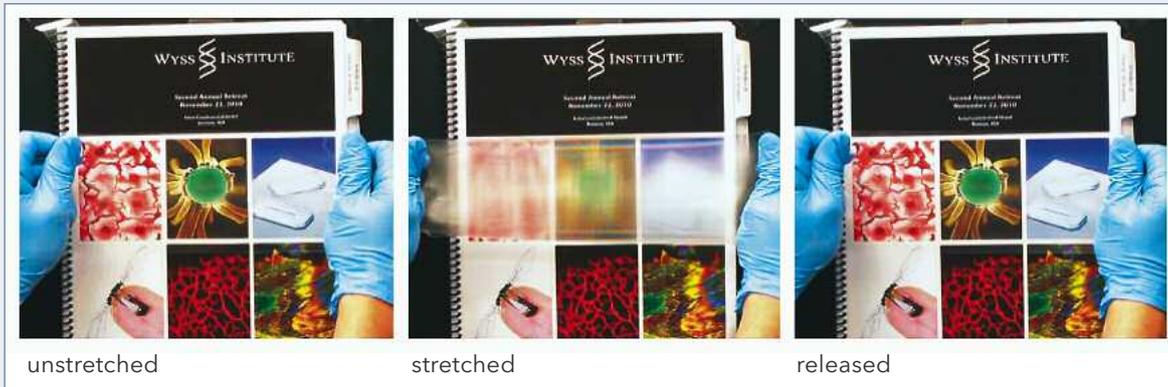
Die New Yorker Ingenieurfirma Hoberman Assoc. konzipiert in Zusammenarbeit mit dem Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering in Cambridge, USA, adaptive Verschattungssysteme für Gebäude. Die Firma iO Interdisziplinäre Objekte, Frankfurt am Main, unterstützt deren Einführung in Europa.

Biologische Materialien generieren ihre Anpassungsfähigkeit aus evolutionären Mechanismen. Sie reagieren, wandeln sich, heilen nach Verletzungen, verändern Farbe und Oberfläche. Solche adaptiven Prozesse funktionieren nach dem „bottom-up“-Prinzip: Als Reaktion auf externe Stimuli addieren sich chemisch-physikalische Veränderungen auf molekularer Ebene zu dynamischen Effekten im Makroskopischen. Die Architektur arbeitet traditionell umgekehrt:

Mechanische Strukturen, elektrische und pneumatische Antriebe sowie rechnergestützte Regelsysteme dienen dazu, „top-down“ auf einfallendes Sonnenlicht, Wind, Klima und Niederschlag zu reagieren. Veränderliche Oberflächen, nachgeführte Reflektoren, mechanische Verschattungselemente werden benutzt, um die thermischen, akustischen und lichttechnischen Bedingungen in Gebäuden zu stabilisieren. Hier sehen wir den Weg für eine evolutionär andere Architektur, die sich zukünftig, auf molekularer Ebene konzipierter, durch Selbstorganisation aufgebauter adaptiver Werkstoffe bedient. Solche inhärent reaktionsfähigen Materialien bereiten einer innovativen Architektur den Weg, die selbsttätig und in Echtzeit auf Umweltbedingungen zu reagieren vermag.

Abprallender Tropfen auf einer mikrotexturierten „Anti-Vereisungs“-Oberfläche (Quelle: Wyss Institute)





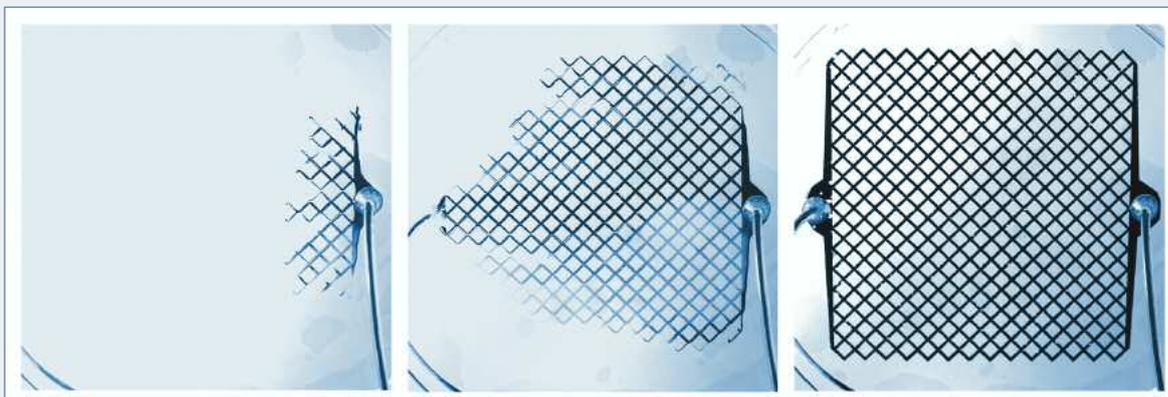
Kunststoffolie mit veränderbarer optischer Transparenz durch mechanische Spannung (Quelle: Wyss Institute)

