

Zeitschrift: Bauen + Wohnen = Construction + habitation = Building + home : internationale Zeitschrift

Herausgeber: Bauen + Wohnen

Band: 32 (1978)

Heft: 4

Artikel: Natürliche Konstruktionen = Constructions naturelles = Natural constructions

Autor: Otto, Frei / Helmcke, J.G. / Burkhardt, Berthold

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-336064>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Seit über zehn Jahren arbeitet in Stuttgart eine Arbeitsgruppe von Biologen und Architekten mit dem Thema Biologie und Bauen. Naturwissenschaftliche Grundlagenarbeiten zu Form und Konstruktion von Leichtbaustrukturen wie Schalen, Membranen, Pneus u. a. sind Ergebnisse dieser Kooperation. Besondere Bedeutung kommt dabei der Untersuchung der physikalischen und biologischen Formfindungsprozesse zu. Dabei geht es keinesfalls um eine triviale Umsetzung der biologischen Formen der Natur in die Architektur. Das soll am Beispiel des Pneus, dem elementaren Bauelement aller Objekte der lebenden Natur dargestellt werden.

Depuis plus de dix ans, un groupe de travail composé d'architectes et de biologistes, se penche à Stuttgart, sur le thème biologie et construction. Des travaux de base naturalistes, portant sur la forme et la construction de structures légères telles que coques, membranes, pneumatiques et autres, sont les résultats de cette coopération. L'étude des procédés de recherche de formes physiologiques et biologiques y revêt une importance particulière. Toutefois il ne s'agit nullement de transposer les formes biologiques naturelles en architecture, comme démontré par l'exemple du pneumatique, élément de construction de tous les objets vivants de la nature.

For more than 10 years a group of biologists and architects have been going into the subject of biology and building. The result of this joint study is revealed in the scientific approach to design and construction of foundations for light building work – in shuttering, membranes, for tyres, etc. Special significance is accorded the testing of the physical and biological form-finding processes. This is by no means a mere "translation" of biological forms of nature into architecture. This is best illustrated by the pneumatic, by the elemental construction-element of all living objects in nature.

Vorbemerkung zum Grundsätzlichen und zum Prinzip Leichtbau:

Jedes materielle Objekt hat eine Form. Jedes materielle Objekt hat die Fähigkeit zur Übertragung von Kräften. Jedes Objekt mit der Fähigkeit zur Übertragung von Kräften ist bautechnisch gesehen eine Konstruktion. Jede Konstruktion hat eine Form und besteht aus Material. Alle materiellen Objekte aus Natur und Technik sind zugleich auch Konstruktionen.

Jede Konstruktion entsteht durch einen Prozess, durch den das Material angeordnet, Strukturen hergestellt und die Form in der Regel bleibend bestimmt wird.

»Leicht« sind Konstruktionen, die mit relativ wenig Masse große Kräfte übertragen können. Zelte, Schalen, Netze, Fachwerkträger, Segelboote sind typische Leichtbaukonstruktionen. Extrem leichte Konstruktionen der Technik, deren übrige Form strengen Naturgesetzen unterliegt und vom Menschen nur bedingt »verformt« werden können, nennt man daher natürliche Konstruktionen.

Das Prinzip Leichtbau ist meßbar mit dem Masseaufwand im Verhältnis zur Fähigkeit, Kräfte übertragen zu können. Dieses Maß heißt »Bic«.

