

# Hochbautragstrukturen mit neuen Materialien: eine Herausforderung für Architekten und Ingenieure

Autor(en): **Keller, Thomas**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **118 (2000)**

Heft 26

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-79941>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Thomas Keller, Lausanne und Zürich

# Hochbautragstrukturen mit neuen Materialien

Eine Herausforderung für Architekten und Ingenieure

**Nach rund 100 Jahren stehen erstmals wieder vielversprechende neue Baumaterialien für Tragstrukturen zur Verfügung: Weiterentwicklungen auf zementöser Basis wie hochfeste, faser- und textilbewehrte Betons sowie Faserverbundmaterialien auf synthetischer Basis. Eingegangen wird auf allgemeine Beziehungen zwischen Strukturform und Materialeigenschaften sowie insbesondere auf glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK), die die Integration von statischen, dämmenden und versorgenden Funktionen ermöglichen. Auf die erste Anwendungsphase von GFK in den Fünfziger- und Sechzigerjahren wird zurückgeblendet – die Bauten jener Zeit werden im Hinblick auf künftig materialgerechte Anwendungsformen analysiert.**

Grundlegende Fortschritte im Bausektor waren bisher immer mit der Verwendung neuer Baumaterialien verbunden – bauhistorisch lässt sich dies lückenlos dokumentieren. Die Verwendung von Gusseisen im 18./19. Jh. sowie von Stahlbeton in der ersten Hälfte des 20. Jh. hat darüber hinaus zu allgemeinen gesellschaftlichen Entwicklungen wie beispielsweise der Industrialisierung oder dem raschen Wiederaufbau nach den beiden Weltkriegen massgeblich beigetragen.

## Neue Baumaterialien heute

In der Abfolge der Baumaterialien sind heute – rund 100 Jahre nach den ersten Anwendungen des Betons – erstmals wieder neue vielversprechende Materialien für Tragstrukturen auszumachen, die deshalb bereits auch vermehrte Anwendung finden: Weiterentwickelte Materialien auf

zementöser Basis wie hochfeste Betons, Faserbetons und textilbewehrte Betons sowie Faserverbundmaterialien auf synthetischer Basis. All diesen Materialien ist dabei gemeinsam, dass es sich um eigentliche Leichtbaumaterialien handelt und dass sie zumeist industriell verarbeitet werden.

Das Leichtbaupotential lässt sich anhand der so genannten Grenzlänge und des damit verbundenen Selbstauslastungsgrads verdeutlichen: Die Grenzlänge eines Materials bezeichnet anschaulicherweise diejenige Länge eines hängenden Drahts, bei der dieser unter Eigenlast reisst. In Bild 1 sind Grössenordnungen der Grenzlängen für die traditionellen Materialien Beton, Stahl und Holz sowie für die neuen Materialien hochfeste Betons und Faserverbunde auf synthetischer Basis aufgeführt. Für die vor allem druckfesten Materialien wurde dabei die Druckfestigkeit anstelle der Zugfestigkeit eingesetzt. Die Grenzlänge ist mit dem so genannten Selbstauslastungsgrad  $\omega$  verknüpft, der (in vereinfachter Weise) folgendermassen definiert ist [1] :

$$\omega = \frac{g}{g+q} = k \cdot \frac{1}{l_G} \quad (1)$$

- mit:
- g Eigenlast
  - q Nutzlast
  - l Spannweite der Struktur
  - $l_G$  Grenzlänge
  - k formabhängige Konstante

Aus (1) geht hervor, dass in den im Hochbau üblichen Spannweitenbereichen die Selbstauslastungsgrade dieser neuen Materialien aufgrund der grossen Grenzlängen (v.a. der synthetischen Faserverbunde) sehr klein werden. Die variablen Nutzlasten überwiegen demzufolge die Eigenlasten um ein Mehrfaches. Dies hat Kon-

sequenzen bei der Formgebung, auf die später eingegangen wird.

Aufgrund der durch die hohen Festigkeiten möglichen Reduktion der Bauteilabmessungen, des geringen Gewichts (Transport und Montage) sowie der gegebenen Verarbeitung im flüssigen Zustand, erfolgt die Bauteilproduktion – vor allem der faser- und textilbewehrten Materialien – zumeist industriell. Der im Baubereich erforderliche Übergang von der zeit- und kostenintensiven Nassbauweise an Ort zur industrialisierten Montage(leicht)bauweise wird durch die vermehrte Anwendung dieser Materialien begünstigt und beschleunigt. Die heute durch CAD/CIM-Unterstützung und Entwicklungen der Maschinenteknik grundsätzlich mögliche hochstehende industrialisierte Bauweise ist dabei nicht mehr zu vergleichen mit der erforderlichen Serienproduktion der 60er- und 70er-Jahre. Architektonische Ausdrucksform und Individualität werden praktisch nicht mehr eingeschränkt. Im Weiteren kann durch entsprechende Modularität auch neuen Ansprüchen wie vermehrter Flexibilität sowie Wandelbarkeit von Bauten besser Rechnung getragen werden. Durch die industrielle Produktion wird zudem die Qualitätssicherung wesentlich begünstigt.

