

# Atomare Architektur

Gegenwärtig wird eine Vielzahl von Materialien verarbeitet, geformt und zusammengesetzt, um eine gebaute Umwelt zu schaffen, die unseren speziellen Bedürfnissen angepaßt ist. Wir setzen einen Großteil unserer Entwurfsressourcen für die Behebung technischer Probleme ein, die bei der Verbindung verschiedener Baukomponenten entstehen – egal, ob es sich dabei um Bauelemente, Oberflächen oder Haustechnik der verschiedensten Größen handelt.

Mit der fortschreitenden Verbesserung der Materialtechnologien jedoch kristallisiert sich ein neuer Konstruktionsprozeß heraus, der auf der Ebene der Atome ansetzt. Anstatt wie bisher strukturelle und nicht-strukturelle Elemente wie einen Flickenteppich zusammenzusetzen in der Hoffnung, daß alle Bestandteile miteinander harmonieren, wird diese atomare Revolution uns in die Lage versetzen, allein durch Manipulation der Molekularstrukturen und Atombestandteile die benötigten strukturellen und umweltbedingten Spezifikationen zu schaffen, die für eine Bauaufgabe nötig sind, und somit das Problem der Komponentenübergänge von vorneherein ausschließen. Durch die Nutzung der Chemie wird es beispielsweise möglich sein, die molekulare Geometrie nach Belieben anzuordnen und die Stärke und Steifheit eines Materials übergangslos bis hin zur Transparenz zu verändern. Es scheint sogar vorstellbar, den tragenden Untergrund eines Gebäudes so zu restrukturieren, daß die notwendige Stabilität gewährleistet werden kann, ohne zur Legung des Fundaments Tonnen von Beton in den Boden gießen zu müssen.

Die Molekularforschung im Rahmen der Materialperformance wird von allen Baumaterial- und Bausystemlieferanten verstärkt betrieben. Insbesondere die Kunststoffindustrie und andere Institutionen wie ICI (Imperial Chemical Industries) oder die Cranfield University investieren gewaltige Summen in die Polymerforschung und -entwicklung, u.a. in Projekte wie die Entwicklung von Industriekomponenten aus kleineren Molekülen, die oh-

Weltweit beschäftigt sich die Forschung mit der Frage, wie Atome mit sich selbst oder anderen Atomen reagieren, um Moleküle mit gänzlich anderen Eigenschaften zu bilden.

ne aufwendige Schmelz- oder Gießprozesse hergestellt werden können. Das Klonen eines solchen Prozesses wird eine neue technologische Revolution in der Massenproduktion wiederverwertbarer Atome und Molekularmatrixen ankündigen.

Dieser Artikel konzentriert sich auf die Kunststofftechnologie. Er untersucht, inwieweit die Kombination von Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen in einer Vielzahl von geometrischen Konfigurationen arrangiert werden kann, um eine Anzahl verschiedener struktureller und Umwelteigenschaften zu erzielen. Zuerst sollen die Möglichkeiten einer solchen Kunststoffarchitektur kurz zusammengefaßt und danach auf die Atomstruktur von Kohlenstoff und Wasserstoff näher eingegangen werden, die als chemische Grundbestandteile in den meisten Kunststoffen enthalten sind. Vervollständigt wird dieser Artikel durch einen kurzen Ausblick auf die Frage, inwieweit das Wissen um Polymeratome dazu dienen könnte, durch die unterschiedliche Anordnung von Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen die Festigkeit, Steifheit, Transparenz und Isolierfähigkeit eines Materials zu beeinflussen.

## Kunststoffarchitektur

Die architektonischen Charakteristika von Kunststoffen werden zumeist eher mit ihrem Herstellungsprozeß als mit den Eigenschaften der Molekularkonfigu-

ration des Materials an sich verbunden. Zu den wichtigsten Herstellungsbereichen zählen:

- Spritzgußelemente – Formbauteile
- Gezogene Elemente – Röhren
- gewebte Kunstfasern – Zelte
- Verstärkte Kunstharze – Jachten

Es existieren über 10.000 verschiedene Arten von Kunststoffen, die formbar, widerstandsfähig, hart, spröde, transparent, opak, brennbar, selbstverlöschend, feuerfest, isolierend oder leitfähig sein können. Kunststoffe (oder Plaste) sind organische Werkstoffe, die auf Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen basieren. Es handelt sich dabei um Polymere, lange Ketten, die aus vergleichsweise einfachen, sich wiederholenden Einheiten bestehen. Die Bezeichnung 'Kunststoffe' leitet sich von der Tatsache ab, daß diese Stoffe künstlich hergestellt und in ihrem flüssigen Zustand – oftmals durch Druck oder Hitze – in jede gewünschte Form gebracht werden können.

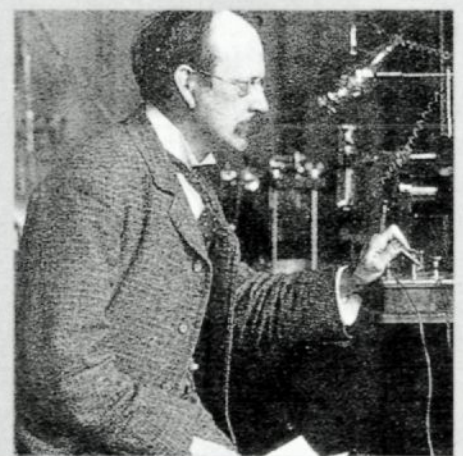
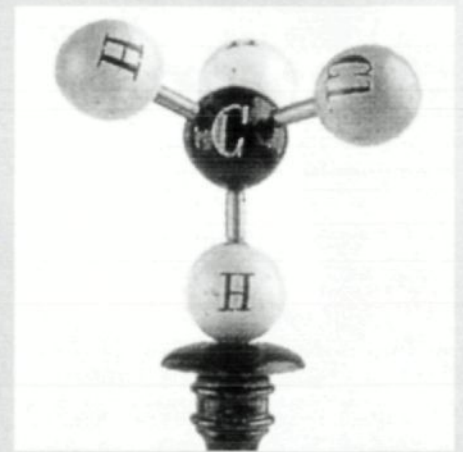
Unsere Bauindustrie hat sich von der Steinzeit zur Eisenzeit weiterentwickelt und tritt nun als einer der größten Konsumenten den Weg ins Kunststoffzeitalter an. Gegenwärtig ist die Weltproduktion von Kunststoffen doppelt so hoch wie die Stahl- und Aluminiumerzeugung zusammen, und es wird erwartet, daß sich diese Zahl in

den nächsten zwanzig Jahren noch verdoppelt. Unsere Industrie ist der zweitgrößte Verbraucher von Kunststoffen (nach der Verpackungsindustrie), und die Verwendungsmöglichkeiten reichen von Abflußröhren bis hin zu den kunstharzverstärkten Zeltdächern unserer Sportstadien.

## Die Molekularstruktur von Kunststoffen

Das Verständnis der Molekularstruktur gewöhnlicher Plaste beginnt mit den Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen und setzt sich fort mit der Untersuchung der verschiedenen Anordnungsmöglichkeiten, die den Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen zur Verfügung stehen, um sich in 'Kunststoffmoleküle' zu verwandeln.

Das Kohlenstoffatom: Das Kohlenstoffatom ist nicht fest. Es besteht aus einem Kern, um den Elektronen kreisen. Hätte das Atom die Größe des Wembley Stadions, so wäre der Kern kleiner als ein Tennisball. Dieser Kern besteht aus Protonen und Neutronen, die einen ungefähren Durchmesser von  $10^{-15}\text{m}$  und eine Masse von  $1,7 \times 10^{-27}\text{kg}$  haben.



Molekülmodell von Monochlormethan aus dem 19. Jahrhundert; J.J. Thompson (1856 – 1940) wollte eigentlich Eisenbahningenieur werden, entwickelte sich aber statt dessen zu einem brillanten Physiker. Er entdeckte die Beschaffenheit der Atomstruktur, indem er Kathodenstrahlen zwischen Hochspannungspolen in einen mit Niederdruckgas gefüllten Glaskörper leitete.





Die den Kern umkreisenden Elektronen besitzen etwa ein Zweitausendstel der Masse eines Protons. Sie werden durch eine elektrische Kraft in ihrem Orbit gehalten, die mit der atmosphärischen Aufladung vergleichbar ist, die beim Kämmen entsteht. Kohlenstoffatome sind lebende Energieatmosphären, ein größtenteils leerer Raum mit vereinzelt, versprengten Partikeln. Wird die Kraft zwischen den Partikeln unterbrochen, werden ungeheure Energiemengen freigesetzt – ein Prozeß, den man üblicherweise mit nuklearen Explosionen und Kernkraftwerken verbindet. Eine Rasierklinge ist über eine Milliarde Atome breit; dennoch können Atome sichtbar gemacht werden. Einige der besten Aufnahmen wurden durch das Abtasten der elektrischen Veränderungen in Relation zur Position des Atoms mit einem Rastertunnelmikroskop (RTM) erstellt. Durch die Beobachtung dieser Veränderungen kann die Position einzelner Atome bestimmt werden.

**Das Wasserstoffatom:** Das Wasserstoffatom ist wesentlich kleiner als das Kohlenstoffatom, da es nur aus einem einzigen Proton und einem es umkreisenden Elektron besteht. Wasserstoff ist das kleinste Atom auf dieser Erde.

**Das Kunststoffmolekül:** Wenn zwei oder mehr Atome in Kontakt kommen, bleiben sie entweder voneinander unbeeinflusst, oder sie reagieren miteinander und formen dabei ein neues Molekül. Dies nennt man eine chemische Reaktion. Das Kohlenstoffatom benötigt vier zusätzliche Elektronen in seinem äußeren

Orbit, um sich zu stabilisieren, das Wasserstoffatom hingegen nur ein weiteres Elektron. Atome können mit anderen Atomen Elektronen teilen, um stabil zu werden. So ist zum Beispiel ein einzelnes Kohlenstoffatom in der Lage, vier Elektronen mit benachbarten Kohlenstoffatomen zu teilen und eine Reihe von Konfigurationen zu bilden:

- Tetraeder – Diamant
  - Schichtgitteraufbau – Graphit
  - Kugel – Buckminster-Fulleren.
- Zwei Wasserstoffatome können sich Elektronen teilen, um gewöhnliches Wasserstoffgas zu bilden, abgekürzt  $H_2$ .

Das gleiche gilt auch für ein Kohlenstoff- und vier Wasserstoffatome, die dann Methan ( $CH_4$ ) bilden. Benachbarte Kohlenstoffatome können mit sich selbst wie auch mit Wasserstoffatomen Elektronen teilen, woraus  $C_2H_4$  oder Ethylen entsteht.

Ethylen bildet den Beginn der Kohlenwasserstoffkette. Ethylenmoleküle können dazu gebracht werden, eine wesentlich längere Kette zu bilden: Sie beginnt als ein Monomer, wird zu einem Dimer, einem Trimer usw., bis eine Kette entsteht, die Tausende von Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen enthält und allgemein als Polymer bekannt ist.

Eine auf Ethylenmolekülen ( $C_2H_4$ ) basierende Kette bezeichnet man als Polyethylen, ein bekannter Kunststoff, der u.a. für Verpackungsfolien und Wasserrohre verwendet wird.

#### Atomare Konstruktions- und Umwelttechnik

Die atomare Konstruktions- und Umwelttechnik beschäftigt sich im Rahmen der Architektur mit

der verstärkten Anwendung von Atomen in Konfigurationen zum physikalischen und umwelttechnischen Nutzen des Anwenders. Bauwerke benötigen vier fundamentale Performances: Standfestigkeit, Lichtkontrolle, thermische Kontrolle und Be- und Entlüftung.

Es gibt wahrscheinlich fünfzig verschiedene Arten von Atomen, die in verschiedenen Geometrien angeordnet werden können, um eine oder mehrere der oben genannten Anforderungen zu erfüllen. Dieser Artikel beschränkt sich jedoch allein auf die Konstruktionsentwicklung im Bereich der Kohlenstoff- und Wasserstoffatome. Dies soll als einfaches Beispiel für die Möglichkeiten der Planung und Manipulation von Atomstrukturen zum Erhalt der erforderlichen Struktur- und Umwelteigenschaften dienen – ein Prozeß, der inzwischen unter dem Begriff 'Nanotechnologie' bekannt geworden ist.

#### Nanotechnologie

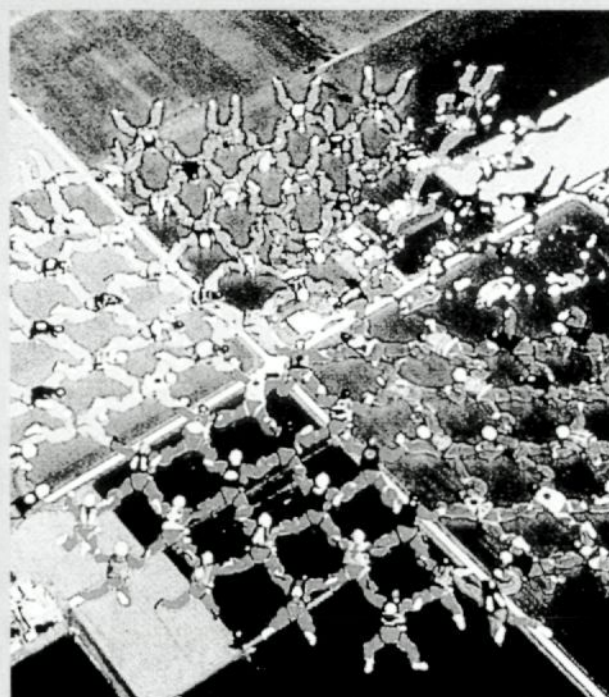
Durch die Veränderung von Atom- oder Molekulkonfigurationen erschaffen Wissenschaftler täglich neue Materialeigenschaften. Es existieren über neunzig verschiedene Arten von Atomen und eine unendliche Anzahl möglicher Anordnungen, aus denen Moleküle geformt werden können. Jede gewünschte mechanische oder Umwelteigenschaft läßt sich nach Bedarf herstellen, und tatsächlich bezeichnen die Wissenschaftler – die in ähnlicher Weise Atome auf Atome schichten wie Maurer auf einer Baustelle Steine – diesen Prozeß als 'Architektur'.

Beispielsweise können Kohlenstoffatome aus der schwächeren Graphitformation gelöst und in die stärkere Diamantformation gebracht werden, indem man die Graphitschichten zusammenpreßt und diese sich dadurch zur Tetraedergeometrie des Diamanten verbinden. 1990 wurde anhand von Kohlenstoffatomen das Prinzip der geodätischen Kuppel von Buckminster Fuller demonstriert und ein einzelnes Buckminster-Fulleren-Molekül geschaffen – ein molekularer 'Ball', bestehend aus 60 Kohlenstoffatomen, der ein ausgezeichnetes Schmiermittel bildet.

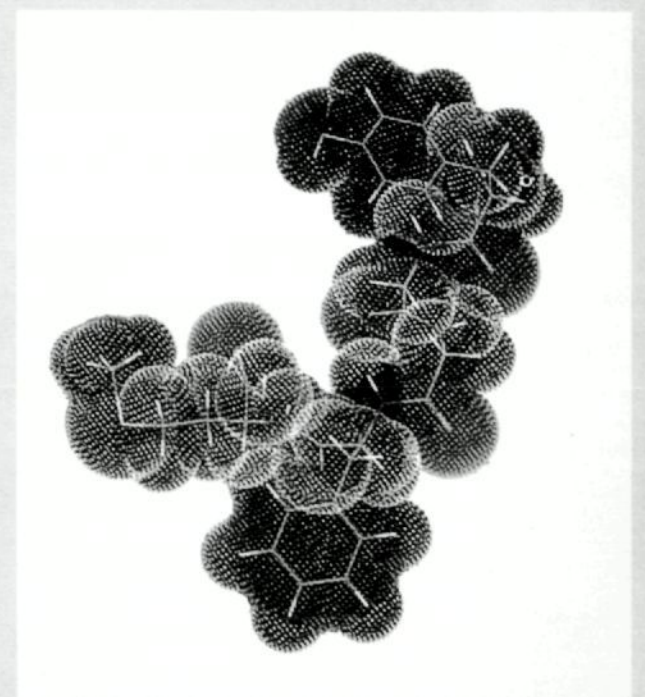
Computer werden in ähnlicher Weise genutzt wie bei der Simulation von Bauformen, und sie helfen dem Atomdesigner, verschiedene atomare Anordnungen auszutesten, bevor er mit der eigentlichen Konstruktion beginnt. Diese Konstruktion kann durch die Ausübung von Druck geschehen oder mit Hilfe komplexer Konstruktionshilfen wie den sogenannten 'Katalysatoren', die bestimmte Atome für eine Behandlung auswählen. Diese Katalysatoren bestehen ihrerseits ebenfalls aus 'konstruierten' synthetischen Molekülen. Über die Entwicklung von Bauwerkstoffen hinaus beschäftigen sich die 'Atomdesigner' mit der Herstellung synthetischer Medikamente, die Krankheiten ausfindig machen und beseitigen so- wie beschädigte Organismen ersetzen sollen.