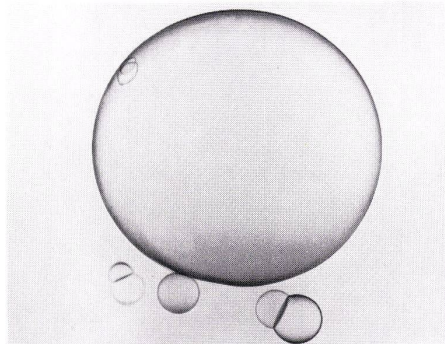
$$\text{Bic} = \frac{\text{Masse}}{\text{Bruchkraft} \times \text{Übertragungslänge}}$$

$$\text{Bic} = \text{g/N} \cdot \text{m}$$

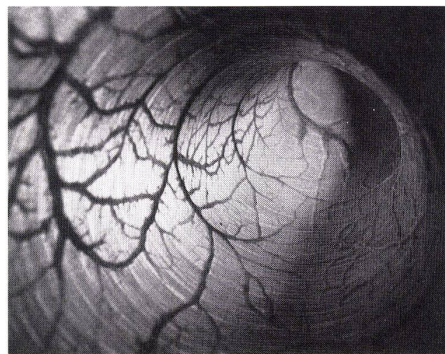
Frei Otto, J. G. Helmcke,
Berthold Burkhardt, Stuttgart/Berlin

Natürliche Konstruktionen

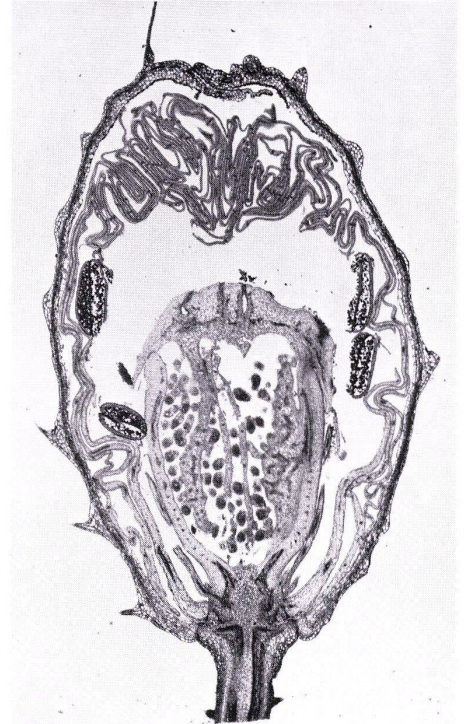
Constructions naturelles
Natural constructions



1



2



3

Wiegt ein Objekt 1 g und kann es maximal die Kraft von 1 N übertragen, hat es einen Bic von 1 g/N · m.

Der Bic ist für jedes materielle Objekt ermittelbar. Gleichgültig ob es sich um Objekte aus der nicht lebenden Natur (Atome, Kristalle, Gestirne, Berge), der lebenden Natur (Zellen, Schalen, Pflanzen, Tiere) und der Technik (Häuser, Sportgeräte, Türme, Brücken, Fahrzeuge) handelt. Man kann insbesondere Objekte der lebenden Natur mit solchen der Technik vergleichen. Dies kann man insbesondere dann, wenn es sich um Objekte mit ähnlichen konstruktiven Aufgaben handelt: Also Vögel mit Flugzeugen, natürliche Fäden mit künstlichen Fäden, Knochen mit Druckstützen, Skelette mit Kränen, Schalentiere mit Gewölben, Fischblasen mit Ballons usw. Im Vergleich zu technischen Konstruktionen sind Konstruktionen der lebenden Natur – bis auf wenige Ausnahmen – leichtester Leichtbau mit den niedrigsten Bic.

Der Pneu, ein Bausystem in Natur und Technik

Unter allen Leichtkonstruktionen zeichnet sich ein konstruktives System durch extreme Leichtigkeit aus. Es ist der Pneu. Er kann große Kräfte übertragen, ist zugleich Hülle, Behälter, Verpackung, Schutz. Allerdings ist er dabei wenig fest im üblichen Sinne von fest, denn ein Pneu verformt sich stark, wenn er belastet wird.

Doch gerade diese Eigenschaft macht ihn so schwer zerstörbar.

