

4. Bionik- Kongress, 7.-8. November 2008 Bremen

Thema Baubionik:

**„Bauformen der Natur – Analoge technische Konzepte
Bionisch inspirierte Anwendungen in Architektur und Technik“ Adaptive
Systeme intelligente Werkstoffsysteme**

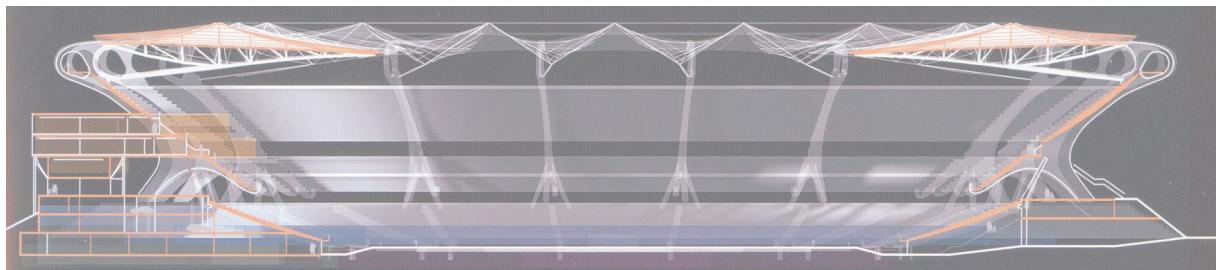
Die Anwendung von Grundsätzen der Bionik im Bauwesen ist keineswegs eine neue Tendenz. Beobachtungen in der Natur und Überlegungen zu ihrer technischen Verwertbarkeit werden seit Hunderten von Jahren angestellt. Bionik im Bauwesen wird oftmals unterschiedlich verstanden, im folgenden ist nicht die *Visuellen* Bionik gemeint.

Architekten und Ingenieure neigen gerne dazu, formale und gestalterische Ideen aufgrund visueller Ähnlichkeiten mit den natürlichen Phänomenen bionischer Prinzipien zu vergleichen. Die *visuelle* Bionik bleibt an der Oberfläche, der erste optische Eindruck ist ausschlaggebend ist aber dem Optimierungsprozess kaum dienlich. Die *funktionale* Bionik in Architektur und Technik hingegen orientiert sich schon an Beobachtungen in der Natur, so z.B Leonardo da Vinci. Man muss die Funktionsweisen des natürlichen Vorbildes untersuchen und analysieren, denn erst mit der anschließenden Umsetzung in den Bereich der Technik beginnt die eigentliche BIONIK.

Die Konzeption von effektiven und kostengünstigen Primärtragwerken ist eine essentielle Aufgabe von Architekten und Ingenieuren.

Ansätze zur Optimierung von Strukturen sind in der Natur zahlreich vertreten. Neben der Einsparung von Gewicht als eine der hauptsächlichen Lösungsmöglichkeiten bietet sich auch die Erhöhung von Steifigkeiten (Faltungen), Materialverbesserungen. Interaktion von Tragwerken und Belastungen (adaptive Tragwerke) einen weiteren Ansatz. Lösungen aus der *Strukturbionik* sind häufig auch optisch besonders augenfällig.

Sie können die Architektur wesentlich mitgestalten und beeinflussen zahlreiche Detailausbildungen.



Quelle: Bionisch inspiriertes Tragwerk von Göran Pohl, Leichtbauinstitut Jena

Als Idee für Anwendungsfelder im Bauen sei im folgenden das Thema:

Intelligente Werkstoffe und Werkstoffsysteme – smart materials hervorgehoben.

Adaptive Systeme und Materialien

Adaption = Anpassung

Unsere gebaute Umwelt ist statisch. Im Gegensatz zur lebenden Natur antwortet sie nicht auf die Veränderungen ihrer Umgebung. Dabei wäre es naheliegend, **tragende Konstruktionen** so zu konzipieren, dass sie die in ihnen entstehenden Beanspruchungszustände auf der Basis selbststeuernder Prozesse manipulieren können. Spitzenbeanspruchungen einzelner Bauteile oder Bauteilbereiche könnten so zugunsten einer Homogenisierung der Beanspruchungsverteilung insgesamt vermieden werden. Auf diese Art könnten in nicht unerheblicher Menge *Eigengewicht* einer Konstruktion eingespart, *Verformungen* reduziert und *Schwingungen* unter dynamischer Beanspruchung wie z.B. bei Brückenbauwerken gedämpft werden. Die Einführung derartiger **adaptiver Tragwerke** in den Leichtbau käme einer bautechnischen Revolution gleich.