Biomimetisch ausgerichtetes Material-Design arbeitet mit Konzepten hierarchischer Strukturen, selbstanordnender Supramoleküle, dynamischer Bindungen und molekularer Komplementarität. Von besonderem Interesse sind hier bionische Werkstoffe, die sich potenziell für den Einsatz in der Architektur eignen. Am Wyss Institut in Harvard wurden dazu drei neue Materialien realisiert: eine mikrotexturierte „Anti-Vereisungs“-Oberfläche, eine auf mikrofluiden Absorberelementen basierende Beschichtung für thermisch-adaptive Fensterverglasung sowie eine klare Kunststoffolie, deren optische Transparenz durch mechanische Spannung kontinuierlich verändert werden kann. Die strukturierte Oberfläche des Lotosblattes stand Pate für die Anti-Vereisungsschicht. Die hierarchisch strukturierte Strömung des Blutes in den Gefäßen inspirierte zu dem aus Mikrokanälen aufgebauten Flüssigkeitssystem für die Wärmeregulierung von Fensterscheiben. Durch Einbau verschiebbarer, lichtstreuender Elemente in der Oberfläche entstand das mechanisch-adaptive Polymer.

Über weite Strecken gleicht das Vokabular zur Beschreibung stimulus-aktivierter adaptiver Werkstoffe dem zur Charakterisierung „anpassungsfähiger“ Gebäude. Der Unterschied besteht in den Bezugsgrößen. Materialentwicklung erfolgt im Nano- und Mikrobereich, Gebäude entstehen im Makro-Bereich. Die Überbrückung dieser Skalen-Differenz lohnt. Disziplinübergreifend müssen dafür die an innovativen Lösungen interessierten Architekten mit Materialentwicklern in einen intensiven Dialog treten. Aus der Schnittmenge zwischen Werkstoffwissenschaft, biomimetischem Engineering und Architektur erwachsen innovative Lösungen, auf die wir für die nachhaltige Sicherung unserer Lebensbedingungen nicht verzichten können.

Kontakt:
 Prof. Werner Lorke
 info@io-objekte.de

iO Interdisziplinäre Objekte
 Robert-Mayer-Straße 49
 60486 Frankfurt am Main



Fluide Absorberelemente für thermisch-adaptive Fensterverglasung (Quelle: Wyss Institute)

3.6 Bionik im Bauwesen

Die Bionik, die sich als interdisziplinäre Wissenschaft Konstruktionsprinzipien der Natur für die Technik zunutze macht und aus dieser Strategie heraus ihren Namen ableitet, gewinnt auch in der Architektur stärker an Bedeutung.

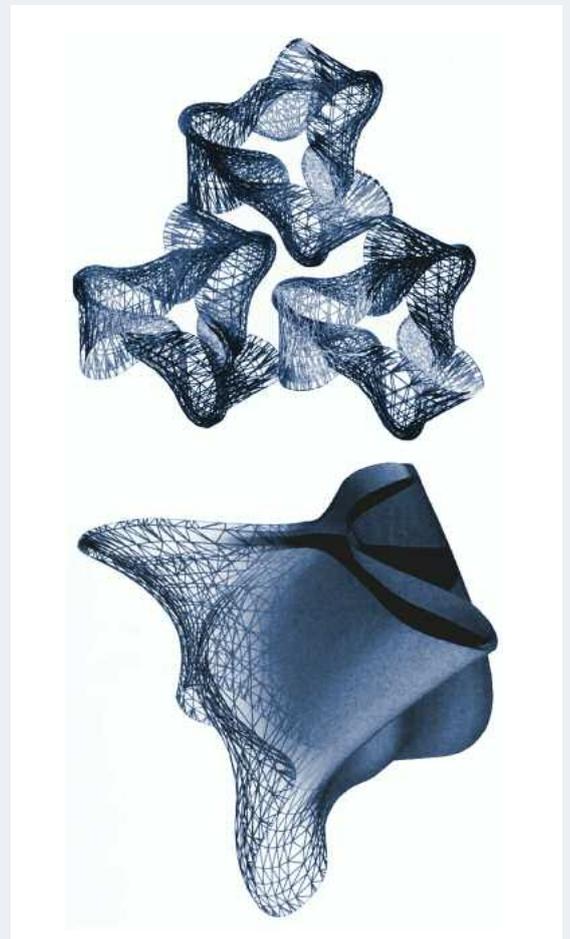
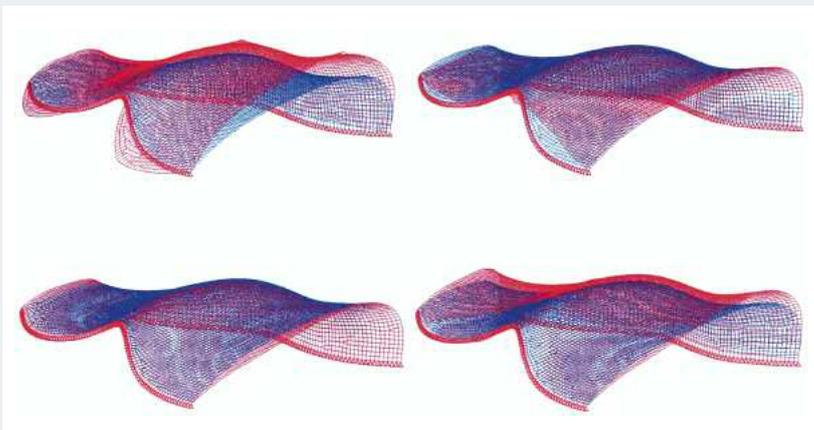
Dass sich Architekten von natürlichen Formen inspirieren lassen, ist eigentlich nicht neu. Sie versuchen gemeinsam mit Naturwissenschaftlern von natürlichen Konstruktionen wie beispielsweise Schmetterlingsflügeln oder Blattstrukturen technisch nutzbare Informationen abzuleiten und im Bauwesen innovativ zu verwerten.