Ausgehend von technischen Pneus, (z. B. Autoreifen, Luftballons, Fallschirmen, Ballonhallen) wurde dieses Wort (– abgeleitet von »Pneuma« = Luft, »pneumatos« = Hauch, Luftstrom und pneo = wohnen, atmen) auf alle Gebilde übertragen, auch dann, wenn sie nicht mit Luft, sondern mit Flüssigkeiten oder anderen Substanzen gefüllt sind. Eine wesentliche Eigenschaft des Pneus ist seine stark zugbeanspruchbare biegegewiche Hülle, die relativ große Kräfte übertragen kann und die eine Füllung umschließt. Hülle und Füllung tragen gemeinsam; sie sind ein System, das sich in einem Medium befindet.

Das System aus Hülle und Füllung hat die Fähigkeit, Kräfte aufzunehmen.

Das Bauelement der lebenden Natur ist der Pneu

Ein Wasserschlauch und ein Darm können sehr ähnlich aussehen, ebenso ein wassergefüllter Luftballon und eine Schweinsblase, ein Fußball und ein Fischei.

Diese Ähnlichkeiten sind keine Zufälligkeiten. Es handelt sich zwar um unterschiedliche Funktionen, doch um gleiche Konstruktionen. Viele Objekte der lebenden Natur sind unbezweifelnd Pneus, wie Adern, Därme, Würmer, weiche Einzeller und auch rote Blutkörperchen. Der

1
Freischwebende Seifenblase (Foto: Wolfram Burger IL).

Bulle de savon flottant dans l'air (Photographie: Wolfram Burger IL).

Hovering soap bubble (Photo: Wolfram Burger IL).

2
Rinderdarm (Foto: Frei Otto IL).

Intestin de boeuf (photographie: Frei Otto IL).

Beef intestine (Photo: Frei Otto IL).

3
Mohnblütenknospe, Längsschnitt (Foto: Rainer Schill).

Bouton à fleur de pavot, coupe longitudinale (photographie: Rainer Schill).

Poppy bud, longitudinal section (Photo: Rainer Schill).

4
Schweinedünndarm in Spiralfarm (Foto: Thomas Braun IL).

Intestin grêle de porc en forme de spirale (photographie: Thomas Braun IL).