- **Einsparung von Eigengewicht** durch Reduktion auf die beanspruchten Bereiche
- **Verformungen reduziert** durch optimale Homogenisierung
- **Schwingungen** unter Dynamischen Beanspruchungen gedämpft

Vergleichbare Überlegungen lassen sich auch auf andere Bereiche des Bauens übertragen, beispielsweise auf **Gebäudehüllen**. Diese können aufgrund ihrer konstanten physikalischen Eigenschaften kaum bzw. gar nicht auf Veränderungen der Außen- wie Innenwelt reagieren. Gelänge es, eine *selbstgesteuerte Adaption* der Gebäudehüllen in ihren bauphysikalischen Eigenschaften allgemein, d.h.

beispielsweise in der Lichttransmission, ihrer Schallabsorption, ihrer Energierflexion etc., zu erreichen, so wäre dies ein entscheidender Schritt hin zu einer völlig neuen Bauqualität.

Elementare Grundlagen

Systeme, die sich mit Hilfe *selbstgesteuerter oder selbstorganisierter* Vorgänge aktiv verändern, bezeichnet man als adaptive Systeme. Anpassungsvorgänge der Strukturen erfolgen durch sogenannte **Aktuatoren**, die durch einen übergeordneten Steuerungs- und Regelungsprozess aktiviert werden.

Der Steuerungs-Regelprozess selbst wiederum bezieht seine Eingangssignale von **Sensoren**, also Elementen, die physikalische Zustände oder Veränderungen erkennen können.

Unter einem Sensor versteht man ein Bauteil, das infolge der Einwirkung oder Veränderung einer Einflussgröße ein Signal abgibt. Es gibt eine Vielzahl unterschiedlichster Sensortechnologien. Zu den wichtigsten gehören die *faseroptischen*, die *piezoelektrischen* Sensoren und die Sensoren auf *CMOS -Basis* (Complementary Metal Oxide Silicon).

Aktuatoren sind Bauteile, die unter Aktivierung (beispielsweise durch elektrische, magnetische, thermische oder chemische Anregung) ihre Geometrie und / oder ihre mechanischen Eigenschaften verändern. Damit können sie als Stellelemente verwendet werden, mittels derer Geometrie und/oder Beanspruchungszustand in einer Struktur manipulierbar sind. Die einfachsten Arten von Aktuatoren sind hydraulik- und Pneumatikzylinder sowie elektrische Stellantriebe. Darüber hinaus gibt es eine ganze Reihe von kleineren, robusteren und wesentlich wartungsärmeren, teilweise sogar wartungsfreien Aktuatoren.

Smart Materials

Bei einem Blick in die Zukunft des Leichtbaus zeigen die intelligenten Werkstoffe, „Smart Materials“ genannt, noch ungeahnte Möglichkeiten auf. Diese „adaptiven“ Materialien aus Ein- oder Mehrkomponentenstoffen sind in ihren Eigenschaften nicht festgelegt und können sich selbstständig an die jeweils äußeren Beanspruchung anpassen. Sie reagieren aktiv auf äußere Veränderungen wie Temperatur, Strahlung, Belastung oder elektrische Spannung. Besonders interessant ist diese Eigenschaft, wenn die Zustandsänderung reversibel ist. Wie das Vorbild Natur – Bionik - können diese Werkstoffsysteme einem Versagen zuvorkommen, indem sie sich selbst reparieren und sich an die Umgebungsbedingungen anpassen.

Nachfolgend wird eine Klassifizierung der Smart Materials in Abhängigkeit von der

beeinflussten Eigenschaft dargestellt. Systeme, die die „smarten“ Eigenschaften dieser Materialien nutzen, können in anpassungsfähigen Tragwerken oder als adaptive Elemente einer Gebäudehülle eingesetzt werden.

1. Formveränderbare Materialien

Ihre Form oder Gestalt kann durch Einwirkung von Temperatur, elektrischer Spannung, eines Magnetfeldes oder einer chemischen Reaktion reversibel verändert werden.

Anwendung:

- > **Form-Gedächtnis-Metalle** (Nickel-Titan Legierungen) können in Tragstrukturen gezielt zum Ausgleich von Längenänderungen eingesetzt werden.
- > Als **Aktoren** können sie zur Bewegung von Elementen, z.B. der Fassade, dienen (Lüftungsklappen).
- > **Piezoelektrische Bauteile** in elektronischen Schaltungen dienen als Taktgeber in Form von Schwingungsquarzen.
- > **In Tragstrukturen** können sie als Sensor- und Aktuatorsysteme wirken und dort je nach Anregungszustand das Tragverhalten des Systems gezielt beeinflussen.
- > **In Wandbauteilen** dienen Verbundwerkstoffe mit Piezofasern dem Schallschutz. Sie erzeugen „Gegenschall“, wenn sie gezielt zum Schwingen angeregt werden.

2. Phasenveränderbare Materialien (Phase-Change Materials)

Bei ihnen kommt es durch Temperatur, elektrische oder magnetische Felder zu einer reversiblen Veränderung des Aggregatzustandes, bei der Wärme aufgenommen bzw. abgegeben wird. Energiespeichernde Materialien mit Phasenübergang sind bereits seit längerem im Einsatz bei der Nutzung und Speicherung der Solarenergie in großer Speichersysteme; neuerdings werden sie auch zur Temperaturregulierung in Leichtbauten verwendet.

3. Adhäsionsveränderbare Materialien

Bei diesen Stoffen verändert sich die Adhäsionseigenschaften durch Licht- oder Temperatureinwirkung. Es gibt bereits ein breites Angebot an Materialien, die das Anschmutzverhalten eines Feststoffs verbessern. In der Architektur ist besonders die selbsttätige Fassadenreinigung von Bedeutung (Lotuseffekt). Dafür werden auf Glasscheiben oder Membranen hydrophile Oberflächenschichten aufgebracht oder spezielle Wandfarben und Putze mit verbessertem Anschmutzverhalten eingesetzt.

4. Farbveränderbare, optisch aktive Materialien

Sie zeigen eine reversible Veränderung der Lichttransmission, -absorption und/oder -reflexion durch Licht, Temperatur, elektrischen Strom oder Gas, d.h. sie können die Farbe wechseln oder transluzent bzw. spiegelnd werden.

Anwendungen:

- ▶ **Photochrome Gläser** (sie verändern ihre Farbe/Transmission unter Lichteinwirkung) sind bislang wegen ihrer starken Temperaturabhängigkeit für Gebäude nicht geeignet.
- ▶ **Thermochrome Systeme** können als Sonnenschutz eingesetzt werden. Da sie jedoch nur von transparent auf transluzent bzw. umgekehrt schalten (d.h. im geschalteten Zustand keine Durchsicht gewähren), sind sie hauptsächlich für Überkopfanwendungen oder als Überhitzungsschutz für TWD-Systeme (Transparente Wärmedämmung) geeignet.
- ▶ Zur Zeit ist aufgrund fehlender Langzeitstabilität kein **elektrochromes System** (d.h. ein System, das seine Farbe/Transmissionseigenschaften unter Einwirkung eines elektrischen Stromes verändert) auf dem Markt.
- ▶ Neben Displays sind seit vielen Jahren **elektrooptische Systeme** mit Flüssigkristallfunktionsschicht für Gebäude erhältlich. Sie schalten zwischen einem transparenten und einem transluzenten Zustand. Derzeit wird auch an Systemen geforscht, die bei Erhalt der klaren Durchsicht ihre Absorptionseigenschaft verändern können.
- ▶ **Gasochrome Isolierglassysteme** werden voraussichtlich in Kürze verfügbar sein.

5. Elektronenemittierende Materialien

Bei diesen Stoffen werden Elektronen durch Lichteinstrahlung, Temperatur- oder Druckänderung freigesetzt, die zur Erzeugung von elektrischem Strom genutzt werden können. Siliziumzellen finden breite Anwendung in elektronischen Geräten und Photovoltaikanlagen. Strahlungssensoren zur Messung der Lichtstärke basieren z.B. auf Siliziumzellen. Temperatursensoren machen sich den thermoelektrischen Effekt zunutze, während Kühl- oder Heizelemente z.B. Kühlboxen auf dem Peltier-Effekt (umgekehrter thermoelektrischer Effekt) beruhen.

Selbstanpassende Gebäudehüllen >> Bionik osszilierende Tragwerke

Gelänge es, eine selbstgesteuerte Adaption der Gebäudehülle – als Vereinigung von „Dach“ und „Wand“ – in ihren bauphysikalischen Eigenschaften, d.h. beispielsweise in ihren Lichttransmission, ihrer Schallabsorption, ihrer Energireflexion etc., zu erreichen, so wäre es möglich, für unterschiedlichste Umgebungssituationen stets optimale Innenraumsituationen herbeizuführen. Dieser Gedanke scheiterte bisher an technischen Schwierigkeiten. Inzwischen ist die Machbarkeit adaptiver Gebäudehüllen jedoch aufgrund des technischen Fortschritts in greifbare Nähe gerückt. Ihre Einführung in das Bauwesen ist damit nur noch eine Frage der Zeit. Eine besondere wichtige Rolle spielen hierbei Systeme, die nematische Flüssigkristalle verwenden. Diese Systeme sind in der Lage, den Strahlungs- und damit auch den Lichtdurchgang aktiv und schnell zu regulieren. Bisher erschienen diese von den bekannten Flüssigkristallzellen der Anzeigentechnik abgeleiteten Systeme für eine entsprechende Anwendung im Gebäudeaußenbereich nicht geeignet. Grund hierfür war zum einen die Empfindlichkeit einzelner Systemkomponenten gegenüber äußeren Einflüssen (wie zum Beispiel Temperaturbelastung und UV-Bestrahlung), zum anderen aber auch der kostspielige Herstellungsprozess. Aktuelle Entwicklungen im Bereich der verwendeten „Nano-Werkstoffe“, hin zu beständigen und günstig herstellbaren Bestandteilen lassen es interessant erscheinen, die Flüssigkristall-Technologie für regelbare Fenstersysteme einzusetzen. Die Vorteile eines Flüssigkristallfensters gegenüber den Elementen mit thermochromem, elektrochromem oder gasochromem Funktionsprinzip sind wichtig. Die geringe Schaltzeit, der niedrige Energieverbrauch, die stufenlose Einstellbarkeit des Strahlungsdurchgangs innerhalb der möglichen Grenzen, eine geringe Farbverfälschung sowie ein geringer Installations- und Versorgungsaufwand sind als wesentliche Vorteile eines solchen Elementes anzuführen. Entsprechende Prototypen konnten am Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren Universität Stuttgart entwickelt und hergestellt werden. Sie zeigen sehr vielversprechende

Schalteigenschaften.

Selbstanpassende Tragwerke

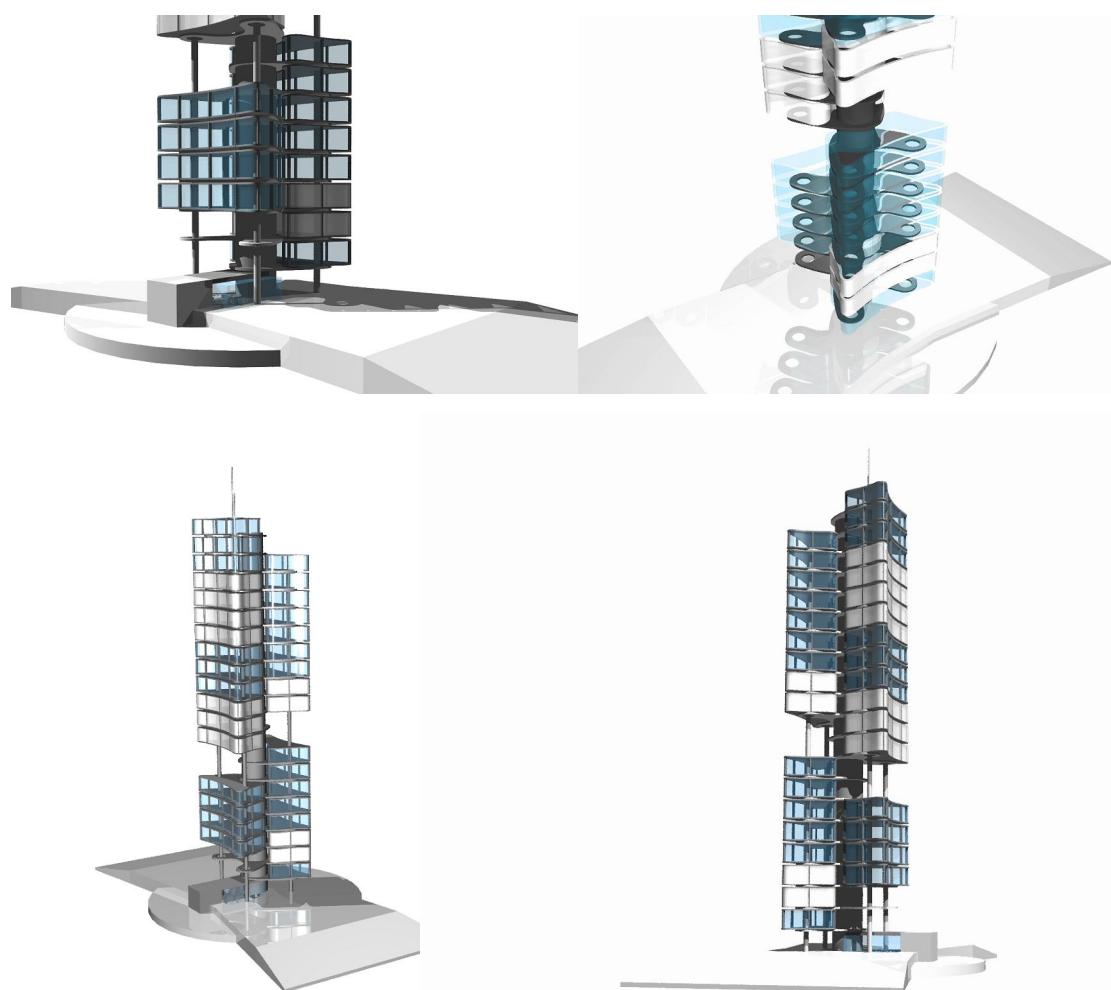
Adaptive tragende Konstruktionen können die in ihnen aufgrund äußerer wie innerer Einwirkungen entstehenden Kräfte (und damit auch zeitabhängige wie zeitunabhängige Verformungen) im Sinne der Adaptivität manipulieren. Dabei ist zunächst zu unterscheiden zwischen einer Manipulation der Einwirkung selbst sowie einer Manipulation der Reaktion der Konstruktion. Beide Manipulationen können gleichzeitig auftreten. Am Beispiel einer Brücke erläutert bedeutet dies z.B., dass die adaptive Konstruktion einerseits die auf sie wirkende Windwirkung durch gezielte Beeinflussung der Umströmung verändert (Beeinflussung der resultierenden Einwirkung) und dass sie gleichzeitig durch interne Steifigkeitsveränderungen eine Homogenisierung des Beanspruchungszustandes in der Struktur herbeiführt (Beeinflussung der Beanspruchung). Ein erster Prototyp, der Machbarkeit dieses Prinzips eindrucksvoll vor Augen führt, ist der sogenannte Stuttgarter Träger, der am Institut für Leichtbau Entwerfen und konstruieren (Universität Stuttgart) entwickelt wurde.

Ausblick

Adaptive Systeme und Mechanismen werden in wenigen Jahren ein fester Bestandteil des täglichen Lebens sein. Automatische, selbstlernende Abstandsregelungen bei Automobilen sind bereits heute verfügbar. Adaptive Herzschrittmacher, die nicht mit einer konstanten Frequenz arbeiten, sondern auf äußere physiologische Randbedingungen wie Bewegungen regieren, sind genauso in der Entwicklung wie die aktiven Prothesen und Implantate mit sensorischen Funktionen und Aktuatoren. Die Raumfahrt arbeitet an adaptiven Fachwerkkonstruktionen (Tensegrity Bionik), bei denen aktive (z.B. piezokeramische) Elemente verwendet werden, um eine genaue Positionierung oder Schwingungsisolierung von Satellitenreflektoren zu erreichen. Adaptive Systeme zur Geräuschreduktion und Gläser mit variabler Lichttransmission werden im Bauwesen genauso selbstverständlich werden wie die aktive Beeinflussung von Kraftzuständen, Verformungen und Schwingungen, insbesondere bei den Tragwerken des Leichtbaus.

Das Bauen der Zukunft wird sich immer mehr an Bionisch Inspirierten Abhängigkeiten orientieren, bereits heute im Zeitalter der Energieautonomie werden intelligente Fassaden an sog. „Greenscraper“ Hochhäuser realisiert deren Umsetzung ohne Adaptive Systeme und intelligente Werkstoffsysteme unter Berücksichtigung der Strömungsmechanik nicht vorstellbar ist. Dasselbe gilt für filigrane an der Natur orientierte Tragwerke und Tragwerksysteme.

Dieter Leukefeld, Architekt / Ingenieur



Entwurf MK5 bionisch inspirierter Tower

ARCHItектur + TECHnik Architekt Dipl.-Ing. Dieter Leukefeld

Quellen/Nachweise

- Prof. Dr.-Ing. Werner Sobek Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruktion
Dr.-Ing. Walter Haase Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruktion
Prof. Dipl.-Ing. Edgar Stach College of Architecture and design der University of Tennessee, USA
Prof. Dr.rer.nat. Werner Nachtigall, Baubionik, Saarbrücken
Prof. Göran Pohl HTW Saarbrücken

4. Bionik- Kongress, 7.-8. November 2008 Bremen

Baubionik

**„Bauformen der Natur – Analoge technische Konzepte
Bionisch inspirierte Anwendungen in Architektur und
Technik“ Adaptive Systeme intelligente
Werkstoffsysteme**

Dieter Leukefeld