Die Bionik macht sich als interdisziplinäre Wissenschaft die im Zuge der Evolution über sehr lange Zeiträume optimierten Naturkonstruktionen zunutze. Durch konsequente Beobachtung von erfolgreich arbeitenden natürlichen Systemen oder Strukturen lassen sich die erkannten Optimierungen auf künstlich geschaffene Werke übertragen. Dieser Ansatz funktioniert aber leider nicht immer. Prinzipien aus der Natur können nicht direkt und ohne Abstraktion übertragen werden. So nützen beispielsweise die Tragstrukturen von Grashalmen nicht unmittelbar der Entwicklung von Tragstrukturen bei Hochhäusern.

Heute verlagern sich die wissenschaftlichen Untersuchungen in Richtung der natürlichen Strategien und zur Analyse der erforderlichen Maßnahmen, die zur eigentlichen Optimierung geführt haben. Ein

essentieller Vorteil biologisch inspirierter Planung liegt dabei im Einsparen jener langen Zeitspanne, die für das Bilden und Ausprobieren einer Technologie aufgewendet werden muss. Während Naturprozesse in sehr langen Zeitphasen ausgereift sind, ist es durch Ausnutzung der natürlichen Entwicklungsergebnisse möglich, innerhalb kürzester Zeit eine Ergebnisverbesserung zu erzielen. Das Prinzip der evolutionären Algorithmen – eine mathematisch basierte bionische Optimierungsmethode für technische Fragestellungen – geht genau diesen Weg.

Mathematische Simulation bionischer Strukturen (Quelle: TU Darmstadt)



Bionische Funktionen

In der Tat kennen wir bereits viele Eigenschaften von Bauwerken, die bereits biologisch inspiriert sind. Meistens finden sich solche Eigenschaften in funktionalen Bereichen von Bauwerken. Eine prinzipielle Verwertbarkeit natürlicher Prinzipien lassen sich überall vermuten, wenn:

- dynamische Anpassungseffekte wünschenswert sind
- besondere Oberflächeneffekte von Materialien angestrebt werden (z. B. Lotus-Effect® und Oberflächenreinigung)
- komplexe Netzwerke (z. B. Leitungsnetze) durch Optimierung mit weniger Material auskommen sollen
- die äußere Hülle von Bauwerken durch adaptive Fähigkeiten auf geänderte Umweltbedingungen (z. B. Lichteinfall, Sonnenschutz) reagieren muss
- intelligente Bereitstellung und Verteilung von Gebäudeenergie angestrebt wird
- ideale, natürliche Belüftungsprinzipien eine teurere Aufbereitung von Luft ersetzen können
- Kühleffekte durch Optimierung von Heizkreisläufen möglich sind
- natürlich vorhandene Umgebungsbedingungen die Raumatmosphäre konditionieren sollen
- verwendete Materialien permanent geänderten Anforderungen ausgesetzt sind (smart materials)
- ein Optimum unter zahlreichen Kombinationen zu suchen ist, deren mathematische Berechnung zu aufwändig wäre (sog. Evolutionäre Algorithmen)
- Faltstrukturen bei wandelbaren Bauwerken oder geschuppte Strukturen auftauchen

Forschungsergebnisse

Werden bionische Lösungen konsequent eingesetzt, bergen sie ein enormes Potenzial für verschiedene Bereiche:

- Materialersparnis
- Leistungssteigerungen
- Energieeinsparungen
- Optimierung
- Kostenersparnisse
- Verbesserte Aufenthalts-, Arbeits- und Lebensbedingungen
- Funktionale Verbesserungen

Das Grundprinzip der bionischen Forschung liegt eher in der Lösung für gezielte, individuelle Aufgabenstellungen. Daher wird kein Hauskonzept einen allgemeingültigen bionischen Ansatz verfolgen, sondern bedarfsgerechte Verbesserungen anstreben. Aktuelle Forschungsansätze im Bauwesen sind beispielsweise in den Bereichen

- Green Building
- Evolutionäre Optimierung
- Oberflächen
- Materialtechnologien

zu erwarten. Weitere gute Ansätze könnten in der Anpassungsfähigkeit von dynamischen Bauwerken bei der Lastabtragung sein. Somit wären mit weniger Material höhere Gebäude oder längere Brücken realisierbar. Doch damit sich die Bionik im Bauwesen etablieren kann und Anwender nicht in den Zulässigkeitskriterien der Genehmigungsverfahren gefangen bleiben, müssen auch politische Anstrengungen unternommen werden. Das wäre auch eine besondere Chance für die deutsche Baubranche, sich im internationalen Konkurrenzkampf zu profilieren.