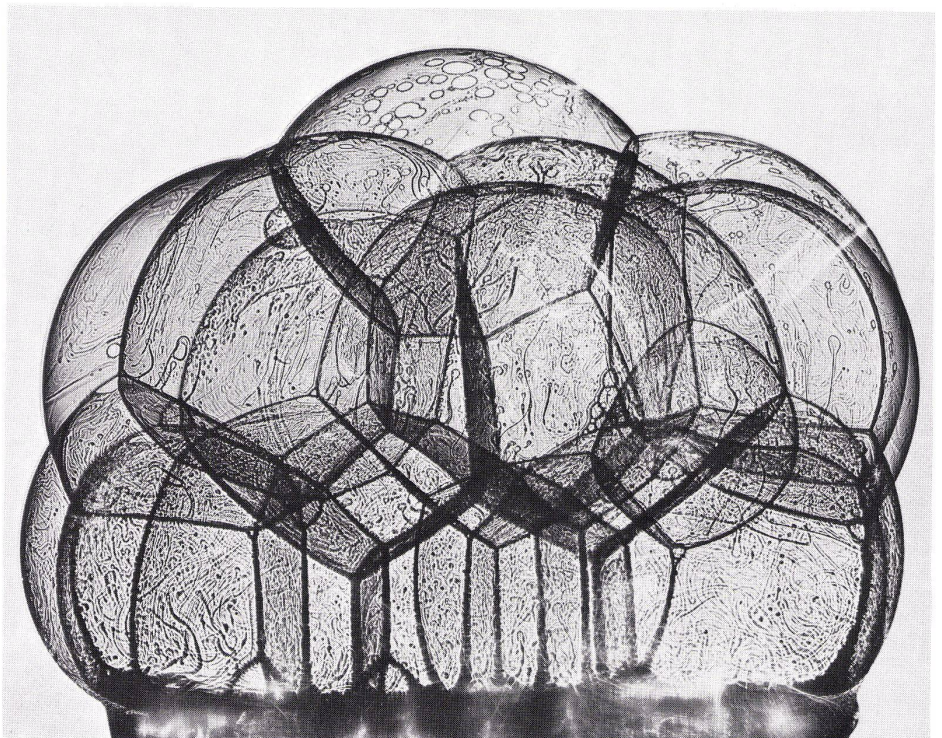
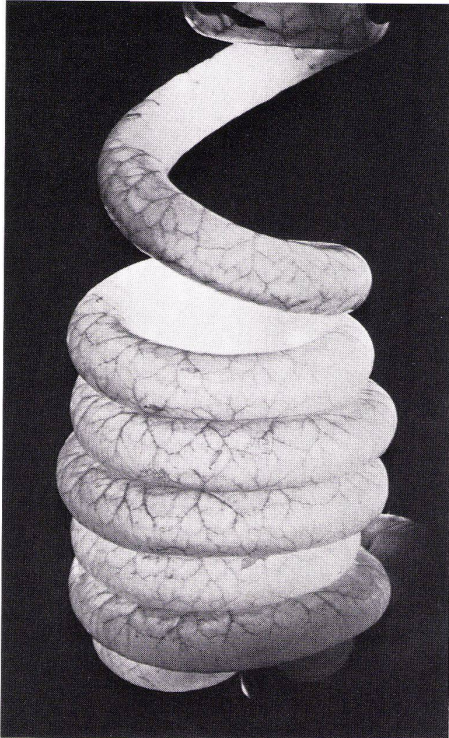
Pig gut in spiral (Photo: Thomas Braun IL).

5
Addierte Seifenblasen (Foto: Thomas Braun IL).
Grappe de bulles de savon (photographie: Thomas Braun IL).

Cluster of soap bubbles (Photo: Thomas Braun IL).

6
Blütenblattoberfläche (Foto: Nesta Ehler).
Superficie d'une pétale de fleur (photographie: Nesta Ehler).

Surface of flower petal (Photo: Nesta Ehler).



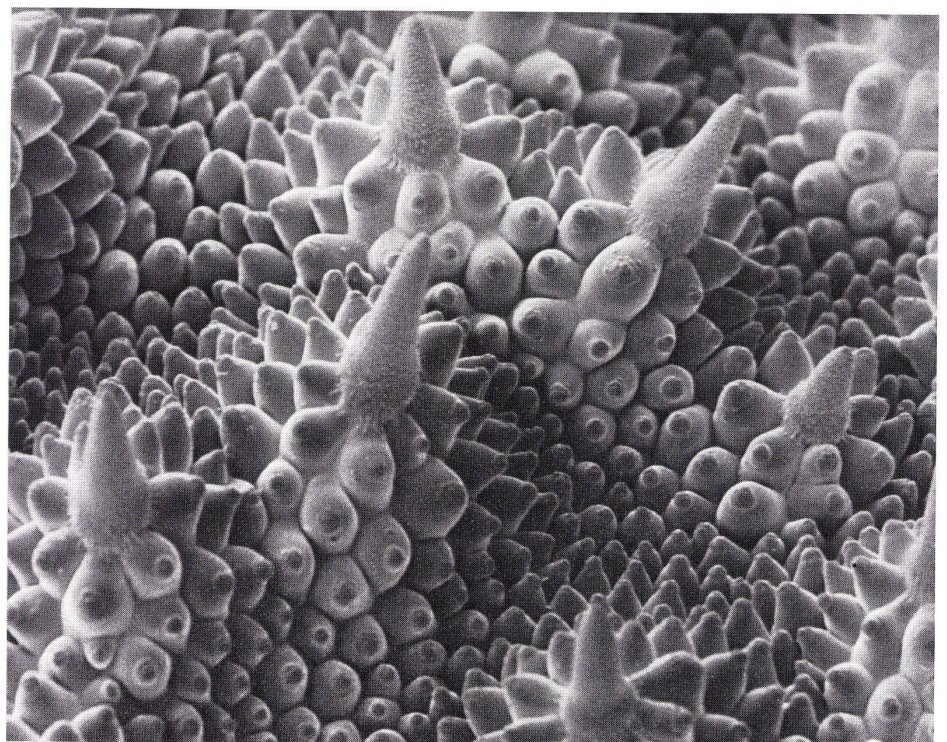
4
Pneu ist aber nicht eines unter vielen Konstruktionssystemen der lebenden Natur, sondern er ist *das* Grundsystem. Er ist das älteste und das Ursystem. Die erste lebende Zelle muß ein Pneu gewesen sein.