## Fokus Faserverbundmaterialien

Im Folgenden soll aus zwei Gründen auf die Gruppe der synthetischen Faserverbunde fokussiert werden: Einerseits ist hier die Entwicklung am weitesten fortgeschritten – es werden bereits Hochbauten und Brücken aus diesen Materialien gebaut. Andererseits sind die Probleme, die sich bei der Entwicklung und Einführung neuer Materialien stellen – wie die Bautechnikgeschichte zeigt – immer ähnlich gelagert. Viele der folgenden Ausführungen lassen sich deshalb auch auf andere neue Materialien übertragen.

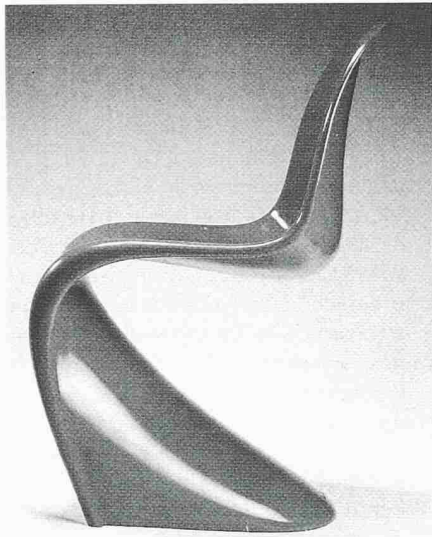
Im Baubereich sind für die Erstellung ganzer Bauten zurzeit – vornehmlich aus Kostengründen – nur glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) von Bedeutung, kohlenfaserverstärkte Kunststoffe (CFK) werden im Speziellen für Zugglieder (Verstärkungselemente und Spannkabel) eingesetzt. Die folgenden Ausführungen beschränken sich deshalb auf GFK. Als Baumaterialien für Hochbautragstrukturen zeichnen sich GFK im Wesentlichen durch folgende Eigenschaften aus:

- hohe Festigkeit bei geringer Eigenlast (grosse Grenzlängen)
- weitgehende Korrosionsbeständigkeit
- mögliche Strukturintegration

1  
Grenzlängen von Baumaterialien

Materialien	Beton	Baustahl	Holz	Hochfeste Betons	Faserverbunde
Grenzlängen	~1-2 km	~4-7 km	~15-20 km	~2-10 km	~20-200 km





2

Beispiel Strukturintegration: Panthon Chair aus GFK, 1960, (Quelle: Literaturverzeichnis [7])

- mögliche Funktionsintegration
- mögliche Farbwahl und Transparenz
- weitgehende Nachhaltigkeit.

Der erste Punkt wurde bereits erläutert. Die Korrosionsbeständigkeit erlaubt eine weitgehende Unterhaltsfreiheit. Schutzsysteme wie Anstriche (bei Stahl) oder chemische Behandlungen (bei Holz) sind grundsätzlich nicht erforderlich. Durch UV-Einwirkung kann jedoch - je nach Grundfarbe - eine mehr oder minder sichtbare gelbliche Verfärbung eintreten. Dabei handelt es sich «lediglich» um ein farbliches

Problem, das im Rahmen eines Farbkonzepts - wie bei anderen Materialien auch - durchaus als Patina akzeptiert werden kann. Die Materialeigenschaften werden dadurch nicht beeinträchtigt. Die Bauteile können zudem jederzeit problemlos mit einem Anstrich versehen werden.

Die durch die flexiblen Fasern und die Verarbeitung im flüssigen Zustand gegebene freie Formbarkeit ermöglicht eine weitgehende Strukturintegration: Strukturelemente wie Aussteifungen, Rippen, Anschlusselemente, aber auch Aussparungen können in ein Bauteil im gleichen Arbeitsgang fugenlos integriert werden. Die Anzahl Montageteile und -schritte wird dadurch markant reduziert. Basiselemente der Struktur bilden dabei Flächentragelemente, die - wo erforderlich - mit integrierten Rippen und Aussteifungen verstärkt sind (Bild 2).

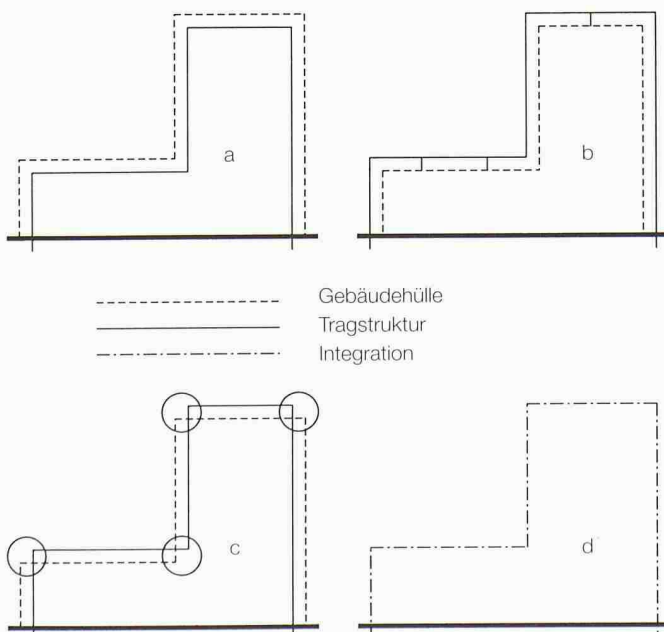
Das eigentliche Potential dieser Baumaterialien im Hochbau liegt jedoch in der möglichen Funktionsintegration: Im Gegensatz zu traditionellen Baumaterialien wie Stahl oder Beton bilden GFK aufgrund ihrer geringen Wärmeleitfähigkeit keine Wärmebrücken. Die Problematik der Wärmedämmung - erstmals aufgetreten nach der Energiekrise in den 70er-Jahren - hat zur Entwicklung von komplexen mehrschichtigen Fassadenkonstruktionen mit Trennung von dämmender Hülle und Tragstruktur geführt. Dabei hat sich die in Bild 3 gezeigte Konzeption a) des «Einpackens» der Tragstruktur durchgesetzt. Vom architektonischen Standpunkt aus gesehen werden dadurch wesentliche Erregenschaften - beispielsweise die archi-