Kontakt:
Prof. Stefan Schäfer
Telefon 06151 16-7031
sts@massivbau.tu-darmstadt.de

Institut für Massivbau
Technische Universität Darmstadt
www.info-schaefer.de

4 Kompetenzträger und Netzwerke auf nationaler/internationaler Ebene

4.1 VDI-Gesellschaft Technologies of Life Sciences (VDI-TLS)

Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) ist mit mehr als 140 000 persönlichen Mitgliedern einer der größten technisch-wissenschaftlichen Vereine Europas. In Deutschland ist der VDI eine führende Institution für die Weiterbildung und den Erfahrungsaustausch technischer Fach- und Führungskräfte: Er fördert den Transfer von Technikwissen als Dienstleistung für alle in Beruf und Studium stehenden Ingenieure und Naturwissenschaftler, für die Unternehmen, den Staat und die Öffentlichkeit. Der VDI ist gemeinnützig und unabhängig von wirtschaftlichen und parteipolitischen Interessen. Etwa 800 Ausschüsse und 5400 Veranstaltungen vermitteln jährlich ca. 200 000 Teilnehmern Fachinformationen und fördern den Erfahrungsaustausch. International kooperiert der VDI mit maßgebenden ausländischen Ingenieurvereinen; in 15 Ländern sind VDI-Freundeskreise tätig. Die VDI-Gesellschaft Technologies of Life Sciences (VDI-TLS) ist die zentrale Informationsplattform des VDI im Bereich der Life Sciences und bündelt Angebote für seine Mitglieder und Interessierte.

Die VDI-Gesellschaft TLS wurde im April 2009 gegründet und vereint die Fachbereiche Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik, Bionik, Biotechnologie, Gentechnik und Medizintechnik. Die Aktivitäten der Fachbereiche werden durch einen mit ehrenamtlich tätigen Entscheidungsträgern besetzten Fachbeirat geplant und koordiniert. Die Aktivitäten der Fachbereiche der VDI-TLS werden übergeordnet durch den Beirat gelenkt. Mit heute bereits mehr als 8 000 zugeordneten Mitgliedern, ca. 40 Fachausschüssen und mehr als 400 ehrenamtlich aktiven Fachleuten ist die VDI-Gesellschaft TLS eine stark wachsende Einheit des Vereins. Die ehrenamtlich aktiven Fachleute der VDI-TLS, die regionalen Arbeitsgruppen der Bezirksvereine und die Landesvertretungen bilden ein umfangreiches Netzwerk. Dieses umfasst ebenfalls ausgewählte nationale und internationale Partnerschaften, die bei inhaltlichen und organisatorischen Fragestellungen schnell aktiviert werden können.

VDI-Richtlinienarbeit

Technische Regeln (**VDI-Richtlinien**, DIN-Normen, Standards) sind anerkannte Dokumente, die industrielle Anwender in ihrer täglichen Arbeit unterstützen. Insbesondere in der Wirtschaft sind technische Regeln wesentliche Elemente der Unternehmensstrategie, mit denen Prozess- und Produktqualität nachgewiesen, Sicherheitsstandards erfüllt und Qualitätsnormen belegt werden können.

Der VDI ist neben dem DIN eine der wichtigsten deutschen Organisationen, die sich mit der Erstellung von technischen Regeln befasst. VDI-Richtlinien tragen zur Deregulierung bei, da der Staat die Beschreibung des Stands der Technik den regelsetzenden Institutionen überlässt. Hierdurch wird der Gesetzgeber entlastet und die Interessen der Wirtschaft durch das Mitspracherecht bei der Erstellung von technischen Regeln werden gestärkt. VDI-Richtlinien verbreiten technisches Wissen, bauen Handelshemmnisse ab und erleichtern Vertragsvereinbarungen. Derzeit sind über 1800 aktuelle VDI-Richtlinien gültig, darunter auch solche, die die Grundlage für wichtige gesetzliche Verfahren darstellen.

VDI-Richtlinien werden in zwei Sprachen (deutsch/englisch) verfasst und ermöglichen so – über Ländergrenzen hinweg – eine Orientierung durch konkrete Handlungsanweisungen für Fachleute im Bereich Technik und Wissenschaft. Sie sind damit oftmals die Basis und Ausgangslage internationaler Normungsaktivitäten, die meistens durch konkrete nationale Vorschläge getragen werden.