Der Turgordruck (lat. turgeo, tursi = geschwollen sein, turgor = Schwellung) innerhalb einer biologischen biegeweichen semipermeablen Zellmembran war den Botanikern und Zoologen zwar längst bekannt, aber daß durch diesen osmotischen Vorgang auch äußere Gestalten von stets wiederkehrenden typischen Erscheinungsformen hervorgebracht werden, war bisher völlig unbeachtet geblieben. Die auf derartige Beobachtungen folgenden Überlegungen führten zu dem Stuttgarter Satz von 1973:

Der Pneu ist die wesentliche Grundlage der Formenwelt der lebenden Natur.

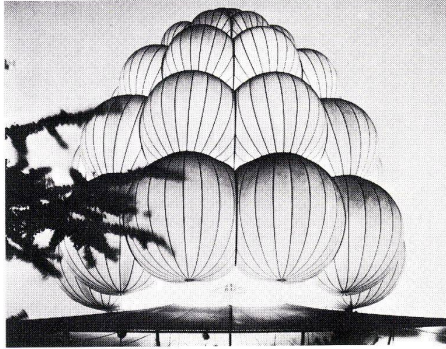
Jedes biologische Objekt besteht aus Pneus, denn jede lebende Zelle ist ein Pneu. Jedes von einer Haut umgebene vielzellige Organ ist auch ein Pneu. Der Pneu ist als Zelle oder als Organ das »Montagegerät«, das die Form des ganzen Individuums mit allen Teilen *gestaltet* selbst dann, wenn diese Teile keine Pneus mehr sind.

Das einfachste – und wahrscheinlich auch das ursprünglichste System des Pneus ist die fliegende Seifenblase oder ihre Schwester, die Seifenblase im Wasser, die Mikrosphäre, jener Urpneu des Lebens. Ihre physikalischen Daten

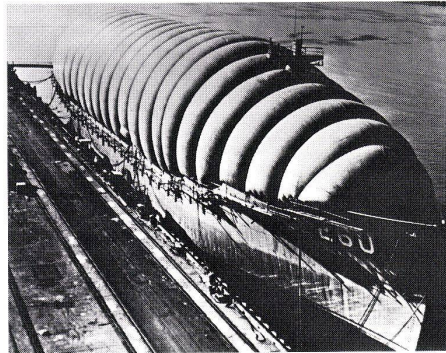




7



8



9

7 Begehbarer Schlauch auf dem Wasser, Studentenarbeit in Delft (Foto: Frei Otto IL).
Tuyau accessible flottant sur l'eau, travail d'étudiant à Delft (photographie: Frei Otto IL).
Accessible hose on the water, student project at Delft (Photo: Frei Otto IL).

8 Weltausstellung und Brass Rail Restaurant, New York. Entwurf und Herstellung: Lundy und Bird (Foto: Cserna).
Exposition internationale et restaurant Brass Rail, New York. Projet et réalisation: Lundy et Bird (photographie: Cserna).
International exhibition and Brass Rail Restaurant, New York. Design and production: Lundy and Bird (Photo: Cserna).