tektonischen Ausdrucksweisen von Mies van der Rohe oder Le Corbusier - verunmöglicht. Die Verwendung der Tragstruktur als architektonisches Ausdrucksmittel führt unweigerlich zu Problemen: In der Konzeption b) erweist sich die erforderliche Aufhängung und damit Durchdringung der Hülle immer als problematisch. Die (schematisch dargestellte) Konzeption nach c) mit gegenseitigen Durchdringungen von Struktur und Hülle führt zu selten vermeidbaren Wärmebrücken.

Die Verwendung von GFK für Tragstrukturen erlaubt nun wieder Konzeptionen nach b) und c). Die Architektur gewinnt dadurch die verloren gegangenen Ausdrucksmittel wieder. Mehr noch erlaubt die Verwendung dieser Materialien Konzeptionen nach d) mit vollständiger Verschmelzung von Hülle und Struktur und entsprechend möglichem Übergang zu so genannten multifunktionalen einschichtigen Strukturhüllen. Durch die freie Formbarkeit können dabei in einzelne Strukturhüllen-(Sandwich-)Elemente statische, dämmende sowie versorgende Funktionen (Haustechnik) integriert werden. Die Anzahl der Bauteile wird dadurch über die Strukturintegration hinaus weiter markant reduziert, mit entsprechend positiven Konsequenzen für Montagezeit und Kosten. Der erhöhte Planungsaufwand fällt dabei kaum ins Gewicht. Weitere Elemente bilden die beinahe uneingeschränkte Farbwahl des Kunststoffes (Farbintegration) sowie je nach Fasergehalt die mögliche Transluzenz bis Transparenz (Lichtintegration). Bild 4 zeigt mögliche Elemente einer entsprechenden Ausdrucksform: Gliederung durch die Tragstruktur sowie Transluzenz.

Diese Konzeption der Funktionsintegration stellt für Architekten und Ingenieure eine Herausforderung dar. Deren konsequente Umsetzung führt mit Sicherheit zu einer veränderten Formsprache und eröffnet neue Ausdrucksmöglichkeiten. Die mögliche Integration von architektonischen und statischen Belangen stellt im Weiteren hohe Anforderungen an die Zusammenarbeit der beiden Planungspartner.

Die Verwendung von GFK für Tragstrukturen kann durchaus als nachhaltig und ökologisch vertretbar eingestuft werden. Hinsichtlich grauer Energie benötigen GFK zu ihrer Herstellung beispielsweise  $\frac{1}{4}$  der Energie von Stahl oder  $\frac{1}{3}$  der Energie von Aluminium. Glasfasern, hauptsächlich aus Quarzmehl und Kalkstein hergestellt, sind umweltfreundlich und unerschöpflich gewinnbar. Die Kunststoffmatrix muss differenziert betrachtet werden. Heute werden zumeist noch Polyester verwendet, Duroplaste, die



3

Konzeptionen Gebäudehülle - Tragstruktur:  
a) Tragstruktur eingehüllt, mehrschichtig,  
b) Tragstruktur sichtbar, mehrschichtig,  
c) mehrschichtig alternierend,  
d) einschichtige Strukturhülle



in Verbindung mit Glasfasern nur eingeschränkt rezyklierbar sind (Verarbeitung zu Granulat und Verwendung als Füllstoff, Downcycling). Die Entwicklung geht jedoch dahin, die Duroplaste durch aufschmelzbare Thermoplaste zu ersetzen, die ein vollständiges Recycling erlauben.

Die verwendeten Kunststoffe entstehen heute als Abfallprodukte der Erdölverarbeitung. Beim Einsatz für Tragstrukturen wird die dem Ausgangsmaterial innewohnende Energie jedoch während mehrerer Jahrzehnte, bei Recycling ohne weiteres über 100 Jahre gespeichert. Zudem sind die erforderlichen Mengen, selbst bei künftig ausgedehnter Anwendung, vergleichsweise unbedeutend. Die Verwendung von Kunststoffen für Tragstrukturen ist deshalb wohl die heute nachhaltigste Nutzung der fossilen Brennstoffe. Zudem kann grundsätzlich jederzeit auf andere organische Ausgangsmaterialien zurückgegriffen werden.

Vollständigkeitshalber noch einige Bemerkungen zum wichtigen Brandverhalten: Die an sich brennbaren Materialien sind heute feuerhemmend, selbstverlöschend und ohne toxische Rauchentwicklung erhältlich. Noch sehr wenige Kenntnisse liegen hinsichtlich Festigkeitsabfall vor. Verglichen beispielsweise mit Stahl beginnt dieser viel früher, bereits bei rund 100 °C (für Polyester). Aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit erfolgt die Erwärmung jedoch rund 200-mal langsamer. Bei guter Verankerung bleibt zudem die Tragfähigkeit des Glasfasernetzes erhalten.