VDI-Fachbereich Bionik

Der Transfer von Erkenntnissen aus der Bionikforschung in die technische Umsetzung ist für die Bionik von zentraler Bedeutung. Wissenstransfer im Hinblick auf Umsetzung in die Praxis kann über VDI-Richtlinien erfolgen. Hier können zum einen Definitionen und Begriffe festgelegt werden, aber auch konkrete Handlungsanweisungen für spezielle Fragestellungen gegeben werden. VDI-Richtlinien sind in einer technischen Sprache abgefasst, die den an der Umsetzung beteiligten Ingenieuren und Ingenieurinnen den Umgang mit den eher biologisch geprägten Ideen erleichtert. Darüber hinaus wird gewährleistet, dass bionische Verfahren von verschiedenen Anwendern in gleicher Weise genutzt werden. Dies ermöglicht eine hohe Qualitätssicherung.

Eine übergeordnete Rahmenrichtlinie verdeutlicht prinzipielle Unterschiede zwischen bionischen Verfahren und lediglich „naturähnlichen“ Verfahren und führt dadurch zu einer Profilschärfung für die Bionik.

Der VDI-Fachbereich Bionik hat sich bereits früh mit der Entwicklung von VDI-Richtlinien zum Thema Bionik eingesetzt. Die Erarbeitung der VDI-Richtlinien erfolgt in Arbeitsgremien durch ehrenamtlich tätige Fachleute aus Verwaltung, Wirtschaft und Wissenschaft.

Eine Liste mit VDI-Richtlinien zur Bionik ist zu finden unter www.vdi.de/bionik (VDI 6220 bis VDI 6226).

Internationaler Bionic-Award

Der VDI fördert Nachwuchswissenschaftler, die sich bionischen Themen widmen. Der internationale Bionic-Award wird gemeinsam mit der Deutschen Bundesstiftung Umwelt vergeben und ist von der Schauburg-Stiftung mit 10 000 Euro dotiert. Der Preis wird stets in geradzahligen Jahren vergeben. Nähere Informationen sind unter www.vdi.de/bionic2012 zu finden.

Kontakt:

Dr. Heike Beismann, Geschäftsführerin
VDI-Gesellschaft Technologies of Life Sciences
Telefon 0211 6214-266, Fax -177
bionik@vdi.de

Verein Deutscher Ingenieure e.V.
Technik und Wissenschaft
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf

bionik@vdi.de
www.vdi.de



VDI-Gesellschaft
Technologies of Life Sciences

4.2 BIOKON und BIOKON international

Das Bionik-Kompetenznetz BIOKON

Die Bionik als Ideengeber und Innovationsmotor für Technik, Wirtschaft und Gesellschaft nutzbar zu machen ist das Hauptanliegen von BIOKON. Die gemeinnützige Forschungsgemeinschaft vereint mehr als 90 Universitäten, Forschungsinstitutionen, Unternehmen und Einzelpersonen in ganz Deutschland und Europa, die auf dem Gebiet der Bionik arbeiten. Die wesentlichen Ziele von BIOKON sind, vorhandenes Expertenwissen zu bündeln und zu vernetzen, F&E-Vorhaben durchzuführen oder zu begleiten und Aus- und Weiterbildungsaktivitäten sowie Öffentlichkeitsarbeit für die Bionik anzubieten und zu koordinieren. BIOKON transferiert Wissen in Nutzen und agiert als Interessenvertreter und Impulsgeber. In den letzten Jahren hat sich BIOKON als zentrale Anlaufstelle für Informationen und Kontakte zur Bionik etabliert, BIOKON ist zum „Transmissionsriemen für Patentlösungen aus der Natur“ geworden.

Das Bionik-Kompetenznetz BIOKON wurde im Jahr 2001 mit Unterstützung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gegründet. Seit 2004 existiert BIOKON in der Rechtsform eines gemeinnützigen Vereins. Das Bionik-Kompetenznetz wird von einer wachsenden Zahl regionaler Knotenpunkte aufgespannt, die über das gesamte Bundesgebiet verteilt in unterschiedlichen Teildisziplinen der Bionik forschen. Viele deutsche und zunehmend auch ausländische Industrieunternehmen schöpfen bereits aus dem Kompetenzpool von BIOKON, greifen Bionik-Ideen auf, nutzen die Fachberatung, beziehen die BIOKON-Experten in ihre F&E-Arbeiten ein oder geben konkrete Forschungsprojekte in Auftrag. Vor allem kleine und mittlere Unternehmen profitieren vom Forschungsvorlauf an den Universitäten und Hochschulen und können sich durch die rasche Umsetzung konkreter Produktideen und bionischer Verfahren am Markt besser durchsetzen. Die Industrieaufträge bestimmen ihrerseits wieder neue Bionik-Themen, die zur stärkeren Fokussierung der biologischen Grundlagenforschung auf anwendungsrelevante Fragen beitragen.

Internationalisierung: BIOKON international - The Biomimetics Association

Bionik made in Germany ist auch international beispielgebend. Die mit BIOKON geschaffenen nationalen Netzwerkstrukturen sind eine echte Erfolgsgeschichte. Mit der Gründung des internationalen Dachverbandes BIOKON international - The Biomimetics Association im März 2009 wurde die internationale Vernetzung konsequent vorangetrieben und institutionalisiert. Sitz dieses Dachverbandes der nationalen Bionik-Netzwerke ist Berlin; die Geschäftsstelle wird von BIOKON betrieben.