9 Großräumige Schiffseinmottung, Bird Air Structures (Foto: Walter Bird).
Conservation de navire à grande échelle, Bird Air Structures.
Preservation of ship on grand scale, Bird Air Structures.

lassen sich leicht berechnen. Sie zeigen, daß man eine Mikrosphäre durchaus mit einem sehr kräftig aufgeblasenen Luftballon mit fester Haut vergleichen kann. Obwohl die durch eine Flüssigkeitsgrenzschicht gebildete Membrane einer Mikrosphäre zur Aufrechterhaltung der Stabilität des Systems bereits ausreicht, ist sie im biologischen Bereich durch andere Stoffe zugestärkt.

Die Membran einer Mikrosphäre übt nicht nur die Aufgabe einer zugfesten Verpackung aus, sie ist Reagenzbehälter und zugleich Reaktionsfläche. Bei biologischen Zellen ist diese Membran verstärkt. Solange der Innendruck nicht den kritischen Wert des Berstdruckes erreicht, bleiben die Eigenschaften der biologischen Pnehülle bestehen: Kräfte aufzunehmen und zu übertragen. Ein solcher Pneu wird bei entsprechenden Verhältnissen von Innen- zum Außendruck zum tragenden Bauelement eines größeren Aggregates werden.

Das Material und die Formbildungsgesetze legen die Grenzen der Formvariabilität fest. Obwohl die Anzahl der verfügbaren Materialien (besonders in der lebenden Natur) nur gering sind, kann die Variabilität der Formen bei allen Pneus und damit bei allen biologischen Objekten erstaunlich groß sein.

Bei der Beurteilung der Tragfähigkeit eines biologischen Pneus kommt der Form die Priorität zu. Dennoch ist für jede Beschreibung eines pneumatischen Systems die gemeinsame gleichzeitige Bewertung von Form und Material unumgänglich.

Bei der Unterscheidung der Arten unterschieden die Biologen anfänglich sehr einfach nach der Form. Selbst die Entstehung des Lebens versuchte man in den Anfängen formal zu erklären. Später erhielten biochemische Zusammenhänge größere Bedeutung. Doch die Kenntnis von biologisch wichtigen Urmolekülen besagt erst dann etwas, wenn man die Weise der Zusammenlagerung dieser Moleküle erklärt. Auch ein einziges Molekül hat eine Form. Mehrere Moleküle können verschiedene Formen bilden. Wenn sich Moleküle bspw. in der Flüssigkeits-haut einer Mikrosphäre anlagern, bilden sie einen Pneu. Sie sind eine Konstruktion, und zwar eine sehr typische. Sie bilden einen abgegrenzten Raum, die Urform des Individuums. An sich ist konstruktiv das Werden der Formen biologischer Objekte einfach zu erklären, obwohl im einzelnen die Prozesse in extremster Weise komplex sind. Der Weg führt von der Mikrosphäre über die nicht mehr kugelförmige Mikrohülle zur biologischen Zelle, die bereits ein hochkomplexierter Pneu ist, der wiederum aus vielen Elementen besteht. Durch Zellteilung entstanden Einzeller, Zellkolonien und zellgefüllte Pneus. Alle mehrzelligen Individuen sind zellgefüllte Pneus. Wenn sich Zellen teilen, bilden sie in der Regel wieder einen großen vielzelligen Pneu. Individuen bleiben auch dann (weitgehend) Pneus, wenn Versteifungen (Knochen, Verholzungen u. a.) auftreten.

Versteifungen erschweren das Wachstum, doch auch dann wird das Wachstum durch den weichen Pneu der lebenden Zelle gesteuert. Selbst bei solchen Objekten, die Kräfte nicht mehr mit dem konstruktiven System Pneu aufnehmen, also die Füllung nicht mehr als wichtiges tragendes Element heranziehen, wie bei harten Pflanzen und bei Schalentieren, bleibt die äußere zugfeste Haut erhalten. Sie bleiben Pneus mit »harten Bestandteilen in der Füllung«.

Die Ausnahmen sind gar keine:

Als wesentliche Konstruktionen der lebenden Natur galten bisher feste Teile wie Schalen und Skelette. Man hielt sich bei Erklärungen an die

Vorbilder aus Bautechnik und Mechanik, soweit diese zum Allgemeinwissen gehören. Der Pneu wurde nicht gesehen.

Die steife Schalenkonstruktion der lebenden Natur, wie wir sie bei Kieselalgen, Insekten und Krebspanzern kennen und die Skelettkonstruktionen der lebenden Natur (Knochen) sind konstruktiv betrachtet keine Pneus. Sie übertragen dann die Druckkräfte nicht mehr über Hülle und Füllung als gemeinsames System, sondern direkt über eine druckfeste Substanz. Schalen, Knochen und versteifte Pflanzen sind also keine Pneus und dennoch haben sie die Form von Pneus.

Sie sind *versteifte* Pneus. Weiche Zellmembranen werden zu Zellwänden. Sie behalten ihre Form. Sogar die mächtigen Stämme der Bäume wachsen als Pneu und behalten deren typische Form. Krebse, Insekten, selbst Muschelschalen, Schnecken, Hühnereier, alle Formen werden durch den Pneu gebildet.

Grundlagenforschung Biologie und Bauen

»Der Pneu ist die Formenwelt der lebenden Natur.«

Dieser Schlüsselsatz wurde am Schluß eines Kolloquiums 1973 in Stuttgart von Biologen und Architekten gemeinsam nach harten Diskussionen formuliert.

Dieser Satz ist zweifellos für die Grundlagen der Biologie wie gleichermaßen der Architektur von eminenter Bedeutung. Pneus in Natur und Technik ist ein Teilergebnis der Arbeitsgruppe Biologie und Bauen, die nun schon über zehn Jahre arbeitet.

Zweifellos sieht der Architekt nur einen winzigen Ausschnitt aus dem Bereich der Biologie, während der Biologe die Architekten mehr als ganzes aufnimmt. Auch die Bedeutung der Formen biologischer Konstruktionen und die Betrachtung menschlichen Verhaltens in natürlichen und künstlichen Räumen und Strukturen gewinnt der Architekt Einsicht in biologische Zusammenhänge.

Es geht hierbei also nicht um die lediglich visuelle Übernahme von Formen der Natur in die Technik, sondern um die Formbildungsprozesse, die ganzheitlich gesehen durch Mutation und Auslese geprägt wurden.

Zur Grundlagenforschung dieses Gebietes ist ein relativ klarer Weg vorgeschrieben. Am Beispiel des natürlichen Bausystems Pneu ist die Formenwelt der lebenden Natur aufgedeckt. Darauf aufbauend wird sich der nächste Schluß anschließen, welche Gesetzmäßigkeiten einer natürlichen Ästhesie und eines natürlichen Verhaltens zugrunde liegen. Der Mensch, Planer und Nutzer der gebauten Architektur, ist Bestandteil der lebenden Natur. Er wird sich immer in biologischen Naturgesetzen bewegen müssen, wenn er sich selbst und seine Umwelt nicht zerstören will.

Anmerkung:

Die ungekürzte Fassung dieses Artikels von J. G. Helmcke, Frei Otto und Berthold Burkhardt wird in der Zeitschrift »Biologie in unserer Zeit« veröffentlicht.

Die Forschungsarbeit »Pneus in Natur und Technik« erschien als Heft IL 9 (1977) in der Schriftenreihe des Institutes für leichte Flächentragwerke, Universität Stuttgart.

Der zweite Teil »Pneus in Natur und Technik« erscheint als Heft IL 19 voraussichtlich 1978/79.