Neu geschaffene Absatzmärkte wie etwa der Windsurfsport bieten Möglichkeiten für neue Forschungsanreize – ebenso gut kann aber auch durch ein neues Produkt des Kunststoff-



zeitalters ein neuer Absatzmarkt entstehen; Moleküle bestehen aus Atomen. Sie gehen Verbindungen ein, ähnlich wie eine Gruppe Fallschirmspringer im freien Fall.



Atomingenieure benutzen Computerprogramme zur Konstruktion von Molekülen. Die Atome werden farblich gekennzeichnet und positioniert. Ihre Position kann geändert sowie weitere Atome

oder Atomgruppen hinzugefügt werden. Der Computer speichert Informationen über die Kräfteverhältnisse zwischen diesen Atomen.



## Die Architektur des Atoms

Durch die Auswahl und die angemessene Anordnung geeigneter Atome lassen sich grundlegende strukturelle und umwelttechnische Funktions-Performances völlig neu erschaffen.

**Atomkonstruktion:** Es werden vier grundlegende Struktur-/Umweltmaterialeigenschaften benötigt:

- Festigkeit
- Steifheit
- Isolierung
- Transparenz

**Festigkeit:** Unverzweigte Kohlenwasserstoffketten sind dichter und stärker als die eher 'wirre' Konfiguration verzweigter Ketten. Daher könnte deren Konfiguration – vergleichbar mit einem Rosenstrauch – zurückgestutzt werden, um eine geradlinigere Struktur zu erhalten. Eine weitere Möglichkeit zur Stärkung eines Kunststoffes liegt in der Vernetzung der Ketten. Durch Vernetzung verwandelt man eine Ansammlung einzelner Atomketten in ein einzelnes, festes Molekül, das die Grundlage für die Herstellung von Kunstharzen bildet, wie man sie z.B. im Bootsbau einsetzt.

Die Stärke der Polyethylene kann auch durch den Austausch des Wasserstoffatoms mit einem anderen Atom verändert werden. Wenn Wasserstoffatome z.B. durch Fluor ersetzt werden, entsteht ein Polymer, das als Polytetrafluorethylen oder besser als Teflon bekannt ist und als Kunstharz für die meisten hoch widerstandsfähigen, dehnbaren Zeltdächer Verwendung findet.

**Steifheit:** Der Ausdruck 'Steifheit' bezeichnet das Verhältnis von benötigter Kraft zum Ausmaß der Deformation. Bei Polyethylen ist die Kohlenstoff-Kohlenstoffbindung stärker als die Kohlenstoff-Wasserstoffbindung. Daher kann die Steifheit erhöht werden, indem man ein Wasserstoffatompaar eliminiert und die Kohlenstoff-Kohlenstoffbindung der benachbarten Kohlenstoffatome verdoppelt. Weiterhin läßt sich die Steifheit des Materials durch die „Begradigung“ der Molekülketten steigern – wobei aus einem „Wirrwar“ eine eher lineare Form entsteht.

Von oben nach unten: 1953 entwickelten James Watson und Francis Crick das Modell der DNA. Es umfaßt eine große Zahl sich wiederholender Elemente und Aluminiumplatten, die die vier verschiedenen Basen repräsentieren sollen. Ein Material wie Gore-tex ist durchlässig für Luftmoleküle, nicht aber für Wassermoleküle.

Wenn man eine hexaedrische Molekularstruktur generiert (wie etwa bei Gummi), kann es geschehen, daß die Moleküle gestreckt werden müssen. Durch die Anwendung der nötigen Energie (wie z.B. Hitze) kehren die Atome in ihre ursprüngliche Form zurück. Bei diesen Atomgittern spricht man dann im allgemeinen von einem 'Gedächtniseffekt': Wenn man ein unter Spannung stehendes Gummiband erhitzt, wird es kürzer.

In der Luft- und Raumfahrtindustrie investiert man enorme Summen in Forschungsreihen, die sich mit der Deformation und Wiederherstellung der Kohlenwasserstoffgeometrie beschäftigen. Auf diese Weise soll eine hitzebedingte Deformation der aus Kunststoffen bestehenden Bauteile der Flügel und des Flugzeugrumpfes während des Fluges vermieden werden.

Einer solchen Deformation kann durch die wiederholte Rückkehr der Atome in ihre Ausgangsposition vorgebeugt werden. Wenn solche Bestandteile auch für Baukomponenten entwickelt werden könnten, wäre mit einem Minimum an Material eine unendliche Steifheit denkbar, was eine neue Ära eleganten architektonischen Designs einleiten würde.

**Isolierung:** Wenn die Temperatur eines Materials steigt, beginnen dessen Atome zu vibrieren. Je dichter die Atome angeordnet sind, desto schneller wird diese Wärme weitergeleitet. Bei Gasen zum Beispiel stehen die Atome/Moleküle relativ weit

auseinander. Aus diesem Grund fassen die besten Isoliermaterialien ein Gasvolumen von über 90%. Dies kann durch die Erhöhung der Temperatur eines Polymers über den Schmelzpunkt erreicht werden, bei dem die intermolekularen Kräfte, die die langen Kettenmoleküle zusammenhalten, aufgebrochen werden. Darüber hinaus bedeutet es, daß die strenge lineare Struktur zusammenbricht und die Moleküle sich zusammenrollen, vergleichbar mit gekochten Spaghetti, die langsam abkühlen. Wenn der Atomdesigner in der Lage wäre, bei diesem Abkühlungsprozeß ein Vakuum zwischen den Molekülketten zu wahren, könnte man in der Tat Isoliereigenschaften generieren,

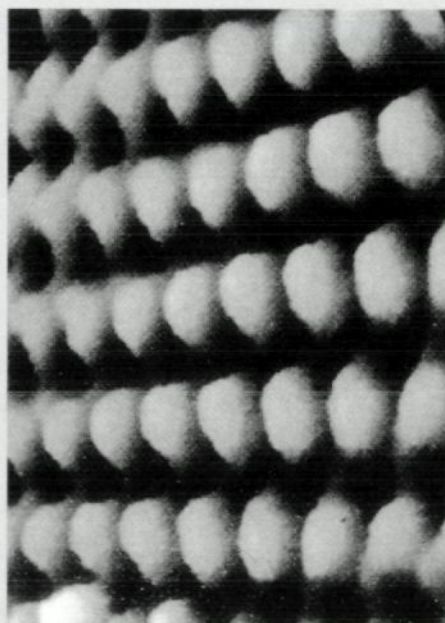
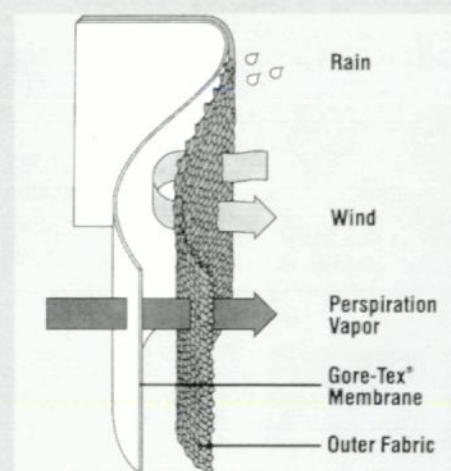
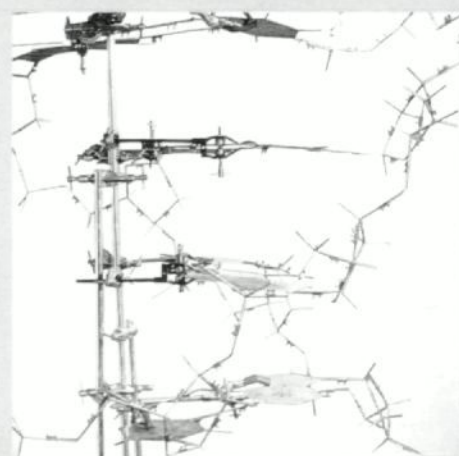
die weit über das hinausgehen, was zur Zeit denkbar ist. Werkstoffe, so dünn wie dieses Blatt Papier, würden auf diese Weise eine Isolierfähigkeit erhalten, die der einer Betonwand von etwa 50 cm Dicke gleichkommt.

**Transparenz:** Wenn ein Material für die Wellenlänge des Lichts durchlässig ist, nennt man es transparent. Um ein transparentes Polymer zu schaffen, muß der Atomdesigner den Abdichtungseffekt einer Polymerkette unterbrechen, d.h. er muß die Molekularkonfiguration der Kohlenwasserstoffmoleküle so verändern, daß diese einen freien Durchfluß der Lichtstrahlen ermöglichen.

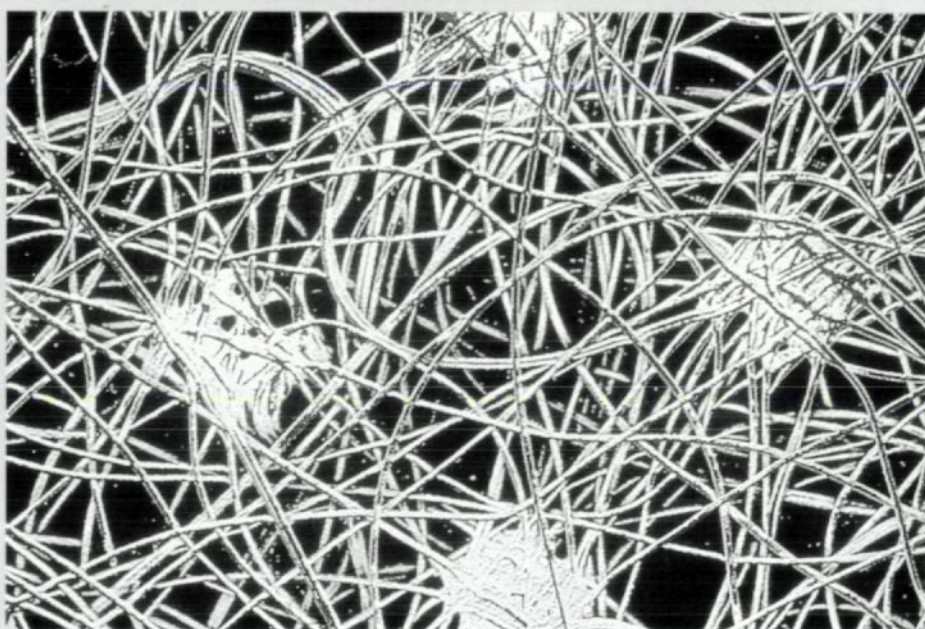
## Zusammenfassung

Ausgestattet mit dem Wissen und den 3D-Modellierungsmöglichkeiten eines Computers, wie er heute schon in den meisten Architektur- und Ingenieurbüros zu finden ist, wäre auch ein Architekt in der Lage, ein neues Verständnis für Werkstoffe auf einer atomaren Ebene zu entwickeln (mit der wir nun ja bestens vertraut sind).

Stellen wir uns nur einmal den Entwurf einer Atomstruktur vor, die in der Lage ist, Wassermoleküle aus feuchter Luft zu absorbieren und nach außen zu transportieren, wo sie durch die Sonneneinstrahlung verdampfen: Ein solches Dach- und Verkleidungsmaterial könnte eine Feuchtigkeitsregelung für



Von oben nach unten: Atome bestehen aus einem größtenteils leeren Raum mit winzigen subatomaren Partikeln, die von einer mit statischer Elektrizität geladenen Energiewolke umhüllt sind, vergleichbar mit der elektrisch aufgeladenen Atmosphäre bei einem Gewitter; Aufnahme eines Rasterelektronenmikroskops, die eine einzelne Schicht von Kohlenstoffatomen in der Graphitanordnung zeigt.





große öffentliche Räume in den Tropen gewährleisten oder den gewaltigen Energieverbrauch der klimatisierten Flughafenterminals des fernen Ostens vermeiden helfen.

Ungewohnt ist auch der Gedanke, daß man allein durch den Austausch der Kohlenstoffatome mit einem Silikonatom und der Wasserstoffatompaaire mit Sauerstoff aus einem gewöhnlichen Polyethylen die molekulare Grundlage für Glas schaffen kann. Die Architektur des Atoms ist mehr der Entdeckung des Geheimnisses einer 'atomaren Raumplanung' verhaftet als der Lösung der technischen Probleme, die durch die Interaktion ungeeigneter Werkstoffe entstehen. Vielleicht wird es noch nicht zu unseren Lebzeiten geschehen – obwohl viele Wissenschaftler das Gegenteil behaupten –, daß Architekten und Ingenieure ein Gebäude aus einfachen Atomen wie Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Silikon, Kalzium und Eisen planen und bauen. In der Zukunft dürfte ein solches Planungsteam in der Lage sein, das bauliche Umfeld durch ein kohärentes Arrangement der Atome zu schaffen, welches die nötige passive und aktive Interaktion mit der Schwerkraft, Luftbewegung und Strahlung mit einem Minimum an benötigten Atomen liefert. Diese Baumaterialien könnten sogar in der Lage sein, sich selbst instandzusetzen. Wahres High-Tech – nicht in Zukunft, sondern in der Gegenwart.

Guy Battle & Chris McCarthy

Übersetzung aus dem Englischen:  
Franca Fritz, Heinrich Koop

## Bauen mit Kunststoffen

Das Bauwesen zählt zu den vielen Anwendungsbereichen für Kunststoffe, in denen sich die technische Entwicklung sehr rasch vollzogen hat. Kunststoffe sind eine noch junge, gleichwohl schon Jahrzehnte bewährte, eigenständige und sehr vielfältige Werkstoffgruppe. Doch gerade die Vielfalt der Eigenschaften eröffnet sehr differenzierte und immer wieder neue, oft überraschende Einsatzmöglichkeiten. In der Frühzeit der Kunststoffanwendung im Bauwesen – vor ca. 40 Jahren – war man sich zwar des breiten Eigenschaftsspektrums der Kunststoffe bewußt, projizierte es jedoch ziemlich unreflektiert auf "den Kunststoff" schlechthin. Man legte sich nicht ausreichend Rechenschaft darüber ab, daß bestimmte Kunststoffe – wie andere Werkstoffe auch – für bestimmte Anwendungen sehr geeignet, für andere jedoch durchaus ungeeignet sein können. Einerseits boten sich die Kunststoffe als Ersatz für herkömmliche Baustoffe an. In diesem Fall wurden die Konstruktionsprinzipien und Verarbeitungsmethoden von den substituierten Baustoffen übernommen. Andererseits wollte man Neues schaffen, und so wurden an Baustoffe höhere und andersartige Anforderungen gestellt, denen die bis dahin bekannten und gebräuchlichen Werkstoffe nicht gewachsen waren. Aber man hatte ja "den Kunststoff" zur Verfügung.

Es war unausweichlich, daß unter diesen Voraussetzungen die eingesetzten Kunststoffe in

vielen Fällen überfordert wurden, und wieder war es "der Kunststoff", der versagt hatte. So wich die anfängliche Euphorie einer tiefen Skepsis. Es folgte eine Zeit, die als Probe-, Entwicklungs- und Bewährungszeit der Kunststoffe im Bauwesen betrachtet werden kann. In dieser Zeit ist deutlich geworden, daß Kunststoffe zwar durchaus als Substitute für herkömmliche Baustoffe eingesetzt werden können, in diesem Fall aber eigene Anwendungs- und Verarbeitungstechniken verlangen, die heute schon bis zur Perfektion entwickelt sind. Man erkannte aber auch die Möglichkeit, Kunststoffe auf vorab gestellte Anforderungen hin zu "konstruieren" und ihnen Eigenschaftsspektren mitzugeben, die bei konsequenter Beachtung werkstoffspezifischer Eigenarten neue Anwendungen, sogar vollkommen neue Entwicklungen im Bauwesen ermöglichen.

Heute sind Kunststoffe als Baustoffe und als Werkstoffe für Bauteile absolut unentbehrlich geworden. Als Beispiel seien hier nur einige Bereiche genannt, in denen Kunststoffe die ökonomisch (und ökologisch) beste Lösung darstellen. So ist die Dach- und Bautenabdichtung mit Kunststoffbahnen eine Selbstverständlichkeit, gerade in sicherheitsrelevanten Bereichen. Wärmedämmsysteme mit Kunststoff-Hartschäumen sind überall im Einsatz. Nahezu jede Art von Rohrleitung kann heute mit Kunststoffrohren ausgeführt werden, für manche Anwendungen werden sie schon fast ausschließlich eingesetzt. Die Bontontechnologie greift auf Kunststoffzusätze und -bindemittel nicht nur gelegentlich, sondern im Normalfall zurück. Der Einsatz von Geotextilien im Verkehrswege-, Erd- und Landschaftsbau hat neue Perspektiven eröffnet. Kunststoff-Fenster haben seit vielen Jahren einen hohen Marktanteil, der aufgrund neuer Entwicklungen weiter ansteigt. Die Liste der Beispiele läßt sich beliebig erweitern. So wäre es heute eigentlich gar nicht mehr nötig, vom "Bauen mit Kunststoffen" zu sprechen, denn ein Bauen ohne Kunststoffe gibt es inzwischen längst nicht mehr.

Ein sehr wichtiger Gesichtspunkt ist die – durch Klima-, Schadstoff- und Energiediskussion leider sehr in den Hintergrund gedrängte – Notwendigkeit der Ressourcenschonung. Sie müßte heute genauso diskutiert werden wie die vorgenann-

ten Punkte, weil sie mit ihnen in ursächlichem Zusammenhang steht. Hier können gerade die Kunststoffe im allgemeinen und insbesondere im Bauwesen einen sehr beachtlichen Beitrag leisten.

Es ist noch nicht ausreichend ins Bewußtsein der Allgemeinheit gedrungen, daß fast 90 % des alljährlich nach Deutschland importierten Erdöls verbrannt werden. Lediglich 5% werden für die Kunststoffproduktion eingesetzt. Ungefähr 4% gelangen als Kunststoff zum Verbraucher, knapp 1% ist als Energieeinsatz für die Herstellung erforderlich. Ein sehr entscheidender Gesichtspunkt für das Bauen in der Zukunft ist, daß Gebäude (mit Ausnahme historisch wertvoller Bausubstanz), Bauteile und Baustoffe nach dem Ablauf ihrer Gebrauchsdauer "entsorgt" werden müssen. Ein in vieler Hinsicht bisher problematischer Vorgang, denn ein Großteil der hierbei anfallenden Stoffe ist unwiederbringlich verloren: der größere Teil des Bauschutts wandert auf die Deponie, die wir uns nicht mehr leisten können, ein kleiner Teil in die Sondermüllverbrennung, die Kohlendioxid an die Umwelt abgibt.

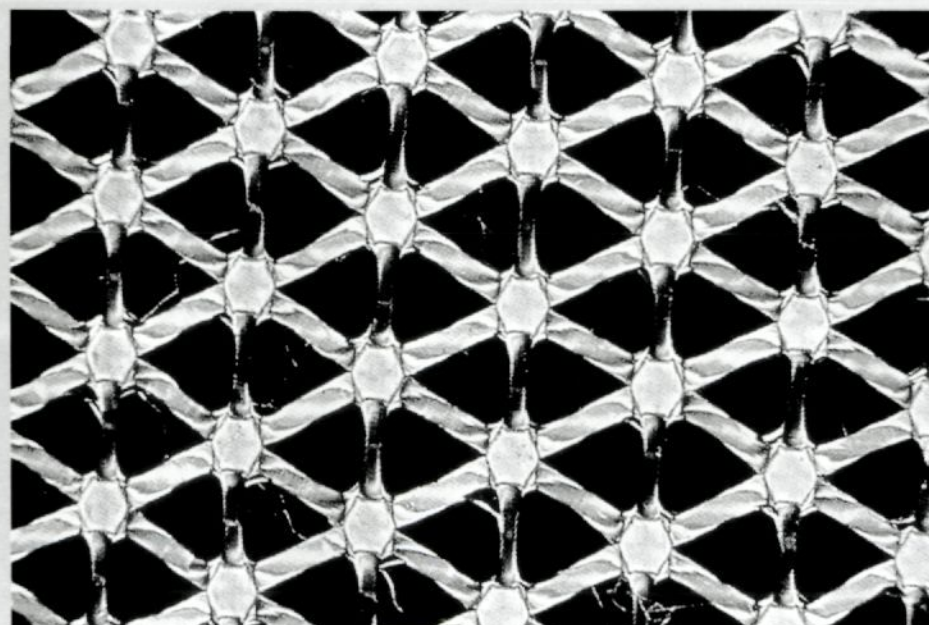
Hier hat die Zukunft bereits begonnen. Kein anderer Baustoff eignet sich so gut für die Rückführung in Werkstoff-Kreisläufe auf hohem Niveau wie Kunststoffe. Die Entwicklung war mit Anlaufschwierigkeiten und Irrwegen verbunden: der Bedarf an Parkbänken besteht zwar, stößt aber auch an Grenzen. Wenn aber alte Fensterprofile wieder zu neuen Fensterprofilen, alte Rohre wieder zu neuen Rohren, alte Fußbodenbeläge wieder zu neuen Fußbodenbelägen werden, und dies unter geringstem Energieeinsatz, dann ist hier ein Weg begonnen worden, der mit aller Kraft weiter verfolgt werden muß. Denn was bis heute erreicht ist, kann nur ein Anfang sein. Grundlage für diesen Anfang sind mit geringem Energieaufwand und Schadstoffanfall herstellbare, wieder in Werkstoffkreisläufe einbeziehbare Werkstoffe, wie es die Kunststoffe fast ausnahmslos sind. Wenn zu den Werkstoffen intelligente Konstruktionen und Werkstoffverbunde hinzukommen, die die Trennung der rezyklierbaren Materialien mit geringstem Energie- und Arbeitsaufwand zulassen, ist ein weiterer großer Schritt vorwärts getan.

Wolfgang Hasemann  
Institut für das Bauen mit Kunststoffen, Darmstadt

Links: Ein SEM-Falschfarbenschliffbild der detaillierten Struktur von Polypropylenspinnfäden. Die Spinnfäden dieser ungewebten Textilie werden durch Hitzebindung miteinander verknüpft. RE Litchfield.

Unten: Bei polarisiertem Licht aufgenommener Mikrograph einer biaxial ausgerichteten, gestreckten und hochdichten Sektion eines Polyäthylennetzes. Die Farben der Fasern erscheinen im polarisierenden Licht und

korrespondieren mit der Restspannung der Plastikfasern. Dr. Harold Rose.





# Platten

## LEEp von GE Plastics

Neben Anwendungen, die ohne den Einsatz von Kunststoffen heute undenkbar erscheinen – im Elektro-/Sanitärbereich von Lichtschaltern bis zu Abwasserrohren, im Ausbaubereich von Dichtungen und Beschichtungen bis zu Dämmstoffen –, sind es vor allem Bau-Platten, die einen breiten Einsatz technischer Polymere im Bauwesen ermöglichen. Materialien, die herkömmliche ersetzen – mit z.T. deutlich besseren Materialeigenschaften –, bzw. gänzlich neue Anwendungen erlauben. Seit einigen Jahren sind zwei Experimentalhäuser realisiert worden, die den Einsatz von Kunststoffen demonstrieren und als Forschungseinrichtungen ständig weiterentwickeln. Das Living Environment Europe programme (LEEp) existiert unter der Regie von General Electric Plastics in Bergen op Zoom/Niederlande seit 1994. An dem Projekt sind mehr als

100 Unternehmen beteiligt. Die realisierten Kunststoff-Anwendungen reichen vom Dach- und Fassadenbau bis zu Klimatechnik und Oberflächen im Sanitärbereich.

## Transparente Kunststoffe

Als Glasersatz bereits seit den 30er Jahren bekannt (vgl. 100/101 ARCH<sup>+</sup>, S.108). Im LEEp werden die positiven Eigenschaften von Polycarbonat anhand von Plattenprodukten des Markennamens Lexan demonstriert. Lexan Margard und Lexan Exell sind bruchfeste, UV-beständige und flammhemmende Halbzeuge und bevorzugte Materialien für Schutz- und Sicherheitsverglasungen. Lexan Exell kann kaltgebogen werden, wodurch sich seine Steifigkeit deutlich erhöht und bei gleicher Fläche weniger tragende Profile eingesetzt werden müssen. Typische Anwendungsbereiche sind Vordächer und Oberlicht-Verglasungen unterschiedlicher Geometrie. Lexan Margard ist

ein Produkt für Einfach-Sicherheitsverglasungen. Es wird aus Polycarbonatplatten in optischer Qualität hergestellt, mit beidseitigem UV-Schutz und einer kratzfesten und chemikalienbeständigen Silicon-Hartbeschichtung auf der Außenseite, seit neuestem auch in warmformbarer Qualität für dreidimensionale Anwendungen. Die Oberflächeneigenschaften sind mit denen von Glas vergleichbar. Das Material ist jedoch nur halb so schwer, schlagzäh, praktisch unzerbrechlich und splitterfest.

Lexan-Platten spielen auch bei der Entwicklung unterschiedlicher Lamine eine entscheidende Rolle – als symmetrische Glas/Polycarbonat/Glas-Lamine, für die unbeschichtetes Lexan eingesetzt werden, oder als asymmetrisches Laminat mit einseitiger Schutzverglasung, u.a. auch für elektrochrome Verglasungen, bei denen eine Flüssigkristallfolie zwischen je einer Schicht Glas und Polycarbonat liegt.

Die Entwicklung trapez- und sinusförmig gewellter Polycarbonat-Verglasungsplatten ist relativ neu (vgl. 126 ARCH<sup>+</sup>, S.91). Sie eignen sich als Halbzeuge für ein- oder mehrschalige Dach- und Fassadensysteme. Lexan LCS-Platten werden passend zu Norm- und Standardprofilen gängiger Metallwellplatten extrudiert. Das 1991 eingeführte Produkt steht vor allem im Wettbewerb mit PVC und Polyester – und natürlich Glas. Es ist jedoch weitaus beständiger gegen Vergilbung als die ersten und bietet die bekannten Vorteile gegenüber Glas wie Gewichtsersparnis, Bruchfestigkeit, leichtere Verarbeitbarkeit etc.

## Fenstersystem

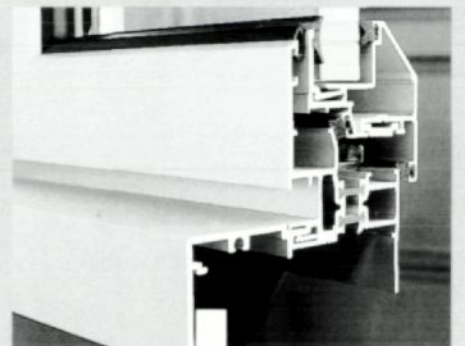
Polycarbonatplatten eignen sich in Verbindung mit anderen, neu entwickelten Kunststoffen auch für die Herstellung innovativer Fensterkonstruktionen. Auf der Basis der Lexan-Produkte und unter Verwendung neuer Extrusionstypen hat GE Plastics ein hoch wärmegeprägtes Sicherheitsfenstersystem unter dem Namen Trigard entwickelt, bei dem die Profile für Rahmen und Glasleisten aus kohlefasergefülltem Noryl GTX bestehen, einem Thermoplastblend aus PPO (Polyphenylenoxid) und PA (Polyamid). Diese Profile vereinen hervorragende thermische Eigenschaften mit einer hohen Steifigkeit, die Stahlverstärkungen überflüssig macht. Die patentierten Abstandsrahmen, deren Profile zur hohen Wärmedämmung des Gesamtsystems beitragen, bestehen aus Xenoy, einem Polycarbonatblend mit thermoplastischem Polyester (PC/PBT).

## Wand- und Dachelemente

Lexan PolyClad wird seit rund zehn Jahren in Europa eingesetzt. Die glasfaserverstärkten Polycarbonat-Platten eignen sich für die Verkleidung von Außen- und Innenwänden. GE Plastics arbeitet an Entwicklungen für dreidimensionale Anwendungen. Die typische An-



Oben: Eingangsbereich des LEEp-Zentrums; unten: Klimawand aus Lexan Margard mit Dichtungen aus GE Siliconen. Das Lochblech dient als Abschattung gegen Überhitzung.



Oben: Dachverglasung aus Lexan LCS/T Trapezplatten; rechts oben: Fensterprofil aus Noryl GTX; darunter: Seilnetzvorhang mit Lexan-

Verglasung (Deutscher Expo-Pavillon, Sevilla '92). Die spezifischen Materialeigenschaften erlauben lichte Spannweiten und Verarbei-

tungstechniken, die mit Glas undenkbar sind. Die Polycarbonat-Platten wurden vor Ort zu absolut dicht überlappenden Schindeln gebogen.





wendung besteht aus modular gefertigten Paneelen, die sich vor allem durch das geringe Gewicht und die leichte, auch wirtschaftlich zu realisierende Thermoformbarkeit auszeichnen. Auch Fassadenverkleidungen mit integrierter Wärmedämmung und Beschattungselementen sind möglich.

Noryl modifiziertes PPO ist ein voll rezyklierbares, gewichtsparendes und äußerst stabiles Material, das sich zur Herstellung von Dach- und Wandplatten sowie anderen Fertigbauteilen eignet. Es hat sich auf dem amerikanischen Baumarkt längst bewährt, während es in Europa als Baustoff noch neu ist.

Hohlkammerplatten aus Polycarbonat, transparent oder opak, bieten unterschiedliche Hersteller an. Lexan Thermoclear von GE Plastics wird auch in Form einer fünfwandigen Hohlkammerplatte produziert. Damit steht ein neues Halbzeug zur Verfügung, das einen k-Wert von 1,8 W/qmK erreicht. Das Material ist lediglich 20 mm dick.

## Solarkollektoren

In Verbindung mit Thermoclear-Hohlkammerplatten findet Noryl modifiziertes PPO eine interessante Anwendung im Bereich von Solarkollektoren. Ein in Zusammenarbeit mit dem norwegischen Unternehmen Solnor entwickeltes System besteht aus



Oben: Eine Hohlkammerplatte aus Noryl verbessert den Wirkungsgrad eines Solarthermie-Systems; unten: Witterungsbeständige Fassadenverkleidung aus Lexan PolyClad

zueiwandigem Thermoclear und einem neuartigen Absorber in Form einer schwarzen Noryl-Doppelstegplatte, die das sonst üblicherweise verwendete Aluminium ersetzt. Die Hohlkammern der Platten sind dabei mit Keramikpartikeln gefüllt, durch die das Wasser als Medium langsam nach unten sickert und dabei Wärme aufnimmt. Die Platten haben sich als hocheffiziente Absorber erwiesen, sind darüber hinaus wärmebeständig und hydrolysestabil für den Dauerkontakt mit bis zu 100°C warmem Wasser.

## Experimentalhaus von Neste Chemicals

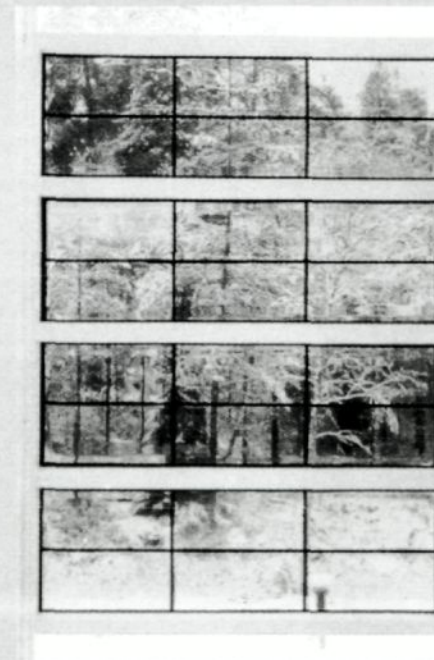
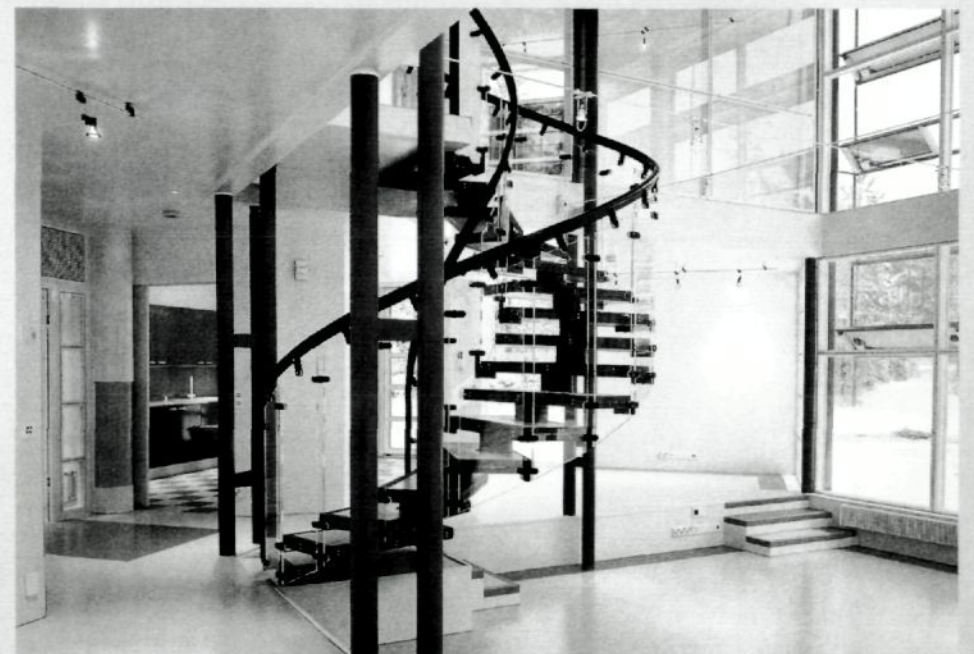
1992 in Porvoo/Finnland fertiggestellt und eröffnet. Es dient als langfristiges Labor für die permanente Weiterentwicklung und Erprobung alternativer Baumaterialien – in erster Linie von Kunststoffen – und Innovationen des Unternehmens aus den Bereichen Solarenergie und Heizungssysteme. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse sollen prinzipiell bei allen Bauvorhaben Anwendung finden, also auch im Industrie-, Gewerbe- und Hochhausbau. Der Anteil von Kunststoffen an sämtlichen, im Hochbau verwendeten Baumaterialien beträgt gegenwärtig im Durchschnitt nur 5 Prozent, der Gebrauch ist bislang lediglich für nichttragende Bauteile üblich.

Beim Neste-Haus des finnischen Architekten Jaakko Laapotti ist dagegen ein Kunststoffanteil von 75 Prozent realisiert. Die meisten der dort verwendeten Komponenten sind noch nicht im Handel verfügbar. Alle verbauten Kunststoffe sind rezyklierbar; sie können nach dem Einschmelzen wiederverwendet oder als Granulat genutzt werden, je nachdem, ob es sich um Duroplaste oder Thermoplaste handelt.

Die tragenden Elemente des Hauses – Tragrohre der Stützen, Rechteckprofile der Träger sowie Deckenelemente – bestehen aus glasfaserverstärkten UP-Harz-Schalungen (ungesättigte Polyester). Der Beton ist teilweise mit Polypropylenfasern armiert. Ohne Beton kommen die Stützkon-

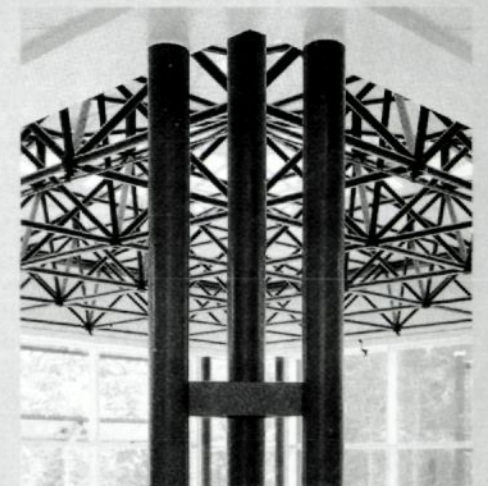
struktionen von Dach und Treppe aus: Das Stabtragwerk des Daches besteht aus einem Kunststoffrohrsystem mit Knoten aus Polypropylen, die Treppe aus mattenverstärktem Polypropylen mit PVC-Geländer. Auch die modulare Konstruktion des vorgesetzten Balkons besteht aus GFK. Für Außen- und Innenwände werden wärmegeämmte Sandwich-Elemente verwendet, deren Oberflächen ebenfalls aus glasfaserverstärkten Kunststoffen gefertigt sind.

Schließlich werden auch bei den Ausbaumaterialien größtenteils Kunststoffprodukte einge-



Einige Fenster im Neste-Haus wurden mit transparenten Solarpanelen ausgestattet.

setzt: Dach-, Boden- und Terrassenbeläge bestehen aus PVC, Polyesterbeschichtungen und z.T. aus rezyklierten Kunststoffabfällen. Als Dämmmaterial kommt expandiertes Polystyrol zur Anwendung, bei transparenten Flächen TWD. Von den Fensterrahmen aus PVC, über Zimmertüren, Öl- und Abwassertanks bis zu verschiedenen Sanitäröb- jekten aus Kunstmarmor reicht der Einsatz technischer Polymere.



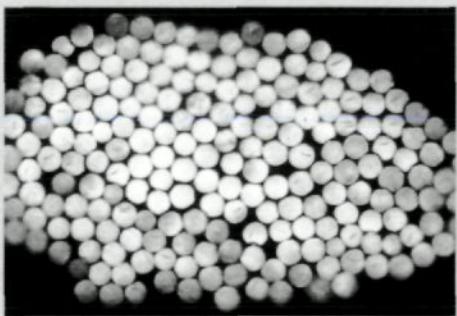
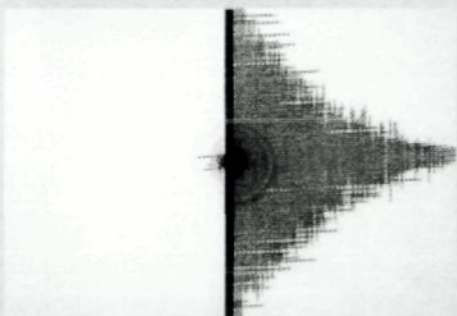
Selbsttragende Deckenstruktur und Stützen aus Komposit-Rohren



# Membranen

## Diolen 174 SLC

Mit der Entwicklung dieses neuen Garns mit Anti-Docht-Effekt (Innovationspreis Techtextil '95) hat die Akzo Nobel Faser AG die Lösung eines alten Problems in der Anwendung beschichteter Gewebe gefunden: die "innere" Verschmutzung, die besonders im textilen Bauen unangenehm in Erscheinung tritt. Dabei wandert Feuchtigkeit, die Schmutz enthält, von Schnittkanten oder Schäden in der Beschichtung ins Gewebe ein und führt v.a. bei transluzenten Textilien zu optischen Störungen. Technische Garne bestehen aus einer Vielzahl haarfeiner Einzelfilamente, die zwar dicht gepackt sind, aber dennoch Hohlräume aufweisen, durch die aufgrund von Grenzflächenspannungen im Wasser gelöste Substanzen transportiert werden können. Bei Kerzen bewirkt das gleiche Prinzip den Transport des flüssigen Waxes durch den Docht. Allgemein spricht man deshalb von Docht-, bei beschichteten Geweben meist von 'Wicking'-Effekt. Um diesen zu verhindern, muß man sicherstellen, daß die Adhäsionskräfte der einzelnen Filament-Oberflächen kleiner sind als die Kohäsionskräfte der benetzenden Flüssigkeit. Mit Diolen 174 SLC (Super Low Capillarity) ist es gelungen, ein Garn zu entwickeln, dessen Filamentwandungen hydrophob sind, also "immun" gegen den Kapillareffekt, und das gleichzeitig unverändert gute, ja sogar verbesserte Haftungseigenschaften aufweist.



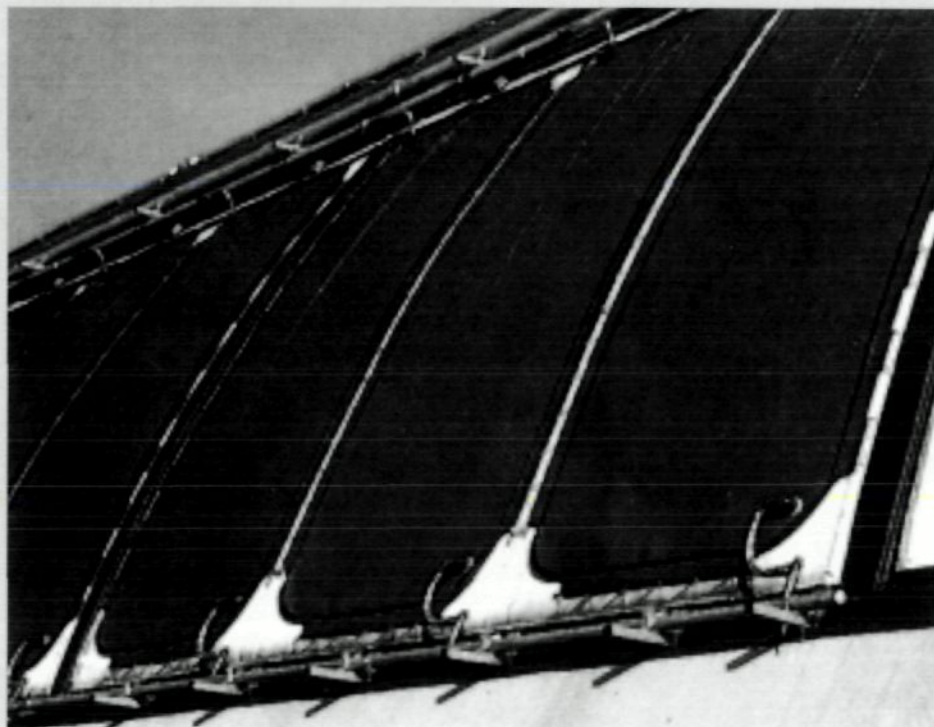
Oben: Anti-Wicking-Effekt von Diolen 174 SLC; darunter: Garnquerschnitt

## Luftkissenkollektoren

Daß textile Gewebe auch für neuartige Anwendungen geeignet sind, demonstriert das Solar-Kraftwerk des Freizeitentrums "Moby Dick" in Rülzheim. In das rund 10.000 qm große textile Dach sind drei 20 x 30 m große Luftkissenkollektoren integriert, die gemeinsam mit einem Wärmepumpensystem im Jahresdurchschnitt einen Energieüberschuß produzieren. Die 162 Einzelemente bestehen aus Trevira Hochfest-Gewebe der Hoechst AG mit integrierter Hostaflon ET-Folie. Die Absorber liefern selbst im Winter einen Wärmegewinn. Die Membrankonstruktion stammt von Koch Hightex, die Absorber wurden von Wülfig & Hauck produziert.

## Velaflex / Velaglas

PTFE (Polytetrafluorethylen, Markenname Teflon) hat sich als Gewebematerial neben Glasfasern auch für hochbelastete Zeltmembranen fest etabliert (s. 107 ARCH<sup>+</sup>, S.87). Für innovative Anwendungen von Teflon oder Tefzel, den Fluorkunststoffen von DuPont, wird alle zwei Jahre der Plunkett Award - benannt nach dem Teflon-Entdecker - verliehen. 1995 erhielt ihn Koch Hightex für Velaflex, eine neuartige Membran für textiles Bauen. Velaflex-Gewebe sind faltbar und können in großflächigen Schirmkonstruktionen verwandt werden, wie bei der Überdachung der Innenhöfe der Moschee von



Medina (s. 124/125 ARCH<sup>+</sup>, S. 113). Die Teflonfasern erfüllen hier nicht nur alle konstruktiven Anforderungen wie Unbrennbarkeit, UV-Beständigkeit, gute Reinigungsmöglichkeit. Wegen ihrer geringen Sprödigkeit besitzen PTFE-Fasern als einzige die für faltbare Konstruktionen erforderliche Biegegewichseigenschaft. Herkömmliche Bautextilien wie Baumwolle und Mischgewebe, Polyamid oder PVC-beschichtetes Polyester versagten bei Tests unter den geforderten Temperaturbedingungen nach 2 500 Öffnungs- und Schließvorgängen.

Einen völlig anderen und bisher einzigartigen Weg beschreitet Koch Hightex mit Velaglas. Beim kürzlich fertiggestellten



Raubtierhaus Hellabrunn (vgl. 124/125 ARCH<sup>+</sup>, S. 116) sowie bei einem Yachtclub-Gebäude bei Nagoya wurden erstmalig transparente Folienkissen aus Teflon eingesetzt - in Hellabrunn auf einer vorgespannten Seilnetzkonstruktion, in Japan auf einer flachen Gitterschale aus Stahl. Neben der extremen Hitze- und Kältebeständigkeit, den antiadhäsiven Materialeigenschaften und seiner Unbrennbarkeit erübrigt sich bezüglich des Gewichts jeder Vergleich mit herkömmlichen Verglasungsmaterialien.

## Membranen mit dynamischer Wärmedämmung

Membranwerkstoffe sind leicht, flexibel und dehnbar. Gegenüber den klassischen Baumaterialien haben sie jedoch ein niedriges Wärmedämmvermögen, das hauptsächlich aus der geringen Schichtdicke sowie der hohen Dichte der verwendeten Werkstoffe resultiert. Versuche, bei denen Membranen mit einer

Unten: Seilnetzdach am Dschungelzelt im Tierpark Hellabrunn

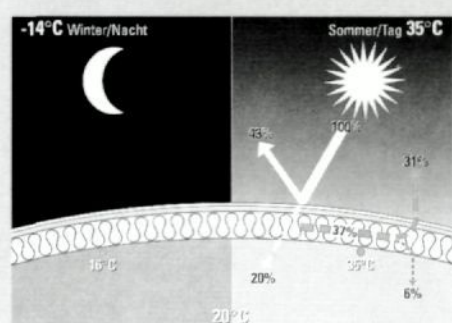


Links oben: Freizeit-zentrum in Rülzheim; darunter: Solar-Absorber aus Trevira Hochfest Abstandsgeweben

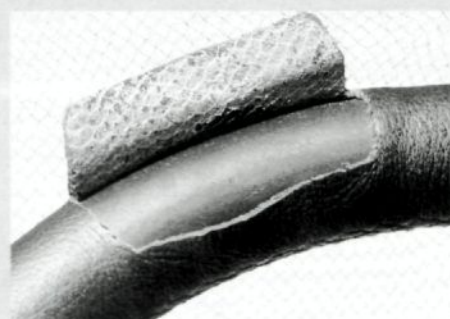


Schaumbeschichtung ausgerüstet wurden, zeigten zwar ein verbessertes Wärmedämmverhalten, aber noch keinen durchschlagenden Erfolg. An der MFPA Leipzig werden derzeit neue Wege zur Lösung dieses Problems beschritten. Unter Anwendung von mikrogekapselten Phase-Change-Materialien (microPCM) soll die thermische Speicherkapazität eines Membranwerkstoffs und so die Wärmedämmung erhöht werden. PCM kann seinen Aggregatzustand in einem bestimmten Temperaturbereich ändern (vgl. Wasser:  $0^{\circ}\text{C}/100^{\circ}\text{C}$ ). Die Energie, die dabei für den Phasenwechsel vom festen in den flüssigen Zustand oder umgekehrt benötigt wird, absorbiert und speichert PCM während der Erwärmung oder Abkühlung des Trägermaterials. Diese Zunahme der thermischen Kapazität hat zur Folge, daß nach Erreichen der Phasensprungtemperatur (Schmelz- bzw. Kristallisationstemperatur) die weitere Wärme- oder Kältezufuhr im Trägermaterial unterbrochen wird und eine vorübergehende Temperaturkonstanz auftritt. Der Wärme fluß durch das Trägermaterial mit microPCM verzögert sich in beide Richtungen. Die so erzielte Wärmedämmung ist temperatur- und zeitabhängig und endet mit erfolgter Phasenumwandlung in allen Mikrokapseln. Man spricht von einer dynamischen Wärmedämmung, die zusätzlich zur statischen Wärmedämmung des Materials wirkt. Bei den Tests der MFPA Leipzig wurde mit einer Mischung aus Phase-Change-Materialien mit Schmelz- bzw. Kristallisationstemperaturen zwischen  $-25$  und  $+40^{\circ}\text{C}$  gearbeitet. Meßversuche an einer Membran aus PVC-beschichtetem Polyestergewebe haben gezeigt, daß eine einseitige Schaumbeschichtung mit einem PCM-Gehalt von  $90\text{g}/\text{qm}$  die Wärmedämmwirkung gegenüber dem unbeschichteten Membranwerkstoff auf das 40-fache (!) erhöht. Damit ergeben sich vielversprechende Möglichkeiten der Verbesserung des Innenraumklimas und der Senkung des Energieverbrauchs von Membranbauten.

**Membranen mit transparenter Wärmedämmung**  
Die flontex GmbH bietet Membranen mit einer transparenten Wärmedämmung an, durch die sich der k-Wert der Gesamtkonstruktion auf  $1,1\text{ W}/\text{qmK}$  reduzieren läßt (wie edelgasgefüllte Zweischeiben-Wärmeschutzverglasungen). Der Aufbau ist zweischalig, besteht aus PTFE-Geweben an Ober- und Unterseite mit zwischenliegendem Glasfaserspinnst und ist so ausgelegt, daß kein Tauwasser anfällt. Die Membrankonstruktion besitzt einen g-Wert von 26%, der an sonnigen Tagen moderate Wärmegewinne bringt (ca.  $200\text{ W}/\text{qm}$ ). Der Lichttransmissionsgrad beträgt 22% und reicht aus, um auch an bedeckten Tagen für eine Leuchtdichte von 2.000 lux zu sorgen (Büro-Arbeitsplätze: 300 bis 500 lux).



**Heizungsmembran**  
Tec-Knit fertigt neue technische Textilien auf Basis der Kettenwirk- oder Rascheltechnik. Neuartig ist ein Schwachstrom-Heizsystem auf Metallgewirke-Basis (Tectextil-Innovationspreis '95). Die Gewirke sind mit Textilien oder textilarmierten Werkstoffen kombinierbar mit völlig neuartigen Anwendungsspektren. Als Metalle wurden vorwiegend Kupfer- oder Nickel-Legierungen verwandt. Zur Zeit können Maschensysteme mit bis zu 500 Paralleldrähten gefertigt werden, die in ein Produkt (Kälteschutzanzüge, beheizbare Fußbekleidung, Leitungssysteme, Lkw-Planen) integriert werden. Im Bedarfsfall ist eine Armierung durch Textilfäden möglich. Die Beheizung erfolgt in der Regel mit 12V-Strom, Temperaturen bis  $500^{\circ}\text{C}$  sind erreichbar. Das Maschensystem ist für großflächige Anwendungen und durch flexible Auslegung auch für dreidimensionales Verformen geeignet.



Schwachstrom-Heizsystem aus integrierten Metallgewirken

## Seile und Verbundkonstruktionen

Zuglemente aus neuen Hochleistungsfasern der Kunststoffindustrie sowie faserverstärkte Kunststoffe unterschiedlichster Materialkombinationen haben in den letzten Jahren neue Einsatzgebiete im Bauwesen erobert, können Holz, Stahl und Stahlbeton bei deutlich verbesserten Materialeigenschaften ersetzen und eröffnen auch für den Einsatz traditioneller Baumaterialien neue Perspektiven (s. auch 124/125 ARCH<sup>+</sup>, S.116/17).

### Kevlar

Eine Para-Aramid-Hochleistungsfaser von DuPont, die mittlerweile in einem breiten Anwendungsspektrum eingesetzt wird und von Linear Composites u.a. zu Seilen und Kabeln des Markennamens Parafil weiterverarbeitet wird. Kevlar ist beständig gegen Dauereinwirkung von extremen Temperaturen von  $-40^{\circ}\text{C}$  bis  $+160^{\circ}\text{C}$  und weist eine niedrige Bruchdehnung bei höchster

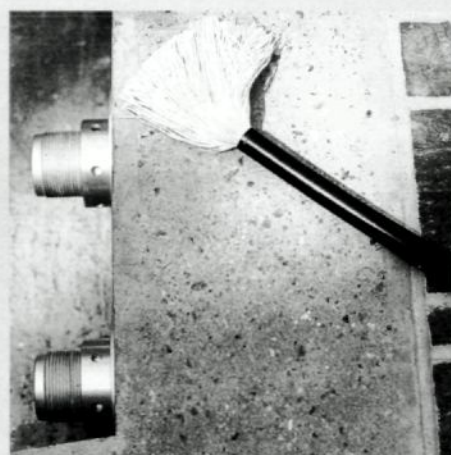
Dimensionsstabilität auf. Die Faser widersteht darüber hinaus dem Angriff der meisten Chemikalien, ist flammwidrig, nichtleitend und äußerst verschleißfest.

### Parafil-Kabel

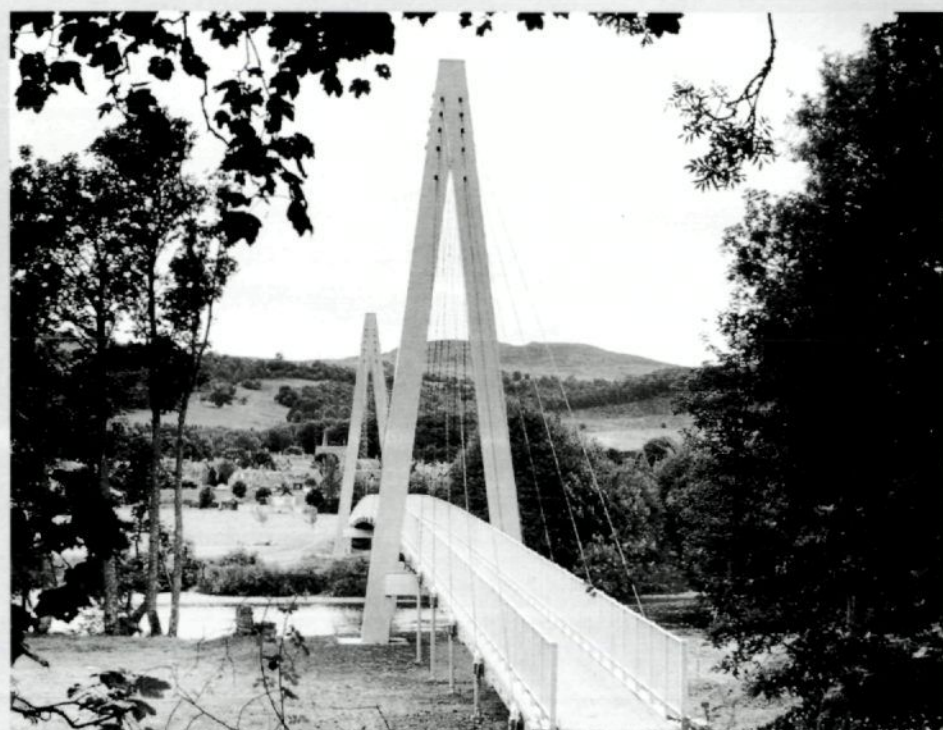
Ein dicht gepacktes Bündel aus parallel angeordneten Para-Aramidfasern mit Kunststoffummantelung, die über eine außerordentliche Festigkeit verfügen. Gegenüber Stahl besitzt Parafil das 5-fache an spezifischer Festigkeit, und bei gleichem Durchmesser hat das Produkt nur 20% des Gewichts von Stahl in Luft (in Wasser: 5%). Die Hersteller gehen davon aus, daß Kevlar/Parafil sich langfristig als Material für Anwendungen wie Vorspannglieder, Betonbewehrungen etc. durchsetzen wird, da es die großen Nachteile von Stahl wie Korrosion, Kriechen und hohes Gewicht überwindet.

### Modularer Kompressionsbau

Eine neue Konstruktionstechnik, mit der das Material eine kongeniale Anwendung findet. Sie erhielt einen Innovationspreis der diesjährigen Tectextil. Bei dem von DuPont, Linear Composites und dem Ingenieurbüro Curtins entwickelten Verfahren werden unterschiedliche Baumaterialien durch interne oder externe Parafil-Kabel fest in einzelnen Modulen zusammengehalten, die Spannkabel in soliden Endplatten verankert. Die so verpreßten Materialien können homogen sein, es können aber auch Materialien und Bauelemente unter-



Links oben: Brücke im Modularen Kompressionsbau; darunter: Kevlar-Fasern zu Parafil-Kabel gebündelt; unten: Parafil-Zugseile





schiedlicher Dichte und Schwere miteinander kombiniert werden – traditionelle Werkstoffe wie Beton, Ziegelsteine, Holz, wie auch Paneele aus Verbundwerkstoffen oder lichtdurchlässige Bauelemente. Die Module unterschiedlicher Geometrie und Materialzusammensetzung werden durch Kompression zu extrem haltbaren und langlebigen Strukturen vereinigt, können vorgefertigt und vor Ort zusammengefügt, schließlich auch leicht recycelt werden.

Nach dem MCE-Verfahren (Modular Compression Engineering) errichtete Bauwerke können multidirektionale Belastungen aufnehmen, was eine Verwendung in erdbebengefährdeten Gebieten nahelegt, und sind – im Gegensatz zu Stahlvorspannungen – praktisch wartungsfrei. Eine bislang einzigartige Anwendung findet die MCE-Technik im Brückenbau. In der englischen Stadt Tring wurde die weltweit erste gemauerte Flachbogen-Trägerbrücke realisiert. Bei dieser Konstruktion liegen die Parafil-Vorspannglieder – von außen unsichtbar – im hohlen, gemauerten Kastentragwerk der Einzelelemente mit der Funktion, den Druck im Mauerwerk permanent aufrechtzuerhalten. Ohne Vorspannglieder würde die Brücke unter ihrem eigenen Gewicht zusammenbrechen. Obwohl der Prototyp in Form einer Fußgängerbrücke nur rund 7 Meter überspannt, können mit Hilfe der MCE-Technik erheblich größere Spannweiten realisiert werden.

Materialverbunde ganz anderer Art sind die Komposite. Zusammen mit der Gruppe der Laminaten zeichnen sie sich dadurch aus, daß unterschiedliche Materialien eine feste Verbindung eingehen (ähnlich Stahlbeton), bei den Laminaten in geschichteter Form, bei den Kompositen in einem eher diffusen Arrangement. Hochleistungskomposite werden aus Materialien wie Graphit, Magnesium, Beryllium, Boron, Aramid u.a. hergestellt, die in Form orientierter Fasern, als Filamente, Gelege oder Gewebe in eine Kunstharzmatrix bspw. aus Epoxid oder Polyamid eingelegt werden. Obwohl die Entwicklung neuer Komposite hauptsächlich von der Luftfahrt, Verteidigungs- und Automobilindustrie ausgeht, werden mögliche Anwendungen im Bauwesen nicht ignoriert, wie zahlreiche Forschungsprojekte über den Ersatz von Stahl als Betonbewehrung zeigen.

## Tepex

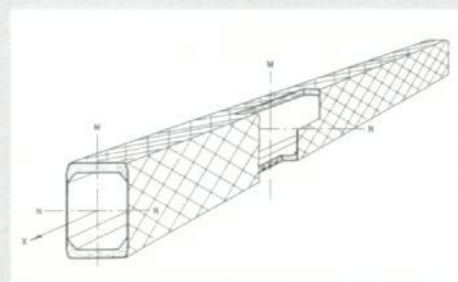
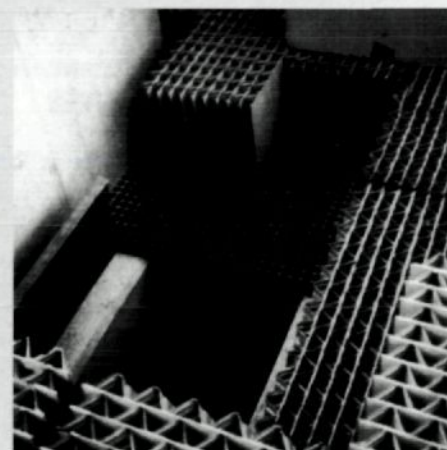
Ein von DuPont initiiertes neues Konzept zur Massenproduktion von Hochleistungs-Kompositen. Die Anwendungen sind in erster Linie für den Schutz-, Verkehrs- und Freizeitbereich gedacht, bautechnische Anwendungen sind jedoch durchaus denkbar. DuPont stellt bereits seit Jahren hochleistungsfaserverstärkte Produkte für großvolumige Anwendungen in zahlreichen Marktsegmenten her. Aber mit Ausnahme der Luftfahrtindustrie verfügten die meisten Firmen weder über das notwendige Entwurfs- und Ingenieur-Knowhow noch über die Produktionsanlagen, um qualitativ hochwertige Komposite zu entwickeln und zu fertigen. Mit dem Tepex-System bietet DuPont jetzt – zusammen mit einem Netz assoziierter Technologielieferanten wie Sumitomo – eine Gesamtlösung an, die die Konfektion einer neuen Generation großvolumiger Kompositprodukte, das Hochgeschwindigkeits-Thermoformen sowie alle dafür erforderlichen

Technologien umfaßt. Im Franchising geführte Tepex-Shops entwickeln dabei mit Hilfe von CAD-Systemen ein Vorhaben vom ersten Konzept innerhalb kurzer Zeit zu einem marktfähigen, "maßgeschneiderten" Massenprodukt. Für den Kunden minimiert sich das wirtschaftliche Risiko durch Bereitstellung einer Gesamtlösung.

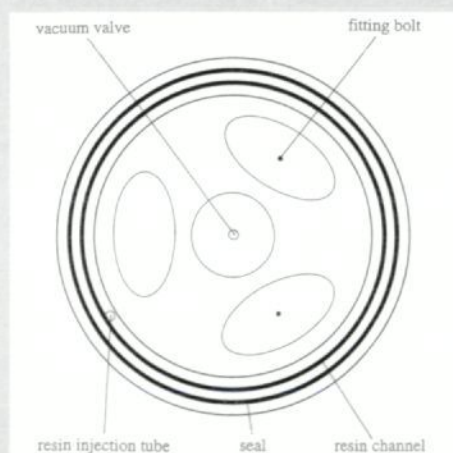
Tepex-Produkte bestehen aus Glas-, Kevlar- oder Kohlefaserverstärkungen in einer Matrix aus thermoplastischen Harzen wie Nylon, PA oder PET bzw. PEKK für Hochleistungsanwendungen. Für die Faser-Matrix-Verbunde werden Gewebe oder Gelege in ein- oder mehrlagiger Anordnung verwandt. Beispielhafte Produktanwendungen reichen von Massenprodukten wie Zugangskarten über Sport- und Bekleidungsartikel (Motorradhelme, Snowboards, Fahrradrahmen, Schalenkoffer) bis zu Sandwich-Strukturen für Flugzeug-Interieurs, Leichtbaumöbel, Container etc.



Roste, Treppen und Geländer aus GFK-Profilen ersetzen Profile aus Stahl bzw. Tropenholz (Fibergrate b.v., Terneuzen)



Kastenträger aus glasfaserverstärktem Epoxidharz. Die Kunstharzmatrix übernimmt keine lastabtragende Funktion, das Tragverhalten wird einzig durch die Eigenschaften der Fasern bestimmt. Nach Tests an 2,80 m langen Biegeträgern unter 10jähriger Dauerbelastung und Einzelbelastungen von 100 Millionen Takten zeigt sich ein exzellentes Langzeitverhalten in Statik und Materialermüdung. (EMPA Dübendorf)

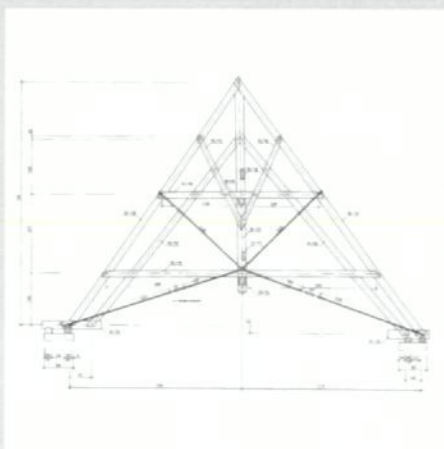


Die CFK-Motorradfelge hat sich im Rennsport fest etabliert (CSIR Aero-tek Division). Gegenüber einer magnesiumlegierten Spezialfelge ist das Gewicht um 25% reduziert. Durch neue Ferti-

gung mit vorkonfektionierten Verstärkungshalbzeugen konnte die Produktionszeit um fast 40% gesenkt werden. (Innovationspreis der Textextil 95)



Metallfreie Spezialbauten aus Verbundwerkstoffen (Hersteller: Fiberline Composites A/S, Kolding). Tragende Profile, Verbindungsbolzen und Außenhaut bestehen aus korrosionsfreiem, gut isolierendem GFK. Stahlbauten ähnlicher Bauweise haben im Durchschnitt das doppelte Gewicht.



Stabilisierung des gotischen Dachstuhls der Meißner Frauenkirche (Ingenieurbüro Kempe, Dresden). CKF-Schlaufen aus je 2 mal 5/30 mm Toray M40J-Fasern ersetzen Holz und Stahl als Aussteifungsmaterialien. Die spezifischen Eigenschaften von GFK eröffnen vielversprechende Möglichkeiten für Denkmalpflege und Gebäudesanierung.

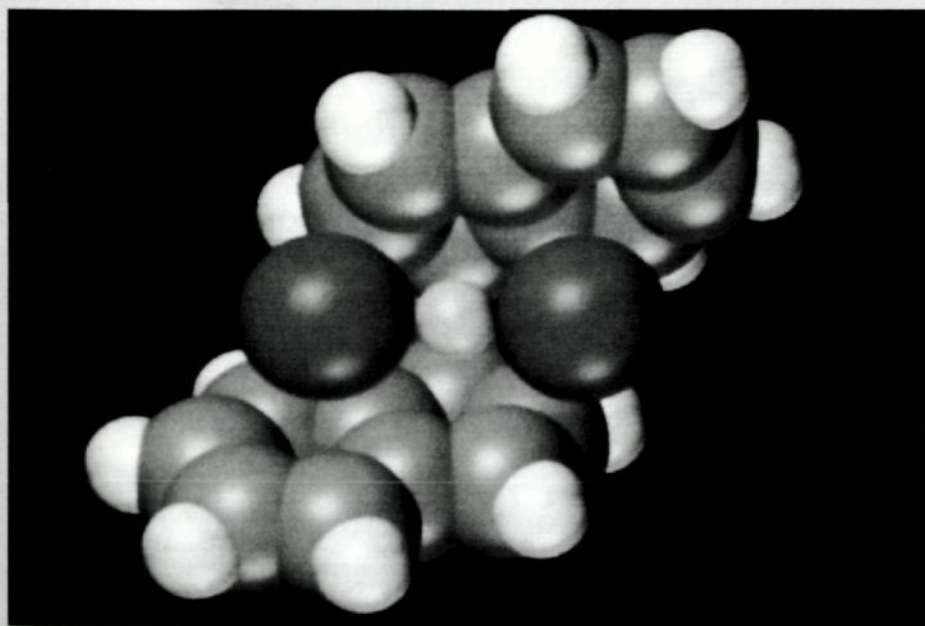
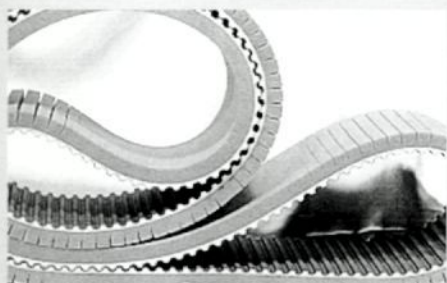


## Neue Kunststoffe und Verfahren

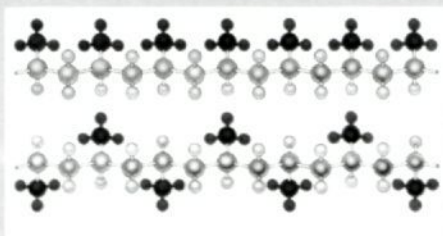
### Sylomer

nennt sich eine Gruppe von zelligen und kompakten Polyurethan-Elastomeren der Getzner GmbH. Sie werden als kontinuierliche Bahnenware in unterschiedlichen Dicken und Dichten gefertigt, spezielle Bauteile auch in Serie formgegossen. Beim Schutz von Gebäuden vor Erschütterungen aus Schienen- und Straßenverkehr sind die bautechnischen Anforderungen hoch. Herkömmliche Werkstoffe versagen, da im Gründungsbereich nicht nur Wasser, Schmutz und aggressive Substanzen anfallen, sondern auch erheblicher Erddruck. Sylomer ist beständig gegen Öle und Fette, verdünnte Säuren und Laugen und bleibt auch bei tiefen Temperaturen elastisch. Die Bahnenware ist einfach und schnell zu verarbeiten und zu verkleben und kann auch im Fundamentbereich mehrgeschossiger Gebäude eingesetzt werden, etwa bei elastisch gelagerten Bodenplatten über U-Bahn-Tunneln.

Elastische Riemenbeläge aus Sylomer



Metalocen-Katalysatoren ermöglichen die Herstellung von Kunststoffen mit in weiten Grenzen präzise steuerbaren Eigenschaften. Davon profitieren insbesondere die Polyolefine PP und PE, die am häufigsten benutzten Kunststoffe. Durch Metalocen-Katalysatoren läßt sich ihr Eigenschaftsprofil - Härte, Transparenz, Steifigkeit, Zähigkeit - derartig verbessern, daß sie zunehmend andere, ökologisch problematische Kunststoffe ersetzen können. Werden Metalocene, deren Struktur erst seit 1952 aufgeklärt wurde, z.B. mit Methylalumoxan versetzt, so erhält man Katalysatoren, die Olefine 10 - 100mal schneller polymerisieren als die besten der bislang benutzten (Ziegler-Natta-) Katalysatoren. Polyolefine sind lediglich aus Kohlenstoff und Wasserstoff aufgebaut, enthalten also keine kritischen Heteroatome, die sich beim Rezyklieren unangenehm bemerkbar machen. Polyolefine mit einer hohen Bandbreite von Eigenschaften erhält man durch Veränderungen am eingesetzten Katalysator. Durch Variation der Liganden (Reste) am Metalocen lassen sich völlig neuartige Kunststoffe herstellen, die unterschiedliche Mikrostrukturen und damit Eigenschaften aufweisen. Die Anwendung ist momentan noch auf Spezialprodukte beschränkt, die Möglichkeiten erscheinen jedoch revolutionär. Die Herstellung mit den neuen Katalysatoren läßt sich kostengünstig in bestehenden oder nachgerüsteten Anlagen realisieren.



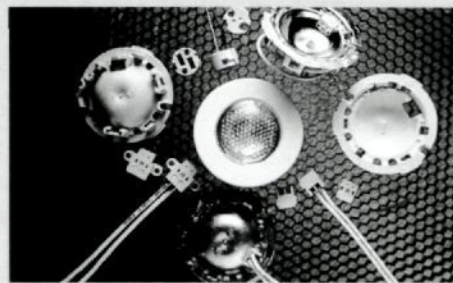
Computermodell eines Metalocen-Katalysators für Polypropylen; Molekülketten von isotaktischem und syndiotaktischem Polypropylen.

### Topas

Thermoplastic Olefin Polymer of Amorphous Structure wurde von Hoechst zusammen mit der japanischen Mitsui Sekka entwickelt und wird gemeinsam produziert und vertrieben. Das Produkt ist ein transparentes COC (Cycloolefin Copolymer), ein reines Kohlen-Wasserstoff-Produkt. Erst durch Metalocen-Katalysatoren wurde es möglich, einen COC-Kunststoff zu entwickeln, dessen Molekulargewicht, Reinheit und Verarbeitbarkeit den Marktanforderungen entsprechen und dessen Eigenschaften sich variieren lassen. Die Wärmeformbeständigkeit z.B. ist je nach Anwendung auf Temperaturen bis zu 170°C einstellbar. Die Dichte von COC liegt rund 20% unter dem konkurrierenden Polycarbonat, was eine gewichtsparende Anwendung im Baubereich nahelegt. Neben anspruchsvollen optischen Anwendungen (Datenträger, fotooptische Linsen etc.) eröffnen sich interessante Einsatzmöglichkeiten für Folien mit hervorragenden Isoliereigenschaften.

### Zenite LCP

ist ein neuer, flüssigkristalliner Hochleistungs-Kunststoff von DuPont, geeignet für den Langzeiteinsatz bei Temperaturen von 220 bis 240°C, z.B. in Fasungen und Reflektoren für Halogenlampen. Gegenüber der bisher üblichen Keramik bietet Zenite den Vorteil leichter Verarbeitbarkeit und geringerer Maßtoleranzen, die für die Fertigung von Kleinteilen erforderlich sind. Die hohe Fließfähigkeit der Schmelze ermöglicht verzugsfreies und äußerst maßhaltiges Spritzgießen komplexer Formen mit geringen Wanddicken.

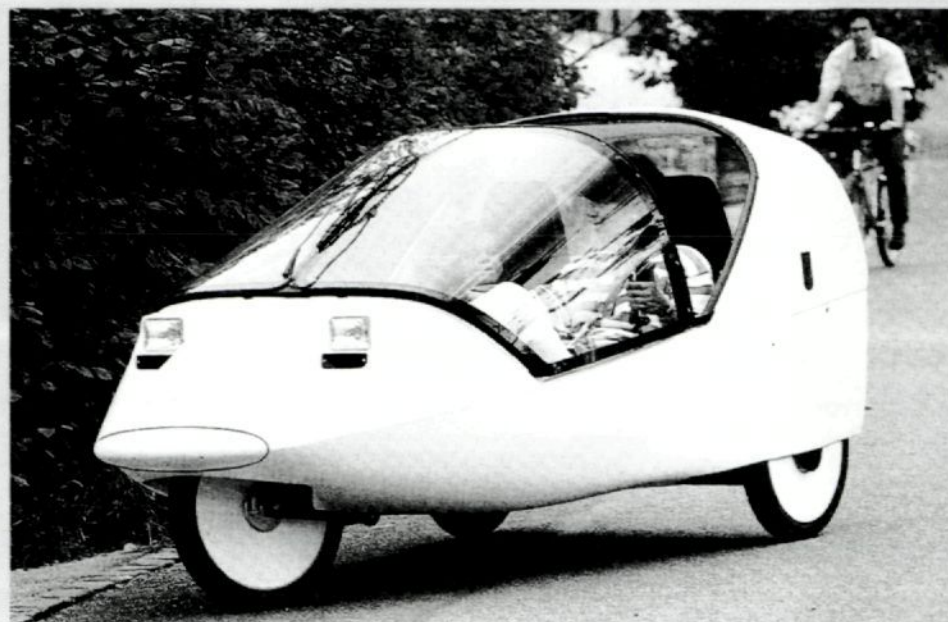


### Luran S / Terblend S

sind seit Jahren bewährte, witterungsbeständige thermoplastische Kunststoffe aus ASA, die von der BASF produziert werden. Ihre Vorteile bei großflächigen Kfz-Außenteilen legen auch den Einsatz als Außenverkleidungen im Bausektor nahe. In großen Serien konnten sich im Karosseriebau bislang nur Verbundwerkstoffe auf Basis von Polyesterharzen, später von glasmatenverstärkten Thermoplasten durchsetzen. Im Gegensatz zu thermoplastischen Blends auf der Grundlage von PA/PPE oder PBT/PC, die zum Oberflächen-Finish und Witterungsschutz eine Lackierung benötigen, was die Wiederverwertbarkeit einschränkt, können Luran S und Terblend S unlackiert und in der Masse eingefärbt verwendet werden. Beide Produkte sind beständig gegen Vergrauen, Vergilben, Wärmealterung und -verformung und freie Bewitterung. Sie besitzen eine hohe Steifigkeit, Festigkeit und Dimensionsstabilität sowie den Vorteil leichter Verarbeitbarkeit.

### Gas-Innendruck-Technik (GIT)

ein in den letzten Jahren entwickeltes Spritzgießverfahren für kompakte bis großvolumige Formbauteile aus Thermoplasten. Während des Verarbeitungsprozesses wird ein Gas - in der Regel Stickstoff - mit einem Druck von 25 bis 300 bar in das Innere der Schmelze eingebracht und verdrängt diese. Im Bauteil entsteht dadurch ein definierter Hohlraum, der eine Volumenkontraktion verhindert. Die Kunststoffprodukte sind frei von unerwünschten Einfallstellen. GIT spart zudem Gewicht und damit Material und verringert die Kühlzeiten um bis zu 50%. Das Verfahren hat sich seit 5 Jahren zu einem Großserienverfahren entwickelt, um Kunststoff-Hohlteile sowie Formteile





## Hersteller

Akzo Nobel Faser AG  
42097 Wuppertal  
fon 0202-32 26 58

BASF Aktiengesellschaft  
67056 Ludwigshafen  
fon 0621-600

CSIR Aerotek Division  
PO Box 395,  
SA-Pretoria 0001  
fon 0027-12-841 27 80

DSM  
High Performance Fibers B.V.  
Eisterweg 3  
NL-6422 PN Heerlen  
fon 0031-45-43 67 67

DuPont de Nemours GmbH  
61343 Bad Homburg  
fon 06172-87 19 0

Fiberline/Fibergrate:  
Arthur Krüger Kunststoffe  
Altes Feld 1  
22882 Barsbüttel  
fon 040-67 05 20

flontex-Weissinger GmbH  
Lindenstraße 36  
89130 Blaustein  
fon 0731-95 40 10

GE Plastics Deutschland GmbH  
Eisenstraße 5  
65428 Rüsselsheim  
fon 06142-60 11 10

Getzner Werkstoffe GmbH  
Nördliche Münchner Straße 25  
82031 Grünwald  
fon 089-693 50 00

Hoechst Aktiengesellschaft  
65926 Frankfurt/Main  
fon 069-30 50

Koch Hightex GmbH & Co. KG  
Nordstraße 1  
83253 Rimsting  
fon 08051-690 90

Linear Composites Ltd.  
Vale Mills, Oakworth, Keighley  
GB-W. Yorkshire BD22 0EB  
fon 0044-1535-643363

MFPA für das Bauwesen  
Richard-Lehmann-Straße 19  
04275 Leipzig  
fon 0341-390 40

Neste Oy Chemicals  
PO Box 20  
FIN-02151 Espoo  
fon 00358-0450-5043

Shape 3  
Innovative Textiltechnik GmbH  
Berghauser Straße 62  
42859 Remscheid  
fon 02191-900 135

Tec-Knit  
Lönsweg 9, 46414 Rhede  
fon 02872-925 70

mit partiellen Hohlräumen zu fertigen. Auch plattenförmige Teile profitieren von dem neuen Verfahren, sind wesentlich verzugsärmer und weisen aufgrund der durch Hohlräume gebildeten Rippen eine höhere Steifigkeit auf.

**Dyneema**  
eine Hochleistungs-Polyethylen-Faser, 1986 vom niederländischen Unternehmen DSM eingeführt. Mit einer neuen Gelspinn-Technologie konnte die Leistungsfähigkeit der ersten Dyneema-Faser um 50% verbessert werden und übertrifft bereits heute die von Kevlar. Der Gelspinn-Prozeß unterscheidet sich grundlegend vom Spinnen der Aramide (Markennamen: Kevlar, Twaron, Technora) oder LCPs (Flüssigkristallpolymere, Markenname: Vectran), der beiden konkurrierenden Gruppen von Hochleistungsfasern. Während diese aus relativ kurzen, festen Molekülen aufgebaut sind, werden im Gelspinnprozeß langkettige, flexible PE-Moleküle verwandt, deren Festigkeit erst durch die Verarbeitungsvorgänge des Spinnens und Ziehens erreicht wird. Schon heute ist Dyneema die stärkste Faser der Welt, ein Ende der Entwicklung ist noch nicht erreicht.

### Infusions-Moulding-Verfahren (IM)

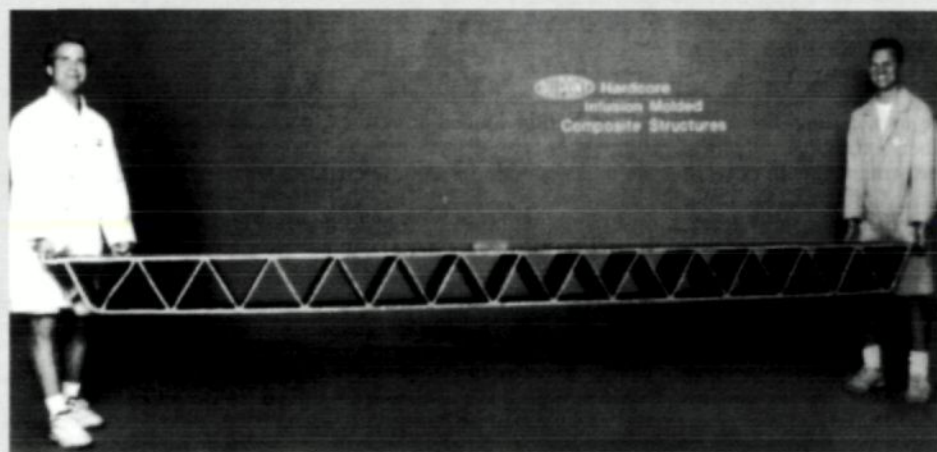
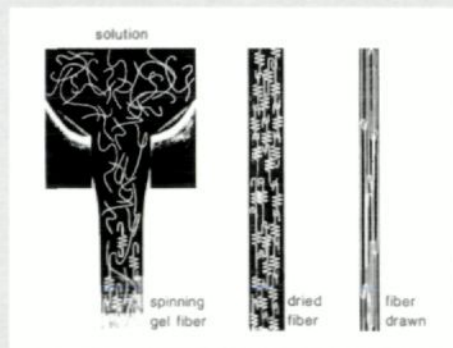
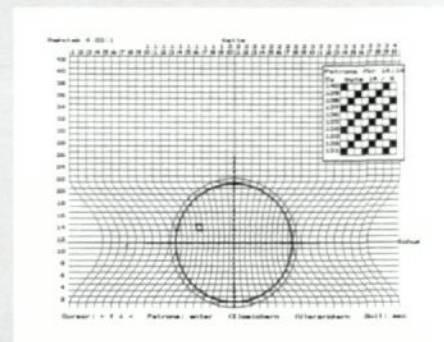
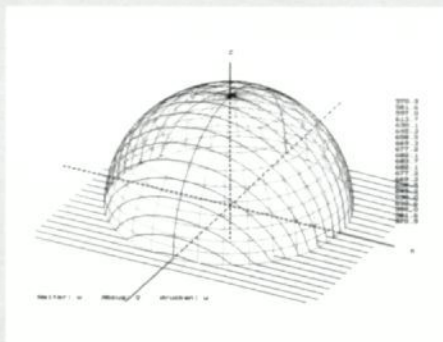
ein von DuPont entwickeltes, innovatives Herstellungsverfahren für große und komplexe Komposit-Strukturbauteile (Techtextil-Innovationspreis '95). Verfahren wie das kostengünstige SMC (Sheet Moulding Compound) im Bootsbau, das mit Schichtungs- oder Sprühtechnik arbeitet, sind für anspruchsvolle und großformatige Anwendungen ungeeignet, die Qualität ist zudem schwer zu kontrollieren. Pultru-

sionsverfahren und Resin Transfer Moulding (RTM) sind zwar weitgehend automatisiert, die Werkzeuge jedoch teuer und gleichermaßen ungeeignet für Großstrukturen. Mit IM hingegen wurde bereits eine Vielzahl von Großbauteilen in einem ökonomischen und ökologischen Verfahren realisiert, u.a. Brückendecks mit einer um 88% gesteigerten Steifigkeit bei einem Sechstel des Gewichts von Beton. Der Bauteilgröße sind praktisch keine Grenzen gesetzt. Beim Infusions-Moulding-Verfahren wird in den Trägermedien (Gewebe, Schäume u.a.) durch eine patentierte Technik ein Vakuum erzeugt. Anschließend kann das Kunstharz mit minimalem Hohlraumanteil injiziert werden. Es kann mit offenen Schablonen und bei Raumtemperatur produziert werden, Hochtemperaturwerkzeuge und Autoklaven erübrigen sich.

### Shape Weaving

ist ein innovatives Verfahren für gewebte, dreidimensionale Vorformlinge. In den letzten Jahren haben neue Produktionsverfahren für Komposite zunehmend Bedeutung gewonnen, die große Stückzahlen automatisiert und

rationell - in Taktzeiten von einer bis wenigen Minuten - fertigen können. Viele potentielle Komposit-Bauteile besitzen jedoch eine komplexe Geometrie, die sich bei den hohen E-Moduln gängiger Hochleistungsfasern nur begrenzt aus zweidimensionalen Halbzeugen umformen läßt. Mit dem Shape Weaving-Verfahren (Innovationspreis der Techtextil '95) lassen sich erstmalig maßgeschneiderte, dreidimensionale Endlosfaserverstärkungen direkt herstellen, ohne vorausgehende Konfektionierung oder Umformung. Es können Glas-, Aramid-, Carbon- oder andere wenig dehnbare Fasern verwandt werden. Shape 3 Innovative Textiltechnik bietet eine breite Produktpalette vorgeformter, vollautomatisch gewebter 3D-Halbzeuge, die mit einer Simulations-Software in Schalengeometrie, Wanddicke und Orientierung auf individuelle Bedürfnisse abgestimmt werden. Bauteile aus Faserverbundwerkstoffen sind prinzipiell für alle Anwendungen mit mechanisch belasteten, biaxial gekrümmten Oberflächen geeignet.



Links oben: Verschiedene Stufen der molekularen Orientierung einer Dyneema Faser; darunter: Brückenträger im Infusions-Moulding-Verfahren



## Mutant Materials

Materialien haben nicht mehr die gleiche Erscheinung wie in der Vergangenheit. Ingenieure statteten sie mit der Kraft der Veränderung aus und ließen sie als kindliche Mutanten ihres älteren Ichs wiedererstehen. In der Ausstellung "Mutant Materials" am MoMA in New York vom 25.4. bis 27.8.95 wurde die Materialisierung von Designobjekten in dieser neuen historischen Perspektive erforscht (die auch für das Bauen mit neuen Materialien relevant ist).

Kunststoffe können klar wie Glas sein, scharfkantig wie Stein, metallisch wie Aluminium. Aluminium kann wie Quecksilber erscheinen, Holz wie Kunststoff aussehen. Wissenschaftler entdeckten, wie man die Moleküle zu neuen Materialien anordnet, die nicht nur anders erscheinen als in der Vergangenheit, sondern auch andere, grundlegend neue Eigenschaften besitzen. Feste Metalle werden durch Keramik ersetzt, Bleche durch Kohlefasern, Holz kann weich wie Polster sein. Neue Technologien werden angewandt, um die physikalischen Materialeigenschaften zu konfektionieren, zu erweitern, zu modifizieren und neu zu erfinden. Materialien werden aus passiven Gehilfen zu aktiven Interpreten der Ziele von Ingenieuren und Entwerfern. In wenigen Jahrzehnten hat die beeindruckende Entwicklung von (Design-)Materialien und deren Technologien eine neue Materialkultur hervorgebracht, die komplex ist und sich in einem

Zustand kontinuierlicher Veränderung und Anpassung befindet.

Der Entwurf von Materialien ist keine neue Entdeckung: Keramik und Glas sind Jahrtausende alt, und sogar Kunststoffe gibt es seit mehr als einem Jahrhundert. Aber selbst wenn man nur diese drei historisch neuen Materialien als Fallstudien betrachtet, wird eine Revolution sichtbar. ... Aber das beste Beispiel für die Revolution der Materialien ist die Erforschung der Komposite, eines der bedeutendsten Kapitel in der Technologiegeschichte des 20. Jahrhunderts. ... Die gebräuchlichsten Komposite sind Kombinationen von Glas- oder Kohlefasern mit Harzen. Leicht und korrosionsbeständig aufgrund der Harzbestandteile, fest und flexibel dank der Fasern, haben Komposite die Herstellung einer Bandbreite von Objekten revolutioniert. ...

Alle fortschrittlichen Materialien - alte wie neue - werden aus praktischen Gründen entworfen. ... Ingenieure entwickeln gerade Methoden, Materialien Intelligenz und Gedächtnis zu geben, um den Sinn für Ökonomie zu befriedigen, der durch das Bewußtsein der begrenzten Ressourcen des Planeten genährt wird. ... Zeitgenössische Materialforschung zielt auf leichte Herstellbarkeit, Energieeinsparung. Beispielsweise schmilzt "soft glass" bei niedrigeren Temperaturen als andere Gläser, Leichtmetall-Legierungen können bei niedrigeren Temperaturen geformt werden. Diese Materialien sollen haltbarer sein,

Abfall reduzieren und gegenüber Korrosion, Erosion und Gebrauch resistenter sein. Herstellung und Verarbeitung werden oft von CAD/CAM-Programmen geleitet, die die Performance maximieren, indem sie im voraus mögliche Materialflüsse in der Produktion simulieren und Abfall minimieren. ...

Ingenieure werden zu Alchimisten in ihrer Suche nach dem perfekten, mutanten Material - dem Traummaterial, das die Synthese der besten Qualitäten aller anderen Materialien ist. ... Ingenieure sind schon lange mit den Dimensionen heidnischer Alchimie vertraut, während bis vor einigen Jahrzehnten Designer und Architekten noch an die absolute Wahrheit der Materialien glaubten. Sie waren überzeugt, daß alle Materialien - sogar die künstlichen wie Keramik und Fiberglas - einen seelischen Ausdruck hätten, gesteigert durch physikalische Eigenschaften und Herstellungstechniken. ... Designer, Handwerker und Architekten suchten besessen nach einer Wahrheit, die sie - erst einmal aufgedeckt - zu einer

## Baumarkt

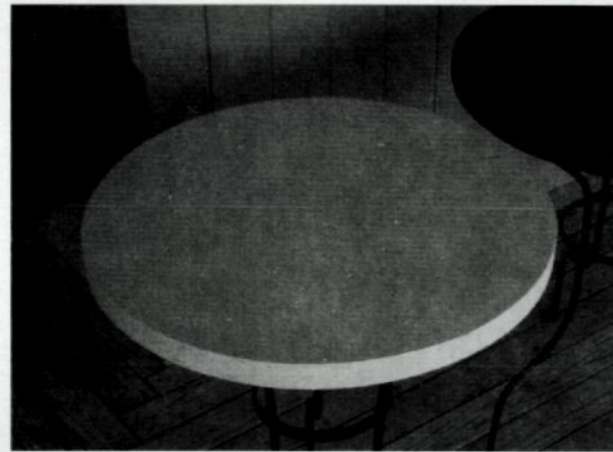
Harmonie von Zweck und Mittel und so zu einer Perfektion des Entwurfs führen würde. ...

Die Wahrheit der Materialien ist nicht länger das absolute, einzige Konzept. ... Der mutante Charakter der Materialien - in Ausdruck, Funktion und Struktur - erzeugt neue Formen und verlangt eine experimentellere Annäherung an den Entwurf. ...

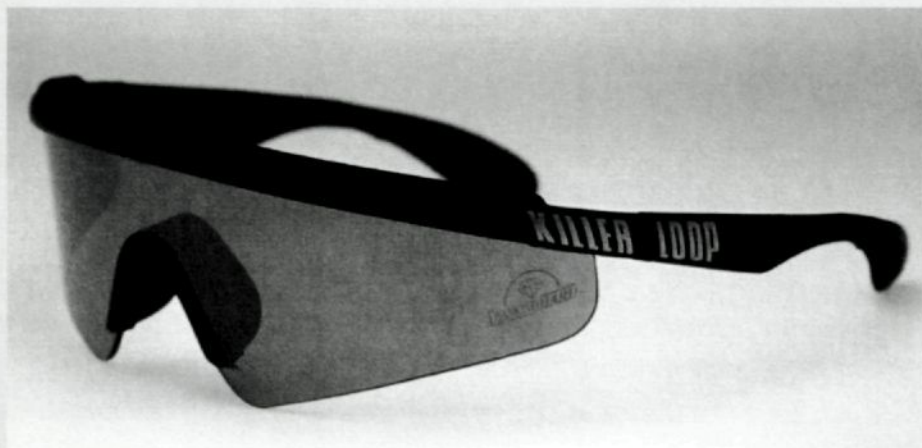
Paola Antonelli  
aus der Einleitung des Katalogs



Stuhl 'Figure of Eight';  
Material: Polyurethan-  
harz; Designer: Ross  
Lovegrove für Cappellini  
S.p.a.

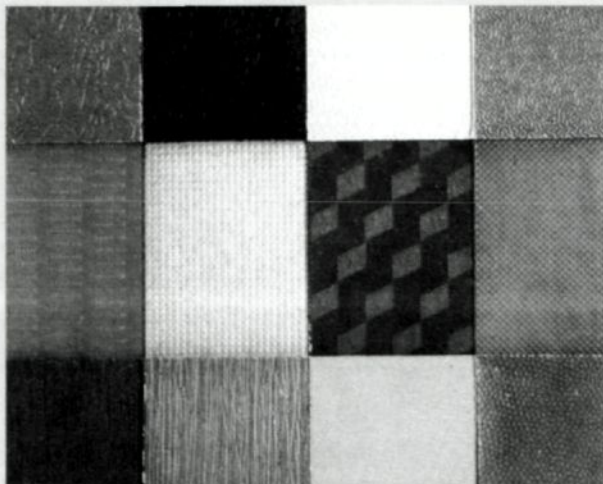


Multifunktionales 'Syn-  
decree': Komposit auf  
Zementbasis aus recycel-  
ten Materialien; Desi-  
gner: David Hertz für  
Syndesis, Inc.

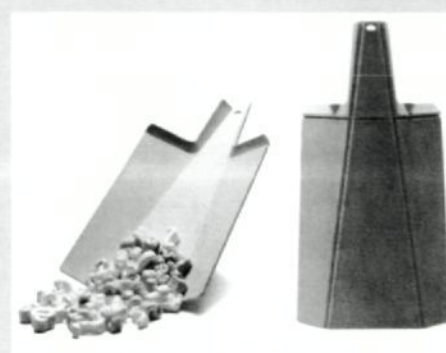


Sonnenbrille 'Killer Loop  
Xtreme Pro'; Material:  
Amorphes, gehärtetes  
Carbonat (DiamondHard)  
ummantelt die Polycar-  
bonat Linsen und das  
Elastomer Megol; Desi-  
gner: Bausch und Lomb,  
Inc.

Vielseitig verwendbares  
'Neolite' aus 100% recy-  
celten, heterogenen  
Kunststoffen; Designer:  
Forschungszentrum der  
Domus Academy für Con-  
sortium Replastic S.p.a.



'Tan Delta Force' - in  
Analogie zu Fischflossen;  
Material: Im Fließpress-  
verfahren hergestelltes,  
flexibles Polyurethan;  
Designer: Bob Evans.



'No-Spill' - Nicht  
Schlabbern, zweiseitig  
faltbare Schaufel; Mate-  
rial: spritzgegossenes  
Polypropylen; Designer:  
Mark Sanders für Rubyc-  
liff, Ltd.



# Flexible Tragstruktur aus Glasfaser-kunststoff

Der Pavillon verkörpert das Konzept eines reagiblen Gebäudes, das auf einer rein mechanischen, gewichtsgesteuerten Konstruktion beruht. Er ist ein 'Bio-mechanoid', da er die Energie für seine Formveränderungen aus den wechselnden internen Verkehrslasten gewinnt.

Die Tragstruktur besteht aus sieben Modulen mit elliptischem Querschnitt. Jedes Modul setzt

sich zusammen aus einem äußeren Ring und zwei nebeneinanderliegenden inneren Ringen. Die beiden inneren Ringe sind seitlich, in den Scheitelpunkten der Ellipse aneinander fixiert. Äußere und innere Ringe sind im Bodenbereich über eine federnd gelagerte Traverse mittels zweier Spreizerpaare verbunden, wobei jeder innere Ring über zwei Beine Kontakt mit dem Boden hat. Die Traversen tragen eine vertikalbewegliche Lastverteilungsplatte.

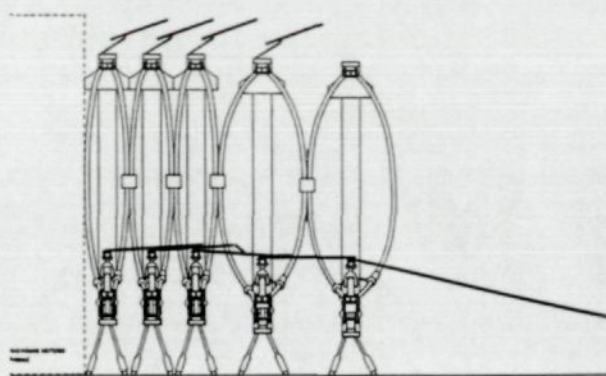
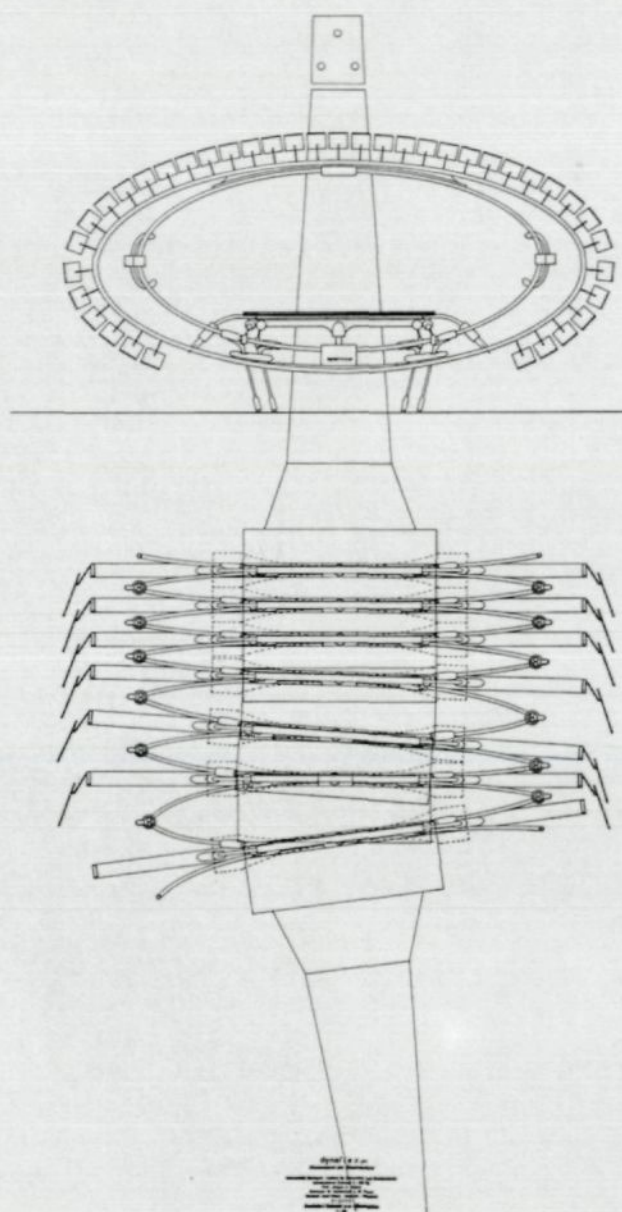
Wirkt auf diese Platte eine Last ein, so bewegt sich entsprechend Größe und Einleitung der Kraft die Traverse rechts, links oder parallel nach unten. Da-

durch wird der Querschnitt der betroffenen äußeren Ringe runter und die angeschlossenen Spreizerpaare drücken die inneren Ringe auseinander: es erfolgt eine Längenänderung des Pavillons in Abhängigkeit zur Auslenkung. Neben rechts/links/geradeaus-orientierten Bewegungen bewirkt eine Verschiebung der seitlichen Verbindungsknoten nach oben oder unten die Öffnung zweier benachbarter Module, so daß alle Module ihre Lage in jede Richtung verändern können. Das Zusammenspiel von innerem und äußerem Ring beeinflusst die Stellung der Beinpaare. Mit zunehmendem Gewicht überkreuzen sie sich und

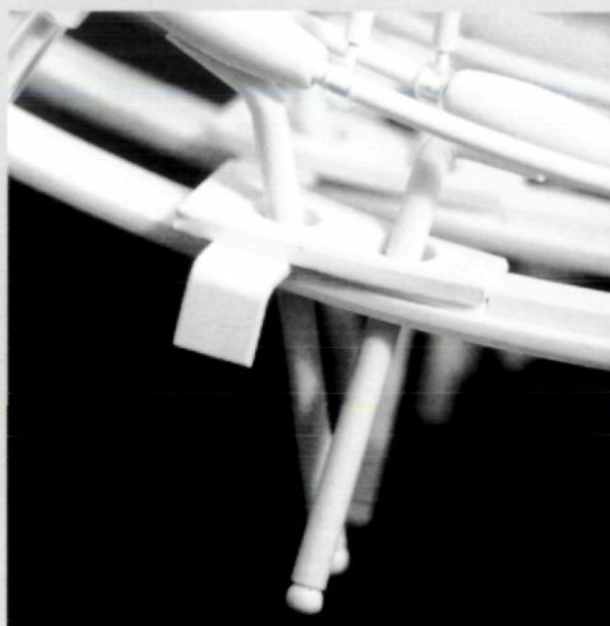
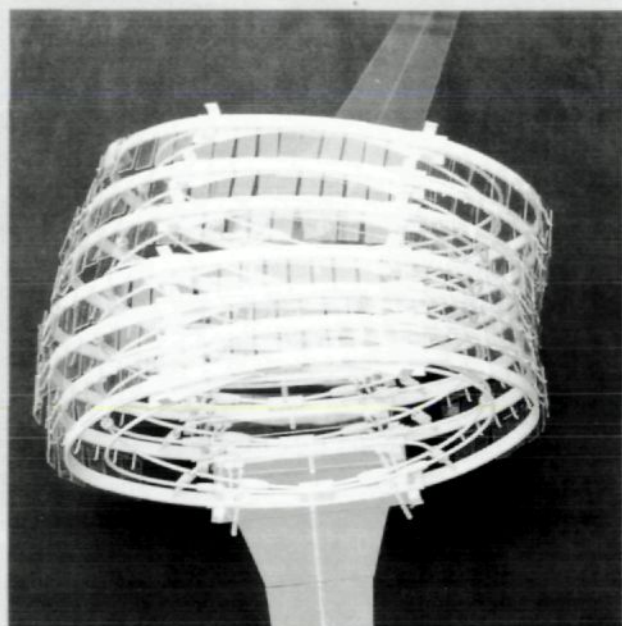
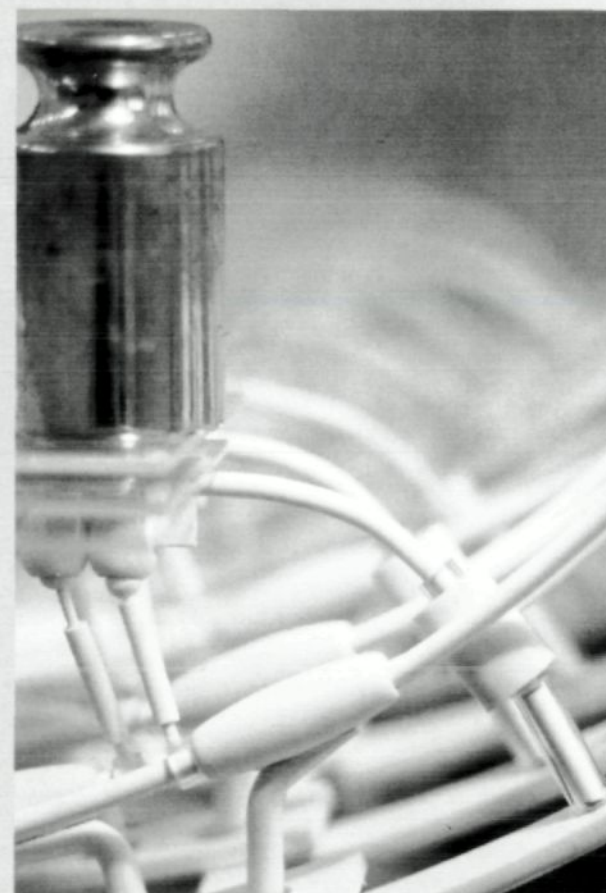
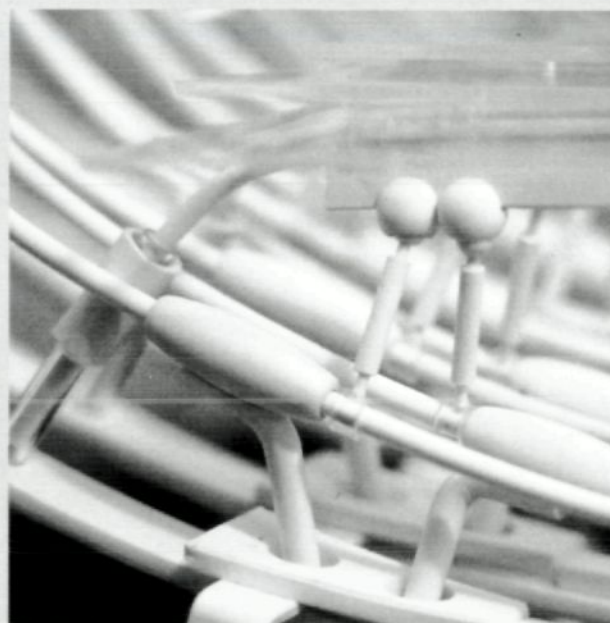
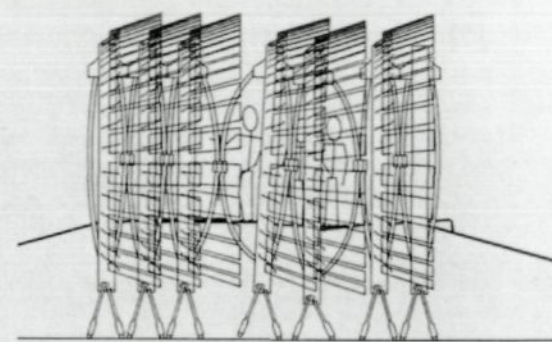
richten sich seitlich auf, die eingenommene Stellfläche wächst und damit auch die Standfestigkeit. Insgesamt wird sich die Tragstruktur bei höherer Belastung horizontal eher versteifen, bei geringerer Belastung eher flexibel verhalten.

Die Ausgangslänge des Pavillons wird voreingestellt durch eine Aufspreizung der Module mittels radialbeweglicher Spreiznocken auf den beiden Auslegern der Traversen. Die äußere Hülle des Pavillons bilden aneinandergereihte transparente Elemente, die auf einem Kranz von Traghaaren auf den äußeren Ringen befestigt sind.

Axel Ritter



Querschnitt, Grundriß, Längsschnitt und Ansicht des Pavillons



Links außen: Gesamtmodell. Die Detailaufnahmen zeigen die bewegliche Lastverteilungsplatte auf den Traversen, die Verbindungen der Traversen mit dem inneren und äußeren Ring und die Spreizerpaare.



## Smarte Membran

Smarte Materialien können auf äußere Einflüsse wie Elektrizität, Wärme, Bewegung durch Form- oder Farbveränderung reagieren. Trotz jahrzehntelanger Forschung ist man bisher über die Möglichkeiten smarter Materialien in Schaltern, Fieberthermometern und anderen Kontrollmechanismen nicht hinausgekommen. Gesucht wird ein technisches Material, das sich endlos oft verformen kann und in jeder neu angenommenen Form fest und stabil ist.

In dem hier vorgeschlagenen Textil wird bei ständiger Verformung eine stetige Stabilität durch ein kompliziertes Nadelwerk aus Carbon-Fieber-Stäbchen und straff gespannten Drähten gewährleistet. Beide zusammen bilden eine Tensegrity. Unter Anwendung von Muskeldrähten wurde ein architektonisches smartes Textil hergestellt, das auf Ereignisse im Raum wie Licht, Berührung, Geräusche reagieren kann. Muskeldrähte sind smarte Drähte aus Nitinol, die unter bestimmten Temperaturen (z.B. unter Elektri-

zitätszufuhr) radikal unterschiedliche Formen und Phasen annehmen können. Die Muskeldrähte sind an kritischen Stellen in der Tensegrity Struktur befestigt, wo eine minimale Materialveränderung (8% der Länge) eine Formveränderung der gesamten Membran einleitet.

Eingebaute Sensoren ermöglichen es, unterschiedliche äußere Einflüsse zu erkennen und eine sofortige, direkte Verbindung zu den internen Auslösern (den Muskeldrähten) herzustellen, die dann auf eine vorher festgelegte Weise reagieren. Dies geschieht durch Elektrizitätszufuhr auf den beiden Ebenen der Membran: Das Signal für die Bewegung der Auslöser ist in dem Stromkreis durch unterschiedliche Frequenzen encodiert. Die in den Carbon-Fieber-Stäbchen befindlichen Mikroprozessoren erkennen dies Signal und schalten den Strom

direkt auf die entsprechenden Muskeldrähte um, die sich daraufhin jeweils verkürzen oder verlängern.

Obwohl die Produktion eines solchen Textils heute noch teuer sein mag, zeigt dieses Projekt die theoretischen und praktischen Möglichkeiten einer semi-rigiden und formverändernden Membran in jedem denkbaren Maßstab. Sie ist ein Baustein für eine Architektur, die mitdenkt, reagiert und sich unterschiedlichen Gegebenheiten anpassen kann; vorstellbar ist etwa ein Dach, das sich, abhängig von den Ereignissen im Gebäude, verformt, oder schlagende Flügel, die einen Raum bei einer bestimmten Temperatur ventilieren.

Anja-Natalie Richter

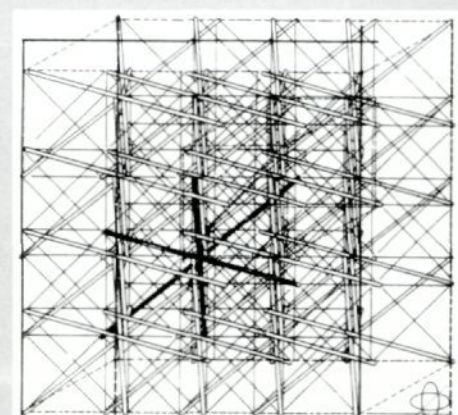
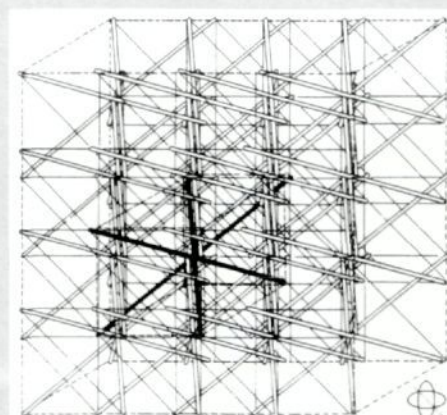
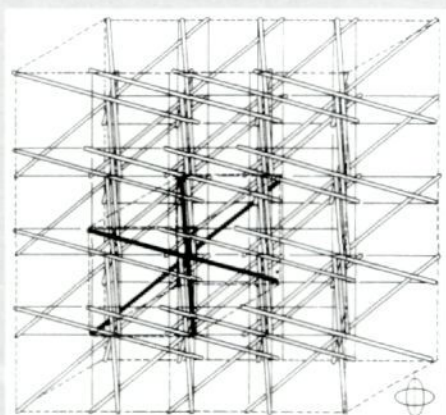
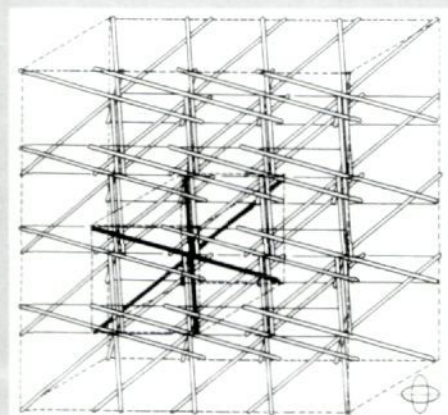
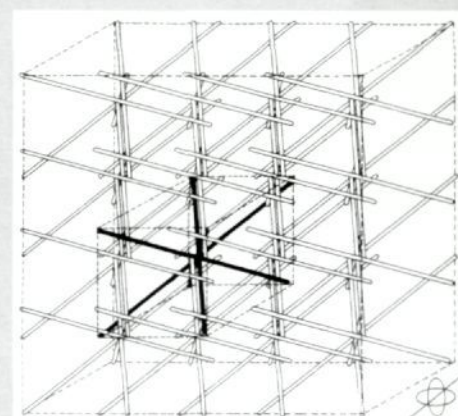
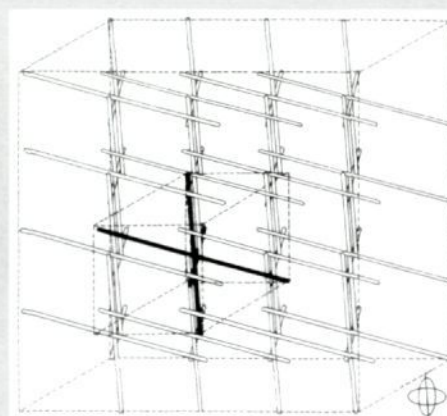
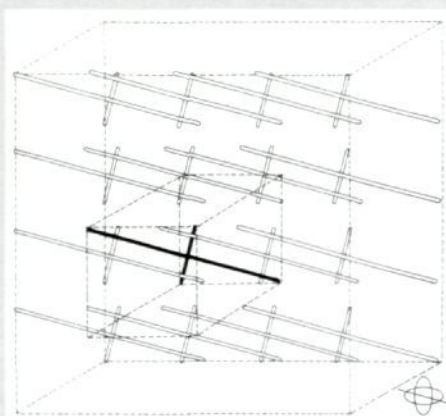
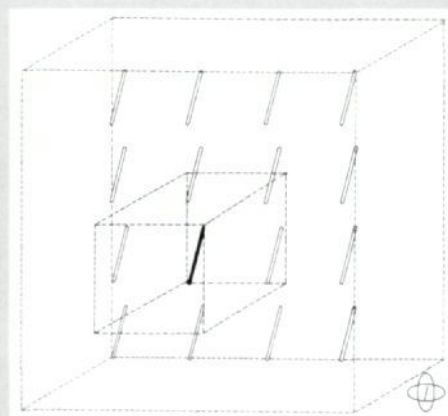
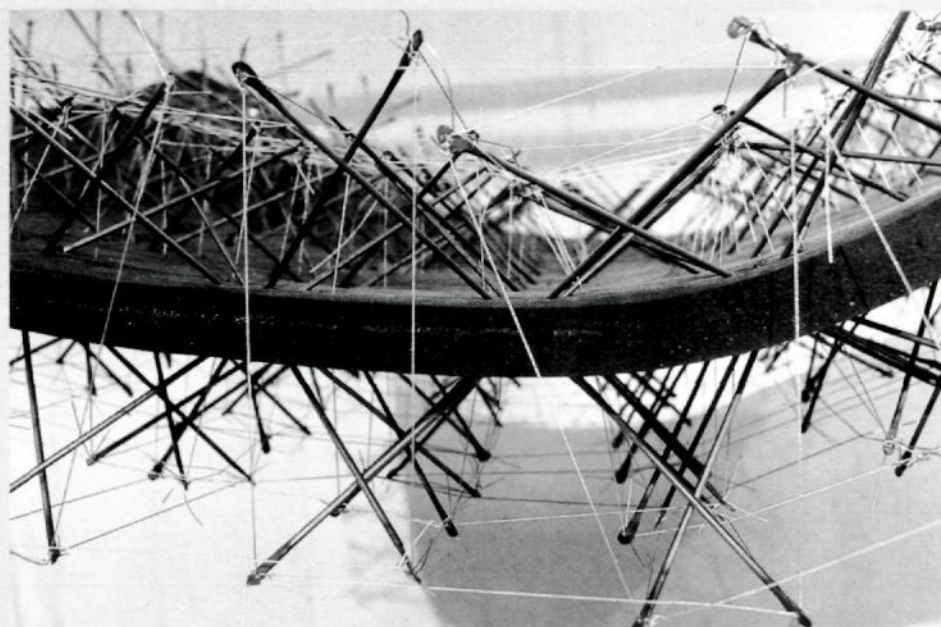
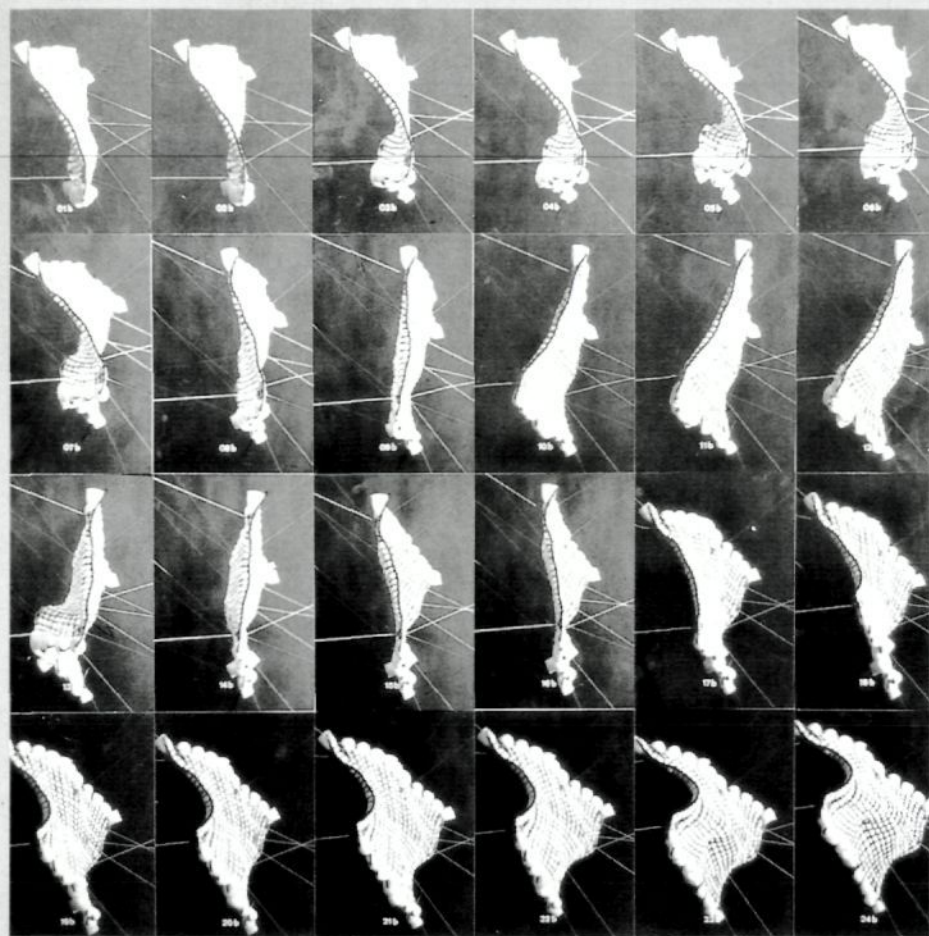


Foto oben: Bewegungsablauf einer möglichen Formveränderung der smarten Membran

Zusammensetzung der Tensegrity Struktur in eine Schaumstoffmembran, bestehend aus Carbon-Fieber-Stäbchen mit

Mikroprozessoren, Drähten, Muskeldrähten und elektrischen Drähten.

Foto oben: Gefrorener Moment einer potentiell aktiven Membran