BIOKON international vereint bereits kurz nach seiner Gründung über 100 Mitglieder(-Institutionen) aus 14 Ländern und fungiert als anerkannter Stakeholder auf internationaler Ebene. Wesentliche Aktivitäten zielen darauf ab, gemeinsame F&E-Projekte zu entwickeln, Finanzierungsmöglichkeiten für bionische Forschung und Entwicklung auf internationaler Ebene zu generieren und zu erschließen und schließlich Bionik als Innovationsmotor für neue Produkte und Technologien auf europäischer und internationaler Ebene fest zu etablieren.

BIOKON und BIOKON international als Innovationstreiber

Konzepte und Produkte der Bionik erweitern das Spektrum des technisch Möglichen erheblich und bieten marktgängige Lösungen, die auf konventionellem Wege nicht erreicht werden. BIOKON und BIOKON international bieten Ihnen die Möglichkeit, gemeinsam mit kreativen Köpfen aus Wissenschaft und Wirtschaft Forschungs- und Entwicklungsprojekte sowie Prototypen und Produkte zu entwickeln und die Weichen für zukunftsweisende neue Entwicklungen zu stellen.

Kontakt:

BIOKON - Forschungsgemeinschaft
Bionik-Kompetenznetz e. V.
Dr. Rainer Erb, Geschäftsführer
Telefon 030 4606-8484, Fax -8474
kontakt@biokon.de, www.biokon.de

BIOKON international
- The Biomimetics Association e. V.
Dr. Heike Seitz, Projektleiterin
Telefon 030 4606-8484, Fax -8474
contact@biokon-international.com
www.biokon-international.com

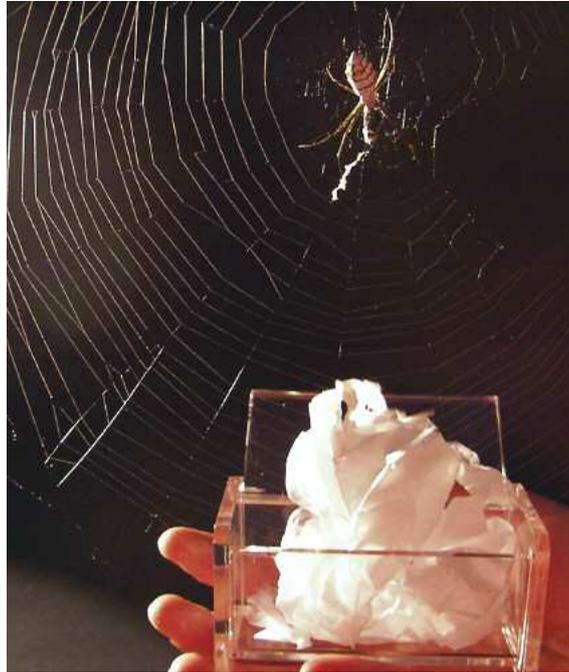
4.3 Fachausschuss „Bionik und bioinspirierte Materialien“ der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde (DGM)

In der Natur gibt es viele Materialien, die durch ihre in Jahrmillionen optimierten Eigenschaften die Einsatzmöglichkeiten von künstlich hergestellten Produkten weit übertreffen. Es ist essentiell, die zugrunde liegenden Funktionsweisen der Natur zu analysieren, um eine optimale Umsetzung in neuen bioinspirierten Materialien für technische Anwendungen zu gewährleisten. Für die Analyse von Naturmaterialien ist eine enge, intensive und offene Zusammenarbeit verschiedener klassischer Disziplinen, wie der Biologie, Chemie und Physik v. a. in der Grundlagenforschung notwendig. Für eine technische Lösung müssen die Prinzipien der Natur mittels Ingenieurwissen in neue Produkte umgewandelt werden.

Der Fachausschuss „Bionik und bioinspirierte Materialien“ hat zum Ziel, systematisch natürliche (Material-)Vorbilder zu erforschen und insbesondere den Zusammenhang zwischen der Struktur und Funktion eines Naturmaterials und den beteiligten Werkstoffen zu ergründen, was in drei Arbeitskreisen verfolgt wird.

Der Arbeitskreis „interaktive und adaptive Materialien“ beschäftigt sich zum einen mit unspezifischen, nicht gerichteten (ggf. vorprogrammierten) Reaktionen auf eine veränderte Umgebungssituation, d. h. einer passiven interaktiven Reaktion. Allerdings sind auch adaptive Materialien im Fokus, die mit einer auf die veränderte Situation angepassten intelligenten und angemessenen Antwort reagieren (aktive adaptive Antwort). Der gewaltige „Wissensvorsprung“ der Natur gegenüber unserem derzeitigen technischen Know-how liegt in den Bereichen Selbstheilung, Selbstassemblierung, Selbstreplikation, Selbstreinigung, Selbsterneuerung, Selbsterhalt und Selbstbegrenzung.