### Formproblematik am Beispiel Eyecatcher

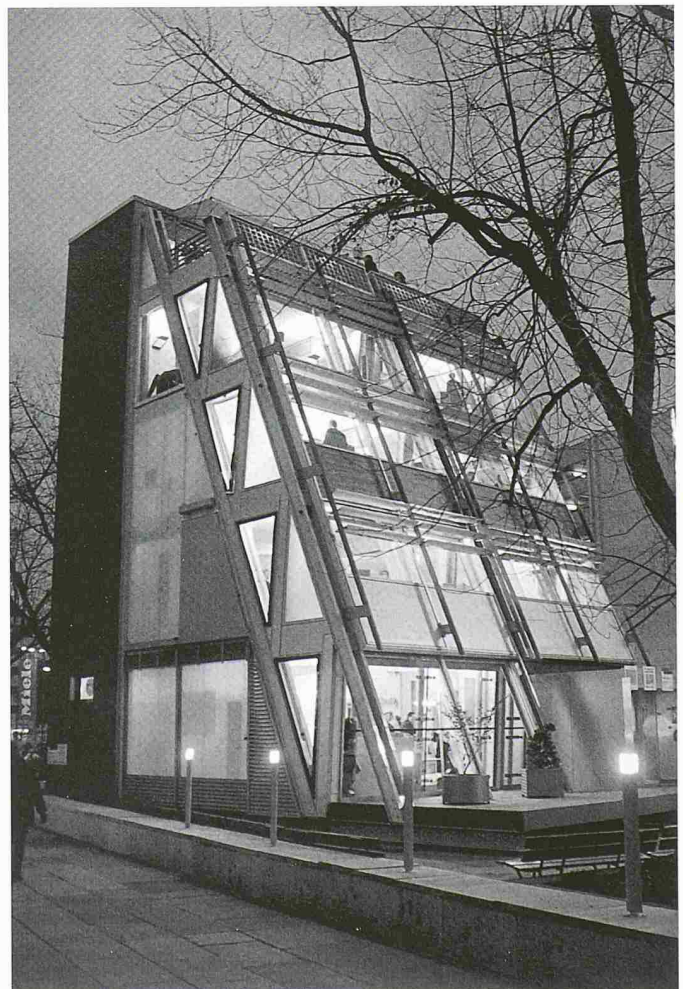
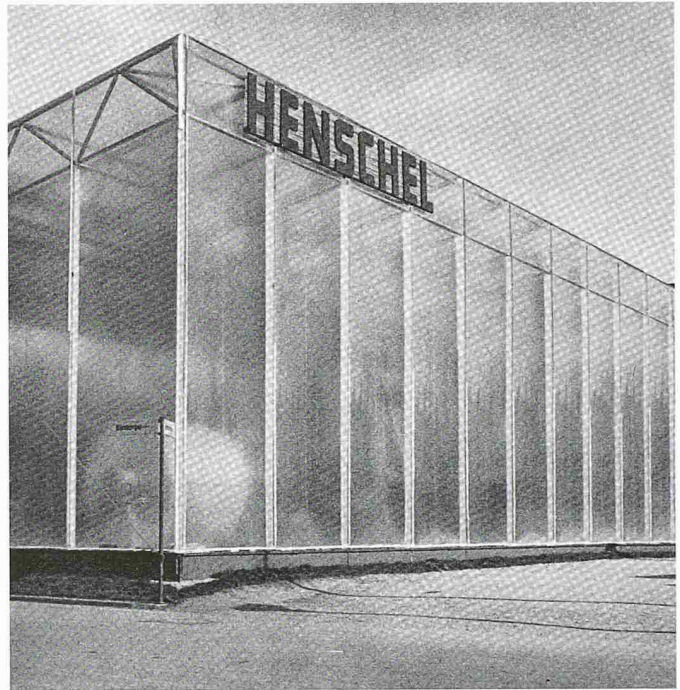
Wie bereits erwähnt werden heute erste Hochbauten und Brücken aus Faserverbundmaterialien erstellt. In der Schweiz sind dies die Fussgängerbrücke Pontresina [2] sowie das Eyecatcher-Gebäude Basel [3]. Letzteres wurde nach der Erstinutzung während der Swissbau 1999 abgebaut und am derzeitigen Standort (Basel-Dreisitz) wiedermontiert. Es stellt weltweit wohl den Stand der Technik dar, wurde international ausgezeichnet, und soll deshalb im Folgenden unter dem Gesichtspunkt der in der Konzeption d) geschilderten «Vision» eingeordnet werden. Das Eyecatcher-Gebäude zeichnet sich im Wesentlichen durch folgende Merkmale aus:

- Primärtragstruktur aus GFK-Profilen
- Kleben als Verbindungstechnik
- transluzente GFK-Sandwichfassaden
- demontierbares Gebäude
- industrialisierter Montagebau.

Die transluzenten GFK-Sandwichfassaden haben lediglich Dämmfunktion, sie wur-

4

Transluzenter Ausstellungsbau mit Kunststoffhülle, Hannover-Messe, 50er-Jahre, (Quelle: Schwabe A., Saechtling H.: Bauen mit Kunststoffen. Ullstein Fachverlag Berlin, 1959)



5

Eyecatcher Basel mit GFK-Tragstruktur, 1999





6

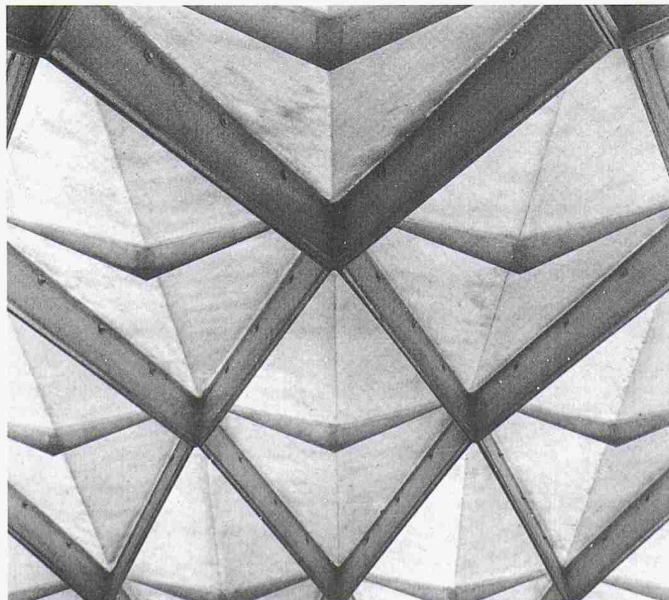
Mobile Fabrik zur Schwefelextraktion in Pomezia (Rom), Renzo Piano, 1966, (Quelle: Dini M.: Renzo Piano, Progetti e architetture 1964–1983. Electa-Verlag Milano, 1983)

den noch nicht in die Primärtragstruktur integriert. Letztere durchdringt mehrfach die Fassade, ohne allerdings – aufgrund der Verwendung von GFK – Wärmebrücken zu bilden. Das Gebäude ist demnach noch der Konzeption c) zuzuordnen, die mit einer Konzeption nach d) beschriebenen Möglichkeiten wurden erst teilweise ausgeschöpft.

Der Eyecatcher wurde aus den heute auf dem Markt erhältlichen GFK-Stan-

dardbauteilen – Profile und ebene Sandwiches – konzipiert. Die daraus entstehende Ambivalenz im visuellen Ausdruck ist klar wahrnehmbar (Bild 5). Die Formensprache entlehnt Ausdrücke sowohl des Stahlbaus (Profilformen) als auch des Holzbaus (Zangenbauweise) [3].

Die Tatsache, dass neue Materialien zuerst in traditionellen Formen verwendet werden (Phase der Materialsubstitution), stellt jedoch in der Bautechnikgeschichte



7

Detail zu Bild 6: Verstärkte transluzente Faltelemente aus GFK, (Quelle: wie Bild 6)

den Normalfall dar [4]. Eisen beispielsweise wurde zuerst in den charakteristischen Formen von Stein und Holz verwendet, bevor die so genannten materialgerechten Strukturformen der profilierten Fachwerk- und Rahmenbauweisen entwickelt wurden. Desgleichen beim Beton: Dieser wurde zuerst in der linearen Stahlbauweise verwendet, bevor die Flächentragwerke aufkamen und sich durchsetzten.

Als GFK-Bauelemente für Tragstrukturen werden heute vornehmlich Profile mit exakten Querschnittskopien von entsprechenden Stahlprofilen angeboten. Selbst die Verbindungstechnik – Schrauben – wurde bis anhin kopiert. Die vorzüglichen mechanischen Eigenschaften der im Gegensatz zu Stahl anisotropen Faserverbundmaterialien können dadurch nur ungenügend genutzt werden. Damit sich diese Materialien durchsetzen können, ist die Entwicklung von eigenständigen materialgerechten Strukturformen, Verbindungstechniken und Bauweisen unerlässlich [5]. Die beim Eyecatcher angewandten Klebeverbindungen stellen dabei einen wichtigen Schritt hin zu einer materialgerechten Verbindungstechnik dar.

### Formfindung – historische Entwicklung

Für die Entwicklung materialgerechter Strukturformen und Bauweisen bei der Einführung neuer Baumaterialien stellt der Prozess der Formfindung ein zentrales Element dar. Für das Vorgehen bei der Formfindung gibt es keine Patentrezepte – dennoch bestehen einige materialbedingte Zusammenhänge, die wegweisend sein können und auf die im Folgenden eingegangen werden soll.

Bei Faserverbundmaterialien kommt hinzu, dass insbesondere GFK von den späten 50er- bis Anfang 70er-Jahre bereits einen ersten Höhepunkt in der Anwendung – vor allem im Hochbau – erlebten. In der Phase des Wiederaufbaus nach dem Zweiten Weltkrieg galt es anfänglich, einerseits den Wohnraumangel möglichst rasch zu beheben, andererseits suchte die chemische Industrie neue Absatzgebiete. Wohnbauten aus GFK konnten dabei rasch und kostengünstig erstellt werden.

Im Hinblick auf künftige Anwendungsformen sollen im Folgenden einige typische Vertreter, ausgewählt aus über 200 Bauten und Projekten, betreffend Strukturform und -integration sowie Funktionsintegration untersucht werden:

Beginnend mit der Strukturform lassen sich (vereinfacht) drei typische Konzeptionen unterscheiden:



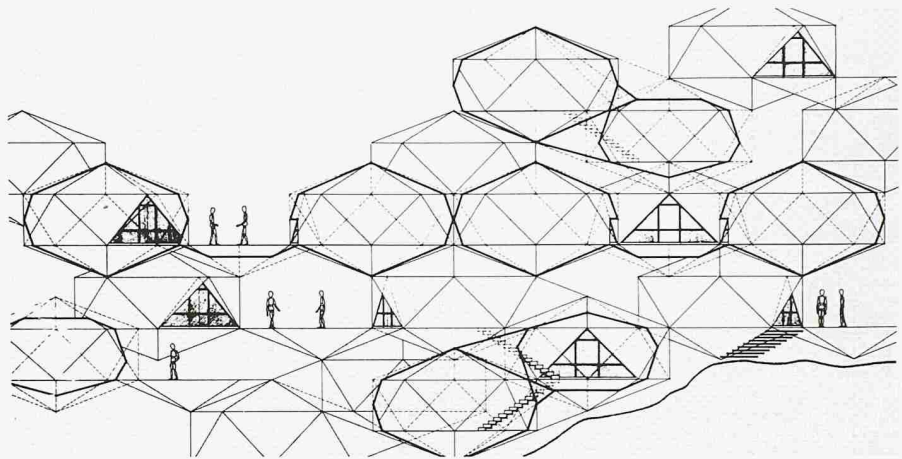
- modular aufgebaute und versteifte  
Faltwerke (typisches Beispiel in Bild 6  
und 7)
- selbsttragende Raumzellenpackungen  
auf Polyederbasis (Beispiel Bild 8)
- einfach und doppelt gekrümmte, modular  
aufgebaute Schalen, zumeist in  
Sandwichbauweise (Beispiele Bilder 9  
und 10).

Als Grundformen eingesetzt wurden somit durchwegs so genannt formaktive Flächentragwerke, deren Tragvermögen und Steifigkeit in der richtigen Formgebung und nicht im Biegeverhalten begründet liegen. Diese Grundformen können angesichts der Materialeigenschaften von GFK als optimal angepasst und somit materialgerecht bezeichnet werden: GFK weisen nebst der hohen Festigkeit relativ geringe Steifigkeitsmodule auf. Die Verwendung in Form von stabförmigen Biegeelementen beispielsweise ist deshalb ungünstig (und unwirtschaftlich). Die Herstellung von Flächentragelementen ist zudem – im Gegensatz zu Holz, einem natürlichen Faserverbundmaterial – trotz des anisotropen Materialcharakters in einfacher Weise möglich. Die Fasern können aufgrund des geringen Durchmessers in Bündeln textil zu flächigen Verstärkungselementen wie mehrschichtigen Geweben und Gelegen verarbeitet werden.

Die Grundformen sind im Weiteren durchwegs entweder mit integrierten Rippen oder durch Sandwichbauweise im Sinne der Strukturintegration versteift. Notwendig werden diese formbeeinflussenden Versteifungen aufgrund des niedrigen Selbstauslastungsgrades ( $\omega \approx 0,1-0,3$ ). Formaktive Strukturen verlangen grundsätzlich einen eher hohen Selbstauslastungsgrad ( $\omega > \sim 0,5$ ), da sie biegeweich und deshalb empfindlich auf wechselnde Lastkonfigurationen sind [5]. Um Leichtbaumaterialien dennoch formaktiv einsetzen zu können, ist demnach eine gewisse Mindestbiegesteifigkeit erforderlich.

Hinsichtlich globalem architektonischen Ausdruck sind nebst den gekrümmten oder gefalteten Grundformen auch die Rundungen im Detail charakteristisch (Bild 2). Faserumlenkungen benötigen einen minimalen Krümmungsradius, kantige Ecken sind nicht materialgerecht und deshalb zu vermeiden.

Für Wohnbauten (Bilder 9 und 10) wurde praktisch ausschliesslich die Sandwichbauweise verwendet. Dadurch erfolgte die Integration von statischen und dämmenden Funktionen. In Sanitärbereichen wurden zudem oft auch Leitungen in die Sandwiches integriert. Die Bauten wurden durchwegs modular konzipiert und auf industrielle Produktion ausgerichtet. Obwohl in der Konzeption aufwendig,



8

Raumstadt-Struktur auf Icosaederbasis, Erwin Mühlestein, 1969 (Projekt), (Quelle: Das andere neue Wohnen, neue Wohn(bau)formen. Ausstellungskatalog, Museum für Gestaltung Zürich, 1986/87)

stellt das am MIT und von Monsanto-Chemical entwickelte Monsanto-Haus wohl das ausgereifteste Haus dar. Sowohl Struktur- wie auch Funktionsintegration wurden verwirklicht. Trotz Ausrichtung auf industrielle Produktion weist das Haus eine grosse Variabilität in der Raumkonzeption auf (Bild 11).

Die Analyse der Bauten der ersten Anwendungsphase führt zusammenfassend zu folgenden (erstaunlichen) Schlüssen:

- die verwendeten Strukturformen waren materialgerecht
- Struktur- und Funktionsintegration wurden realisiert
- die Bauten wurden auf industrialisierte Herstellung ausgerichtet.

Sämtliche Aspekte der Konzeption d) wurden somit bereits damals verwirklicht. Die Frage stellt sich deshalb, warum die Entwicklung zu Beginn der 70er-Jahre abbrach. Insbesondere interessiert dann

auch, ob dieselben Gründe heute, nach der Wiederaufnahme der Entwicklung zu Beginn der 90er-Jahre, immer noch bestehen. Im Wesentlichen lassen sich folgende Gründe für den Abbruch eruieren:

- keine Unterstützung durch Architekten und Bauindustrie
- Fehlen der Phase der Materialsubstitution
- Mehrgeschossigkeit noch nicht möglich
- allgemein noch unausgereifte technische Entwicklung
- oft ungenügende Verarbeitungsqualität
- Energiekrise zu Beginn der 70er-Jahre.

Die Zeit der 60er-Jahre war die Zeit des Wirtschaftswunders, begleitet von einem neuen Wohlstand und einem damit verbundenen Streben nach Individualität. Das industriell gefertigte Serienhaus ver-



9

Feierbach-Haus fg2000 aus GFK, Albstadt, Hessen, 1968, (Quelle: Ludwig M.: Mobile Architektur. DVA Stuttgart, 1998)



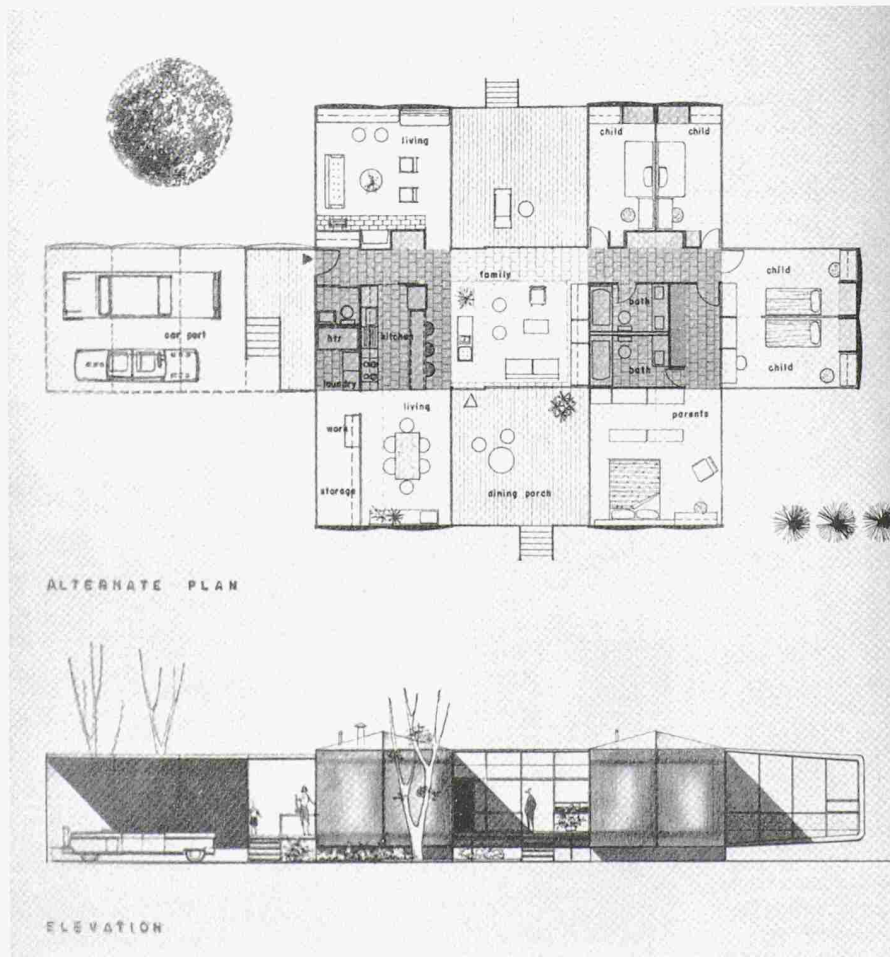


10

Monsanto-Haus aus GFK, Disneyland, Los Angeles, 1957, (Quelle: wie Bild 4)

11

Monsanto-Haus, alternative Raumkonzeption, (Quelle: wie Bild 4)



lor deshalb an Akzeptanz und wurde von den Architekten nicht mehr mit der notwendigen Ernsthaftigkeit weiter verfolgt. Die etablierte Bauindustrie hatte zudem aufgrund der guten Auftragslage keine Anreize zur Innovation. Die Entwicklung der Kunststoffhäuser wurde im Wesentlichen lediglich von der chemischen Industrie (Dynamit-Nobel, DuPont, Monsanto, usw.) unterstützt.

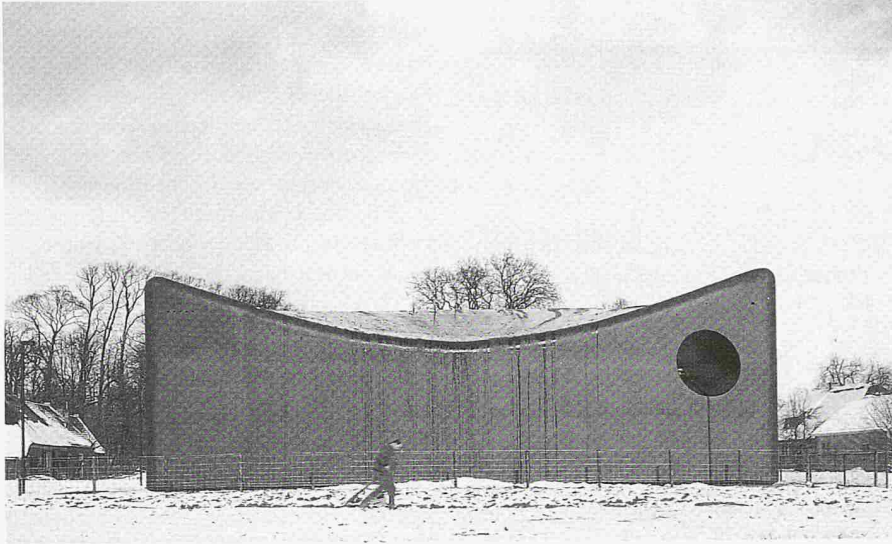
Die bereits erwähnte Phase der Materialsubstitution fehlte vollständig. Dem Zeitgeist entsprechend (Raumfahrt euphorie) und in Anlehnung an das Möbeldesign wurde eine neue, futuristisch anmutende Formensprache verwendet, die zwar - wie gezeigt - grundsätzlich materialgerecht und «richtig» war, die vor allem aber beim mit traditionellen Werten verbundenen Bautyp Einfamilienhaus schliesslich keine Akzeptanz fand. Obwohl die Phase der Materialsubstitution (wie wir sie heute durchlaufen) überwunden werden muss, ist sie doch unentbehrlich und erfüllt einen wichtigen Zweck: Sie schafft Vertrauen in die neuen Materialien sowie einen kontinuierlichen Übergang zu neuen Anwendungsformen und somit schliesslich die notwendige Akzeptanz.