Gegenstand des Arbeitskreises „vom Gen zum Material“ ist die „molekularbionische“ Erzeugung und Charakterisierung neuer, komplex strukturierter, multifunktionaler Materialien, die über konventionelle Herstellungsprozesse nicht zugänglich sind. Im Hinblick auf die Materialgenese werden insbesondere genregulierte Prozesse und Prinzipien aus der belebten Natur, die bei Umgebungsbedingungen ablaufen, betrachtet. Damit soll der Zugang zu neuen Material- (bioorganisch/anorganisch) bzw. Eigenschaftskombinationen und somit erweiterten technischen Anwendungsfeldern für Funktionsmaterialien eröffnet werden.



Wespenspinne in Netz – davor Vliesstoff aus rekombinanter Seide (Quelle: Claudia Blüm und Thomas Scheibel)

Der Arbeitskreis „statische und dynamische Grenzflächen“ beschäftigt sich mit grenzflächendominierten Materialien, wobei sowohl innere Grenzflächen als auch Oberflächen im Forschungsmittelpunkt stehen. Biologische Grenzflächen zeigen besondere Benetzungs-, Adhäsions-, tribologische, Permeabilitäts-, mechanische, elektrische und optische Eigenschaften (quasi-)statisch, aber auch dynamisch (Transport von Energie und Materie, Reorganisation, Responsivität, oberflächengetriebene Strukturbildung, Adaption), die für neue Materialansätze von großer Bedeutung sind. Bioinspirierte Materialien werden für viele Anwendungen benötigt. Um die Lösungen der Natur zu nutzen, muss man interdisziplinär denken und arbeiten, was wir in diesem Fachausschuss der DGM aktiv umsetzen.

Weitere Informationen unter www.dgm.de

Kontakt:

Prof. Dr. Thomas Scheibel
thomas.scheibel@uni-bayreuth.de

Universität Bayreuth
Lehrstuhl für Biomaterialien
Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften
Universitätsstraße 30
95440 Bayreuth

5 Literatur und weiterführende Informationen

- **Barthlott, W.; Neinhuis, C. (1998):**
„Lotus-Effect® und Autolack: Die Selbstreinigung mikrostrukturierter Oberflächen“; *Biologie in unserer Zeit* 28: 314-321
- **Bertling, J.; Pflaum, H.; Rechberger, M.; Rettweiler, M. (2005):**
Bionik als Technologievision der Zukunft, Studie im Auftrag des Deutschen Bundestages für das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag, Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen, 2005
- **BIOKON 2011:** www.biokon.net (Stand 1.5.2011)
- **von Gleich, A.; Pade, C.; Petschow, U.; Pissarski, E. (2007):**
Bionik – Aktuelle Trends und zukünftige Potenziale; BMBF 2007
- **Fraunhofer IGB 2011:**
„Eisfreie Tragflächen durch Nanostrukturierung“, Pressemitteilung Februar 2011 (www.igb.fraunhofer.de/www/presse/jahr/2011/dt/2011-02-25-Nanodyn-eisfrei.html)
- **Gorb, S.N.:**
„Functional surfaces in biology – mechanisms and applications“. In: *Biomimetics: Biologically Inspired Technologies*. Ed. by Y. Bar-Cohen.: Boca Raton, London, New York: Taylor & Francis, (2006), S. 381–398
- **Gorb, S.N.; Voigt, D.:**
„Funktionale biologische Oberflächen als Vorbilder für die Technik“; *Performance*, Doppelausgabe 2.2009/1.2010, S. 68–77, <http://apportal.ey1.dedicated.nines.nl/wp-content/uploads/2010/06/Funktionale-biologische-Oberfl%C3%A4chen.pdf>
- **Hessen-Nanotech 2008:**
Einsatz von Nanotechnologien in Architektur und Bauwesen, Band 7 der Schriftenreihe Hessen-Nanotech, Hessen Agentur, 3. Auflage 2008
- **Hessisches Ministerium für Wissenschaft und Kunst 2011:**
„SIGECCO – Mobiler Einzelanschlagpunkt“, Messepräsentation Hannover Messe 2011, www.hessen.de/irj/HMWK_Internet?cid=2fa8b03c11e62e11eab7b8e4fc04448a
- **Kesel, A.B. (2005):**
Bionik. Fischer, Frankfurt.
- **Kroner, E.; Kamperman, M.; Arzt, E. 2010:**
„Geckoinspirierte Klebstoffe – Auf dem Weg in die industrielle Anwendung“; *adhäsion* 7-8/2010
- **Speck, T., Speck, O. (2009):**
Bionische Innovationen. – *TEC* 21, 37/38: 18–21.
- **Rechenberg, I.; Zwanzig, M.; Zimmermann, S.; El Khyari, A.R.: TU Berlin 2009:**
„Tribologie im Dünensand : Sandfisch, Sandboa und Sandschleiche als Vorbild für die Reibungs- und Verschleißminderung“; Projektabschlussbericht TU Berlin, BMBF-Förderkennzeichen 0311967A
- **VDI 6220 (Entwurf 2011-06):**
Bionik – Konzeption und Strategie – Abgrenzung zwischen bionischen und konventionellen Verfahren/Produkten – Berlin: Beuth Verlag
- **VDI 6221 (Entwurf 2011-07):**
Bionik – Funktionale bionische Oberflächen – Berlin: Beuth Verlag
- **VDI 6223 (Entwurf 2011-08):**
Bionik – Bionische Materialien, Strukturen und Bauteile – Berlin: Beuth Verlag
- **VDI 6225 (Entwurf 2010-11):**
Bionik – Bionische Informationsverarbeitung – Berlin: Beuth Verlag
- **Vincent, J., Bogatyreva, O., Bogatyrev, N., Bowyer, A., & Pahl, A. (2006):**
„Biomimetics: its practice and theory“; *Journal of the Royal Society, Interface* 3:471-482.