Ein weiterer wesentlicher Mangel lag in der noch ungenügenden Materialqualität begründet: Mehrgeschossiges Bauen war noch nicht möglich. Die Anwendungen beschränkten sich auf eingeschossige Einfamilienhäuser sowie Dachkonstruktionen. Zudem waren die technische Entwicklung allgemein noch unausgereift und die Verarbeitungsqualität oft ungenügend. Aufgrund der Energiekrise Anfang der 70er-Jahre wurde die Entwicklung dann durch die erhöhten Rohstoffpreise endgültig gestoppt.

### Schlussfolgerungen und Ausblick

Überblickt man diese Gründe, die in den 70er-Jahren zum Abbruch der Entwicklung geführt haben, kann man feststellen, dass sie heute nicht mehr bestehen. Von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung wird sein, dass man die industriellen Produktionsmethoden konsequent weiterentwickelt, um den individuellen Ansprüchen genügen zu können. Heute durchlaufen wir die Phase der Materialsubstitution, die bereits viel Vertrauen geschaffen hat. Beispiele wie der fünfgeschossige Eyecatcher - das zurzeit mit rund 15 m weitaus höchste GFK-Gebäude weltweit - zeigen, dass die Materialien heute von hoher Qualität sind und den heutigen Standards genügen.

Entscheidend wird auch sein, ob Architekten und Ingenieure die nicht einfa-



12

WOS8 Wärmetauscherstation Utrecht mit Kunststoffhülle, NL Architects Amsterdam, 1998  
(Quelle: *Werk, Bauen+Wohnen*, Heft April 1999)

che Herausforderung annehmen werden (und können), um die Phase der Materialsubstitution zu überwinden und eine eigenständige Formensprache zu entwickeln, die auch eine entsprechende Akzeptanz findet. Die Formensprache wird sich dabei, materialbedingt, von der heute gewohnten eckigen und rechtwinkligen Ausdrucksweise unterscheiden. Sie wird runder und weicher wie beispielsweise in Bild 12.

An der Schwelle des Informationszeitalters stehend, mit noch nicht überblickbaren Auswirkungen der zunehmenden Komplexität und Schnelligkeit auf die Gesellschaft, werden auch die Anforderungen an die Bauindustrie enorm

wachsen. Es ist schwer denkbar, dass in 20 Jahren noch Bauten in Nassbauweise an Ort erstellt werden. Neue Materialien mit neuen Bauweisen, die schnellere, kostengünstigere und dennoch qualitativ hochstehende Anpassungen an sich rasch verändernde Umfelder erlauben, werden – wie dies bereits im Zeitalter der Industrialisierung der Fall war – hochwillkommen und vielleicht sogar ebenso entscheidend sein für den möglichen Fortschritt.

Adresse des Verfassers

Thomas Keller, dipl. Bauing. ETH, Prof. Dr. sc. techn., ETH Lausanne, Département d'architecture, CP 555, 1001 Lausanne, und WKP Bauingenieure AG, Verena-Conzett-Str. 7, 8004 Zürich

#### Literatur

- [1]  
Hugi H.: Einführung in die Statik der Tragkonstruktionen. Verlag vdf, Zürich, 1992
- [2]  
Keller Th., Künzle O., Wyss U.: Fussgängerbrücke Pontresina in GFK – Schweizer Premiere und Weltneuheit. Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 12, 1998, S. 8-11
- [3]  
Keller Th., Künzle O., Wyss U.: Eyecatcher – fünfgeschossiges Gebäude mit GFK-Tragstruktur. Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 17, 1999, S. 4-7
- [4]  
Keller Th.: Struktur und Form – Zur Entstehung materialgerechter Strukturformen. Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 12, 1998, S. 4-7
- [5]  
Keller Th.: Struktur und Form im Kontext der Materialisierung. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Dokumentation D 0160, Zürich 1999
- [6]  
Calzoni R., Harringer S.: Untersuchungen über die materialgerechte Strukturform von Faserverbundwerkstoffen. Diplomwahlfacharbeit, Architekturabteilung, ETH Zürich, 1998
- [7]  
Eberle M., Scherrer M.: Diplomwahlfacharbeit Baustuktur. Architekturabteilung, ETH Zürich, 1999