Atlas Kompetenz- und Infrastrukturatlas Nanotechnologien in Hessen

Competence and Infrastructure Atlas Nanotechnologies in Hessen

Atlas Kompetenzatlas Photonik in Hessen
Competence Atlas Photonics in Hessen

Band 1 Einsatz von Nanotechnologie in der hessischen Umwelttechnologie

Innovationspotenziale für Unternehmen

Uses of Nanotechnology in Environmental Technology in Hessen

Innovation potentials for companies

Band 2 Nanomedizin

Innovationspotenziale in Hessen für Medizintechnik und Pharmazeutische Industrie

Band 3 Nanotechnologie im Auto

Innovationspotenziale in Hessen für die Automobil- und Zuliefer-Industrie

Nanotechnologies in Automobiles

Innovation Potentials in Hesse for the Automotive Industry and its Subcontractors

Band 4 NanoKommunikation

Leitfaden zur Kommunikation von Chancen und Risiken der Nanotechnologien für kleine und mittelständische Unternehmen in Hessen

Supplement zum Leitfaden NanoKommunikation

Innovationsfördernde Good-Practice-Ansätze zum verantwortlichen Umgang mit Nanomaterialien

Band 5 Nanotechnologien für die optische Industrie

Grundlage für zukünftige Innovationen in Hessen

Band 6 NanoProduktion

Innovationspotenziale für hessische Unternehmen durch Nanotechnologien im Produktionsprozess

Band 7 Einsatz von Nanotechnologien in Architektur und Bauwesen

Band 8 NanoNormung

Normung im Bereich der Nanotechnologien als Chance für hessische Unternehmen

Band 9 Einsatz von Nanotechnologien im Energiesektor
Nanotechnology Applications in the Energy Sector

Band 10 Werkstoffinnovationen aus Hessen
Potenziale für Unternehmen

Band 11 Sichere Verwendung von Nanomaterialien in der Lack- und Farbenbranche
Ein Betriebsleitfaden

Band 12 Nanotech-Kooperationen

Erfolgreiche Kooperationen für kleine und mittlere Nanotechnologie-Unternehmen

Band 13 Mikro-Nano-Integration

Einsatz von Nanotechnologie in der Mikrosystemtechnik

Band 14 Materialeffizienz

durch den Einsatz von Nanotechnologien und neuen Materialien

Band 15 Nanotechnologie in Kunststoff

Innovationsmotor für Kunststoffe, ihre Verarbeitung und Anwendung

Band 16 NanoAnalytik

Anwendung in Forschung und Praxis

Band 17 Nanotechnologie für den Katastrophenschutz und die Entwicklungszusammenarbeit
Nanotechnologies for emergency management and development cooperation

Band 18 Material formt Produkt

Innovations- und Marktchancen erhöhen mit professionellen Kreativen

Materials Shape Products

Increase innovation and market opportunities with the help of creative professionals

Band 19 Patentieren von Nanotechnologien

Band 20 Nanotechnologie in der Natur - Bionik im Betrieb

Band 21 Smart Energy Materials

Werkstoffinnovationen für die Energiewende

Band 22 Kompetenzatlas Bionik in Hessen

Band 23 Nanotech in Hessen

Profil und Status des Forschungs- und Innovationsstandorts
Profile and status of the research and innovation region

Band 24 Nanotechnische Ideen in der Science-Fiction-Literatur
Nanotech Ideas in Science-Fiction-Literature

Web-Pub 1 Intelligente Materiallösungen zum Erhalt von Werten

Informationen / Download / Bestellungen:

www.hessen-nanotech.de/veroeffentlichungen



Hessen

Nanotech

www.hessen-nanotech.de

VDI

Technologiezentrum

VDI

VDI-Gesellschaft
Technologies of Life Sciences

Projekträger der Technologielinie **Hessen-Nanotech**
des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie,
Verkehr und Landesentwicklung



HESSEN

TRADE & INVEST

Das Projekt wird kofinanziert aus
Mitteln der Europäischen Union



EUROPÄISCHE UNION:
Investition in Ihre Zukunft
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung