

Tragwerke aus Kunststoffen = Charpentes en matière plastique = Frames of plastic material

Autor(en): **Makowski, Z.S.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **23 (1969)**

Heft 6

PDF erstellt am: **17.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-333621>

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.

Tragwerke aus Kunststoffen

Structural Forms in Plastic

Charpentes en matière plastique

Frames of plastic material

In der Vergangenheit war der Gebrauch von Kunststoffen im Bauwesen auf nichttragende Teile beschränkt. Dieser Anwendungsbereich vergrößert sich laufend, zusätzlich wurden jedoch im letzten Jahrzehnt bedeutende Fortschritte in der Entwicklung semikonstruktiver und konstruktiver Anwendungen erzielt.

Kunststoffe sind eine neue Gruppe von Materialien und sollten daher nicht als Ersatz konventioneller Materialien behandelt werden. Als Ersatz für Stahl, Aluminium, Beton oder Holz verwandt, werden sich Kunststoffe als teuer erweisen. Werden sie jedoch auf intelligente Weise in Formen verwendet, die ihren Charakteristika entsprechen, vermögen ihre einzigartigen Eigenschaften, wie geringes Gewicht, hohe Festigkeit, Transparenz und Korrosionsbeständigkeit, zu wirksamen und ökonomischen Lösungen zu führen. Ihre Verwendung kann zu völlig neuen Produkten führen, deren Formen und Erscheinung merklich von denen verschieden sein können, die die Allgemeinheit heute bereits akzeptiert hat.

Ein am Entwurf von Konstruktionen aus Kunststoff interessierter Ingenieur muß sich immer wieder vor Augen führen, daß ein neuer Ansatz nötig ist, um die konstruktiven Möglichkeiten voll auszuschöpfen.

Eine große Vielfalt von Kunststoffen steht zur Verfügung, jedoch werden für normale Verwendungen üblicherweise Polyesterharze wegen ihrer mäßigen Kosten, ihrer guten Festigkeit, ihrer Zähigkeit und großen Oberflächenhärte gewählt. Verschiedene Arten von Bewehrungsmaterialien gestatten es, die mechanische Festigkeit der Kunststoffschichten zu erhöhen. Die bedeutendste und am häufigsten verwendete ist die Glasfaserarmierung. Ihr Anteil variiert bei konstruktiver Verwendung zwischen 20 und 60%.

Jedoch weisen die glasfaserarmierten Polyester-schichten einen E-Modul von $0,9-2,5 \times 10^6 \text{ lb/in}^2$ auf, ein sehr niedriger Wert, vergleicht man ihn mit dem von Metallen. Das erklärt, daß beim Design mit Kunststoffen der begrenzende Faktor eher die Steifigkeit als

die Zugfestigkeit ist. Der Mangel an Steifigkeit kann jedoch bis zu einem gewissen Grade durch entsprechende Formwahl wettgemacht werden. Flächentragwerke, wie Schalen und Faltwerke, demonstrieren überzeugend, daß ihre Tragkraft primär eine Funktion ihrer Geometrie oder der Konfiguration der miteinander verbundenen Elemente ist und nur in begrenztem Maße von den Eigenschaften des Materials, aus dem sie hergestellt sind, abhängt.

Das ist auch die Begründung, warum Ganz-Kunststoff-Konstruktionen – das kann als Regel angenommen werden – typische Beispiele für Bauten mit tragender Oberfläche darstellen, Bauten, in denen die Haut nicht nur den Raumabschluß bildet, sondern auch wesentlich zur Abführung der äußeren Lasten beiträgt.

Manche Architekten benützen auch den Vorteil der Halbdurchsichtigkeit, einer einzigartigen Eigenschaft, die es gestattet, in den Schalen lichtdurchlässige Bereiche anzuordnen.

Bild 1 zeigt ein typisches Beispiel dieser Tendenz. Es zeigt einen Markt in Fresnes in Frankreich, der mit vorgefertigten, glasfaserverstärkten Polyestereinheiten überdeckt ist. Gewisse Teile der Schirme sind durchscheinend und gestatten die natürliche Beleuchtung des Halleninneren. Im Vergleich zu konventionellen Materialien liegt die überragende Qualität der glasfaserverstärkten Kunststoffe (abgek. GFK) in ihrer Formbarkeit. Sie können ökonomisch in fast jede Form gebracht werden. In Zonen größerer Beanspruchung kann die Dicke der einlagigen Kunststoffteile leicht vergrößert werden. Wenn größere Starrheit gefordert ist, können Sandwichkonstruktionen angewandt werden, die zusätzlich die thermische Isolierung verbessern.

Bekannterweise können Schalen in bestimmte Gruppen eingeteilt werden, in synklastische, antiklastische und abwickelbare Flächen.

Die synklastischen Schalen sind Flächen positiver Gauß'scher Krümmung. Eine sphäri-



1
Überdeckung des Marktes in Fresnes.
Couverture du marché à Fresnes.
Roof of the market in Fresnes.

sche Kuppel ist ein typisches Beispiel. Die antiklastischen Schalen sind Flächen mit negativer Gauß'scher Krümmung. Sie werden oft als Sattelflächen bezeichnet. Die Krümmung in jedem Punkt der Fläche ist in einer Richtung positiv, in der anderen negativ. Ein hyperbolisches Paraboloid ist ein typisches Beispiel. Abwickelbare Flächen haben die Gauß'sche Krümmung 0. Die Krümmung in jedem Punkt dieser Fläche ist in allen Richtungen positiv, nur in einer Richtung ist sie gleich 0. Ein Tonnengewölbe ist eine typische abwickelbare Fläche, die in der Richtung ihrer Erzeugenden eine Krümmung mit dem Wert Null aufweist. Die abwickelbare Fläche kann in eine ebene Fläche abgewickelt werden, ohne daß Streckungen oder Schrumpfungen auftreten. Daher neigen einlagige, abwickelbare Flächen bei asymmetrischer Belastung leicht dazu, auszuweichen. Derartige Formen sind für die konstruktive Verwendung der Kunststoffe für weitgespannte, einlagige Systeme nicht geeignet.

Synklastische oder antiklastische Flächen können nur mit beträchtlichen Verformungen in ebene Flächen übergeführt werden. Sie besitzen einen beträchtlichen Widerstand gegen das Ausweichen und sind daher eine logische Folge der Suche nach den passenden Formen für Kunststoffkonstruktionen.

Die kritische oder Beul-Belastung einer Schale ist direkt proportional dem Elastizitätsmodul und dem Verhältnis der Quadrate von Schalendicke und Krümmungsradius. Darauf ist eindeutig die Überlegenheit dicker Sandwich-Systeme gegenüber dünnen einlagigen Systemen zurückzuführen.

Es ist theoretisch möglich, die Probleme der Belastung und Verformung dünner Schalen zu lösen. Eine derartige Analyse basiert jedoch auf der Annahme eines idealisierten Materials, das in bezug auf sein Verhalten nicht nur linear elastisch, sondern auch isotrop und homogen ist.

Armierte Kunststoffe sind weit davon entfernt, diesen Bedingungen zu genügen. Der Konstrukteur sollte die Grenzen seines Materials kennen und nicht zögern, für die Berechnung bestimmte Vereinfachungen zu verwenden. Erfahrung und Tests werden die relative Unwichtigkeit bestimmter Ausdrücke in der exakten mathematischen Formulierung der Theorie beweisen.

Im gegenwärtigen Stand der Entwicklung von Berechnungsmethoden für Kunststoffkonstruktionen ist es üblich, sich auf den Membranzustand zu beziehen. Praktische Tests an Prototypen weisen auf, daß die Membrantheorie bei synklastischen und antiklastischen Systemen dem Konstrukteur verlässliche Näherungswerte für die Kräfteverteilung gibt. Die antiklastischen Flächen weisen einen weit größeren Beulwiderstand auf als die synklastischen Systeme. Zweifellos liegt dem zunehmenden Interesse der Konstrukteure an hyperbolischen Paraboloiden aus Kunststoff die Erkenntnis dieser Charakteristik zugrunde.

Hyperbolische Paraboloiden können sehr einfach aus Kunststoff hergestellt werden. Diese Konstruktionen besitzen trotz des niederen E-Moduls der Kunststoffe eine beträchtliche Beulfestigkeit.

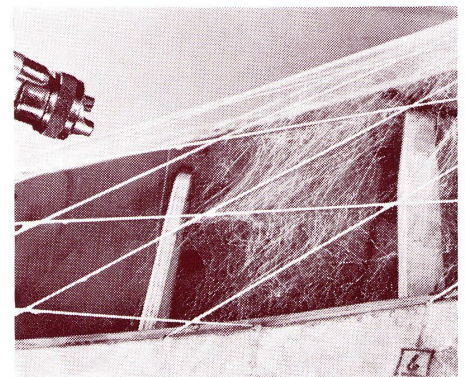
Bild 2 zeigt ein dünnes, einschichtiges GFK HP während der Herstellung über einer gedehnten Membran. Sie ist eine von mehreren HPs, die in letzter Zeit in Italien von Mario Scheichenbauer hergestellt wurden.

Erwähnt sei ein Beispiel von HP-Formen, die als Sandwich ausgeführt sind. Sie überdecken



2

2 Herstellung einer HP-Schale aus glasfaserverstärktem Kunststoff auf einer gedehnten Membran / Fabrication d'une coque HP en plastique stratifié aux fibres de verre sur une membrane étendue / Fabrication of an HP shell of glass-reinforced plastic on a tensed membrane



3 Herstellung von Gußformen / Technique de pulvérisation «Cocooning» de John Zerning pour la fabrication de moules / Cocooning-spray process by John Zerning for the production of cast shapes

4 Kombinationsmöglichkeiten eines HP-Schalentyps von John Zerning / Possibilités de combinaison d'un type de coque HP de John Zerning / Combination potentialities of an HP shell type by John Zerning

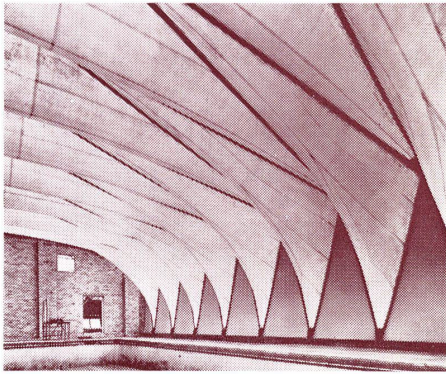
3



4



5



6

5 Markt in Argenteuil bei Paris von S. DuChateau.
Marché à Argenteuil près de Paris, de S. DuChateau.
Market in Argenteuil near Paris S. DuChateau.

6, 7 Schwimmbadüberdachung in Lincoln, England, Architekt John West.

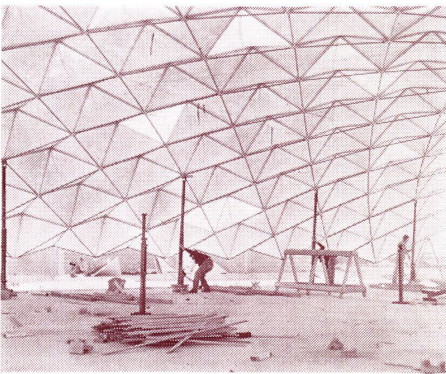
Toit de la piscine à Lincoln, Angleterre, architecte John West.

Swimming-pool roof in Lincoln, England, architect John West.

8 Aufbau eines räumlichen Tragwerkes mit belasteten Flächen in Texas / Construction d'un appareil porteur spatial aux surfaces chargées, à Texas / Construction of a spatial supporting frame with loaded surfaces, in Texas



7



8

Tankstellen der Imperial Oil Comp. in Toronto, Windsor, Hull und Quebec in Kanada. Jedes Element, sechseckig mit ca. 9 m Durchmesser, ist aus sechs gleichen, selbsttragenden Komponenten zusammengesetzt, die untereinander verbunden und über Zugglieder mit dem zentralen, stützenden Mast verbunden sind.

Bekannterweise können hyperbolische Paraboloid mit einem Netz von Geraden erzeugt werden. Die von John Zerning, einem in der Forschung an der »Structural Plastics Research Unit« der University of Surrey tätigen Studenten, entwickelte Herstellungstechnik gestattet den ökonomischen Bau von Formen für komplizierte hyperbolische Paraboloid. Dazu wird ein sprühfähiger, schnell trocknender Vinyl-Latex-Kunststoff verwendet, der die einmalige Eigenschaft hat, bis zu 75 cm große Lücken zu überbrücken, so daß er auf ein Netz aus Drähten gesprüht werden kann.

Nach Abschluß des Sprühvorganges überzieht eine nahtlose lederartige Haut den besprühten Bereich (Bild 3). Während des Trocknens schrumpft der Kunststoff und bildet eine vorgespannte Membran, die einer Minimal-Fläche entspricht. Mit dieser Technik ist es möglich, schnell und ökonomisch Formen mit jeder beliebigen antiklastischen Oberfläche herzustellen, auf denen GFK-Schalen produziert werden können.

Zahllose Modelle und Prototypen von hyperbolischen Paraboloiden wurden mit dieser »Kokoon«-Technik von Zerning an der University of Surrey hergestellt.

Durch die unterschiedlichen Kombinationen einer Basis-Einheit können zahllose interessante HP-Konstruktionen erzeugt werden. Bild 4 zeigt eine von vielen Formen, die von Zerning untersucht wurden. Darunter sind drei mögliche Anordnungen kreisförmiger Kuppeln mit oder ohne Mittelstütze und eine einem Tonnengewölbe ähnliche Struktur über rechteckiger Grundfläche. Alle Formen entstanden durch die Kombination identischer hyperbolischer Paraboloid.

Obwohl die bisherigen Entwicklungen überzeugend bewiesen, daß der Entwurf und die Herstellung großer Konstruktionen allein aus GFK möglich ist, konnten diese GFK-Konstruktionen trotz ihrer Vorzüge auf der Kostenebene nicht mit traditionellen Techniken konkurrieren.

Doch verändert sich diese Situation rapide. Derzeit scheint der Durchbruch erreicht zu sein.

Bild 5 zeigt eine aus vorgefertigten hyperbolischen Paraboloiden aus glasfaserverstärktem Kunststoff gebaute Kuppel über dem Markt von Argenteuil in Paris.

Die Kosten dieser »Ganzkunststoff«-Konstruktion, die von S. Du Chateau entworfen wurde, lagen unter denen einer vergleichbaren Betonschale.

Im letzten Jahr wurden drei Kuppeln dieser Art mit Spannweiten zwischen 18 und 30 m gebaut.

Ein weiteres überzeugendes Beispiel ist die kürzlich erstellte Überdeckung einer Schwimmhalle in Lincoln. Die hyperbolischen Paraboloid aus GFK sind untereinander und mit den Betonfundamenten verschraubt und überdecken eine Fläche von ca. 30 x 15 m. Die gesamte Konstruktion wurde in nur vier Tagen aufgestellt, bei Kosten, die dem Vernehmen nach 25% unter denen der Alternativen lagen. Die HP-Einheiten bestehen aus einer ca. 2,5 mm dicken Schicht aus Crystic-384-Polyester-Harz, die mit zwei Lagen Fieberglasgewebe verstärkt ist. Sie sind hellblau

gefärbt, um die Reflektion der Wasserfläche zu verringern.

Die Konstruktion wurde von John West entworfen. Die Einheiten aus GFK sind wetterfest und benötigen wenig Wartung. Sie sind ebenfalls resistent gegenüber der chlorigen Luft im Inneren der geheizten Halle. Die Abbildungen 6-7 zeigen das Innere und das Äußere der fertigen Halle.

Ebenso erwähnenswert sind die Entwicklungen auf dem Gebiet membranbedeckter, räumlicher Gittertragwerke, die durch dreidimensionale, modulare GFK-Elemente erzeugt werden, die miteinander verbunden sind und durch ein Gitter aus Aluminium oder Stahlgliedern versteift werden.

Dabei gibt es zahllose, von der Form der Kunststoffelemente abhängige Kombinationen.

Die in den Abbildungen 9-12 gezeigten Formen wurden in der »Plastic Research Unit« der University of Surrey untersucht. Ein typisches Beispiel einer derartigen Konstruktion wurde in Texas von der Structural Plastics Ltd. errichtet. Bild 8 zeigt den Aufbau.

Die zugrunde liegenden Einheiten sind einschichtige, ca. 1,20 x 1,20 m große hyperbolische Paraboloid aus GFK, die jeweils einen Hochpunkt, ein Tal und den nächsten Hochpunkt umfassen.

Die Kanten der Elemente schieben sich aneinander und bilden auf der Innenseite einen Flansch. Benachbarte Elemente werden durch einen gefalteten Aluminiumstreifen entlang der Kante verbunden. Die vier Elemente, die sich in den Hochpunkten treffen, werden durch vorgefertigte flache Metallkreuze verbunden, die außerdem als Verbindung für vier röhrenförmige Streben dienen, die das außenliegende, diagonal angeordnete Gitter bilden, das die gesamte Konstruktion versteift.

In den letzten fünf Jahren wurde an der University of Surrey besonders die Erforschung der Möglichkeiten gefördert, die die Anwendung von Kunststoffen bei Dachkonstruktionen mit tragenden pyramidenförmigen Elementen bietet. Diese Systeme bilden eine Erweiterung und Verbesserung der gebräuchlicheren zweischichtigen, räumlichen Tragwerke.

Räumliche Tragwerke mit belasteten Flächen bestehen aus einer großen Zahl vorgefertigter, dreidimensionaler Einheiten mit dünnen Wänden, die regulär angeordnet und entlang von sich berührenden Kanten verbunden werden.

Der Vorteil räumlicher Tragwerke mit belasteten Flächen gegenüber aus Stäben bestehenden räumlichen Tragwerken entsteht aus der Tatsache, daß die Flächen der ersten als Dacheindeckung und als tragende Elemente wirken, während sämtliche Tragwerke aus Stäben eine zusätzliche Dacheindeckung benötigen, die die Steifheit des Systems nicht unterstützt. Es wurde nachgewiesen, daß in den Stabrosten die Tragfähigkeit durch die Knickung der Druckglieder begrenzt wurde. Im Falle der räumlichen Tragwerke mit belasteten Flächen werden die druckbeanspruchten Seitenflächen durch die angrenzenden Flächen versteift, die die Tendenz des Ausbeulens verhindern und die Tragfähigkeit des gesamten Systems beträchtlich erhöhen. Die Spannungsverteilung in den räumlichen Tragwerken entspricht dem Membrantyp, dem Biegespannungen fehlen. Derartige Tragsysteme können aus Aluminium, Stahl, Sperrholz und Kunststoff hergestellt werden.

Die Versuche, die vom Autor und seinen Kollegen, unter ihnen D. Robak und R. Gilkie, durchgeführt wurden, zeigten, daß Dachtragwerke aus pyramidenförmigen Kunststoffelementen nicht nur möglich, sondern in vielen Fällen sehr ökonomische Lösungen sind. Räumliche Tragwerke mit belasteten Flächen erlauben eine außerordentliche Vielzahl von Anordnungen, die vom architektonischen Blickpunkt aus reizvoll und interessant sind. Die Abbildungen 13–15 zeigen einige mögliche Anordnungen mit vorgefertigten pyramidenförmigen Elementen aus glasfaserverstärktem Kunststoff. Diese Elemente können als Mittel betrachtet werden, die den Abstand zweier Roste erhalten. Die erste Art der Anwendung besteht darin, Pyramiden zwischen zwei kontinuierlichen Membranen zu befestigen, die Pyramiden wirken dann als Mittelschicht einer Sandwichkonstruktion.

Bei der zweiten Alternative ersetzen die Pyramiden die Stäbe zwischen zwei Stabrosten. Die Hochpunkte der Pyramiden sind dabei durch Stäbe verbunden, die einen Rost bilden.

Umfangreiche Versuche wurden mit kleinmaßstäblichen Modellen wie mit 1:1-Einheiten durchgeführt.

Abb. 16 zeigt eine derartige kommerziell verwertete, von Renzo Piani errichtete Konstruktion.

Abb. 17 zeigt eine ähnliche in Arnheim errichtete Konstruktion. Die pyramidenförmigen Elemente können auf dreieckigen, quadratischen, rechteckigen oder hexagonalen Formen entwickelt werden. R. C. Gilkie, ein anderer am »Structural Plastic Research Unit« der University of Surrey in der Forschung tätiger Student, führte umfangreiche Versuche mit Pyramidenstrukturen mit hexagonalen Grundribelementen durch.

Abb. 18 zeigt eine Versuchsanordnung in natürlicher Größe. Mit diesem Konzept werden in England mehrere Konstruktionen verwirklicht, eine davon (Abb. 19) überdeckt ein Schwimmbecken in Mill Hill in der Nähe Londons.

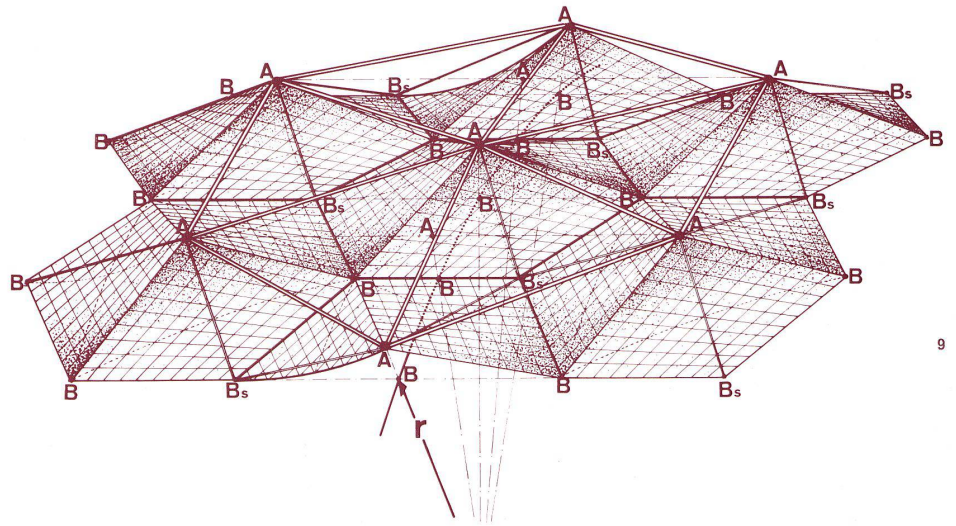
Die miteinander verbundenen Elemente bilden ein ca. 15 m langes und 7,5 m breites Tonnengewölbe, das 80% Lichtdurchlässigkeit aufweist. Die Kunststoffelemente sind an Flanschen miteinander verschraubt und sind einem dreiläufigen Rost aus leichten Aluminiumrohren einbeschrieben. Die gesamte Konstruktion einschließlich der Aluminiumrohre und der Kunststoffelemente wiegt etwa 5,5 kg/m² Fläche.

Da die an der University of Surrey durchgeführten Versuche mit Konstruktionen aus gefalteten Flächen Anerkennung fanden, wurde eine mathematische Methode der Berechnung entwickelt.

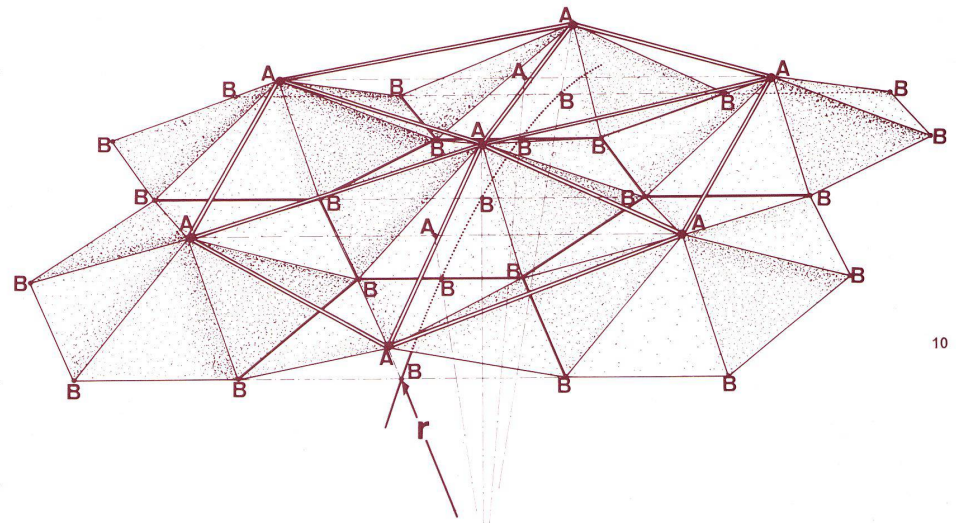
Die Details zu diesem Ansatz sind in einem speziellen Artikel zur Berechnung gefalteter Flächentragwerke aus Kunststoff dargestellt. Um die Gültigkeit des mathematischen Ansatzes zu überprüfen, wurde ein Prototyp in natürlicher Größe gebaut und von B. S. Benjamin, einem ebenfalls in der Forschung tätigen Studenten der University of Surrey, getestet (Abb. 20).

Es ist ermutigend, festzustellen, daß bald nach Abschluß dieser Forschungsarbeiten im Jahre 1965 mehrere große, im Typ gleiche Kunststoffkonstruktionen von Renzo Piani in Italien erstellt wurden (Abb. 21–23).

Den aufsehenerregendsten Gebrauch von Kunststoffen als tragendes Material zeigten die Radomes (wetterfeste Umhüllung von Radargeräten). Ihre Durchmesser sind teil-



9



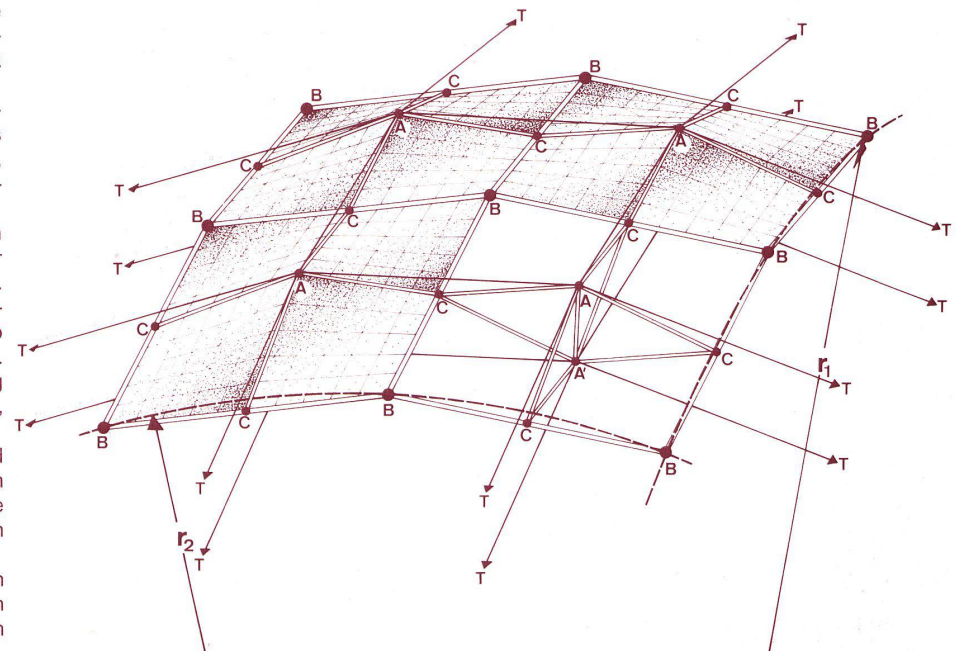
10

9, 10, 11, 12

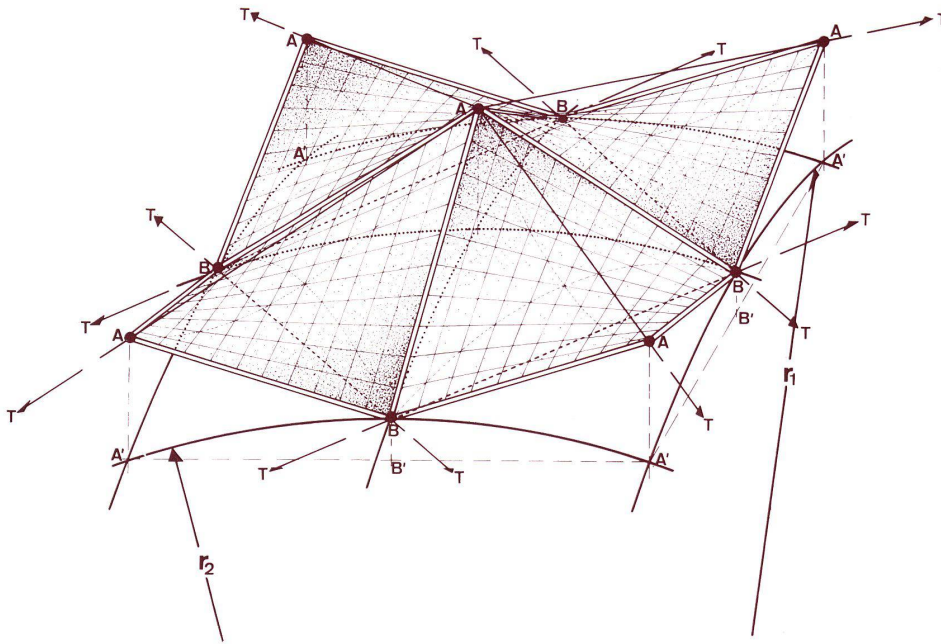
Beispiele für die Kombination von Stab- und Flächentragwerken, die an der Structural Plastics Research Unit der University of Surrey entwickelt wurden.

Exemples de la combinaison de charpentes en surfaces porteuses et de charpentes à barres qui ont été développées au Structural Plastics Research Unit de l'université de Surrey.

Examples of the combination of rod and panel frameworks, developed at the Structural Plastics Research Unit of the University of Surrey.



11



weise beträchtlich, so weisen die Kuppeln in Fylingdales Moor in Yorkshire einen Durchmesser von ca. 42 m auf.

Bei der Herstellung von Kunststoffkuppeln sind mehrere Techniken verbreitet. Sie werden entweder einschichtig mit Glasfaserarmierung oder aus Elementen aus tragenden Kunststoffen oder aus Honigwaben-Sandwich-Elementen hergestellt.

Abb. 24 zeigt eine Kunststoffkuppel, die mit Hilfe eines als Form dienenden Ballons in Deutschland hergestellt wurde. Die Membran wurde von innen mit einem Kunststoff bespritzt, der eine steife, wetterfeste, isolierende, sandwichartige Schale erzeugt. Zuerst wurde eine dünne Schicht mit kleingehacktem Glasfasergewebe aufgespritzt, darauf folgte eine dickere Schicht Perlite als Mittelzone des Sandwiches, die schließlich von einer dünnen Schicht glasfaserverstärkten Polyesters abgeschlossen wird. Nachdem das Harz abgebunden hat, wird der Druck im Innern auf den Außendruck verringert und die Öffnung an der gewünschten Stelle eingeschnitten.

Dieses Verfahren wird nun, leicht modifiziert, zur kommerziellen Produktion steifer Schalen beträchtlicher Spannweite verwendet.

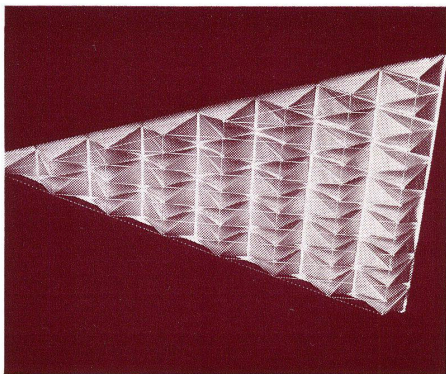
Jede Konstruktionsart weist praktische und ökonomische Begrenzungen ihrer Spannweiten auf. Felix Candela gab die Grenzen von Stahlbetonschalen mit ca. 30 m Spannweite an.

Wegen der außerordentlichen Leichtigkeit des Materials können einschichtige, membranartige Konstruktionen des antiklastischen Formtyps aus glasfaserverstärktem Kunststoff ohne Schwierigkeiten Spannweiten von 25 bis 30 Metern erreichen. Sandwichkonstruktionen können – abhängig von ihrer Dicke – ökonomische Spannweiten bis zu 60 Metern überdecken.

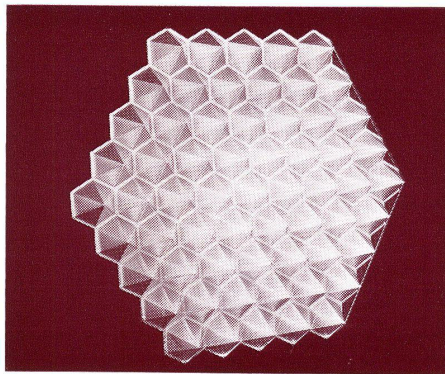
Aufgrund theoretischer Überlegungen können cellulare, zweischichtige Kunststoffstrukturen bei Verwendung des derzeit gebräuchlichen Materials Spannweiten bis zu 90 Metern ohne Schwierigkeiten überwinden.

Die Zahl großer Kunststoffkonstruktionen nimmt ständig zu, verlässliche Informationen über ihre Qualitäten liegen vor, und die Konstrukteure nähern sich schrittweise der Beherrschung von Berechnung, Entwurf und Konstruktion.

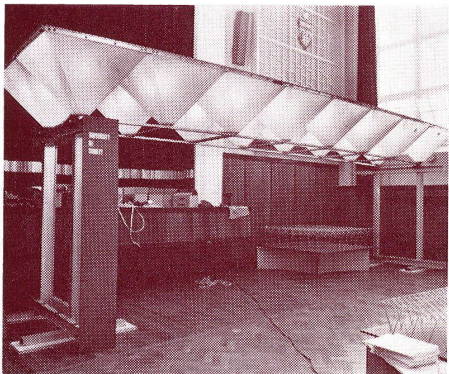
Der Autor ist davon überzeugt, daß in naher Zukunft glasfaserverstärkte Kunststoffe als Baumaterialien weitgehend anerkannt werden. Den Beginn dieses Prozesses erleben wir bereits mit.



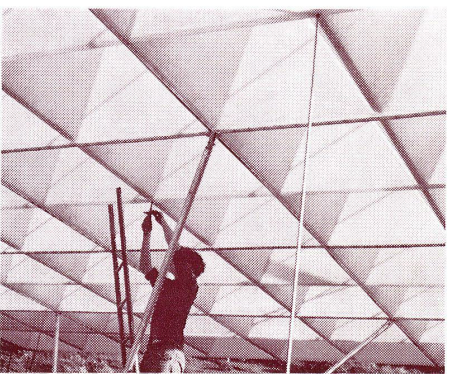
13



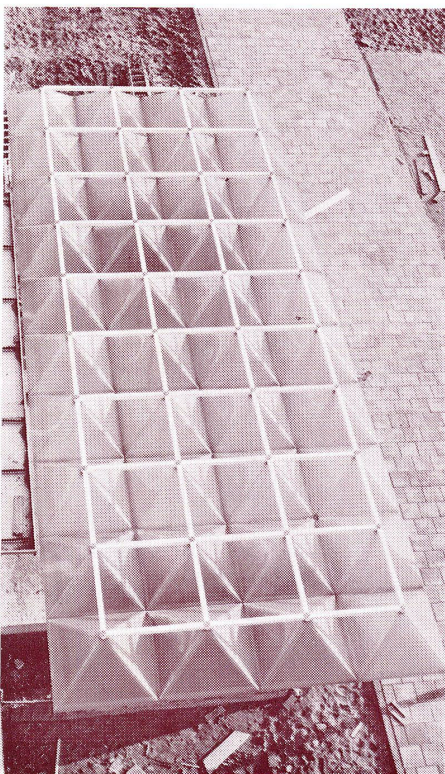
14



15



16



17

13–15 Beispiele von räumlichen Tragwerken mit belasteten Flächen, die an der University von Surrey entwickelt wurden.

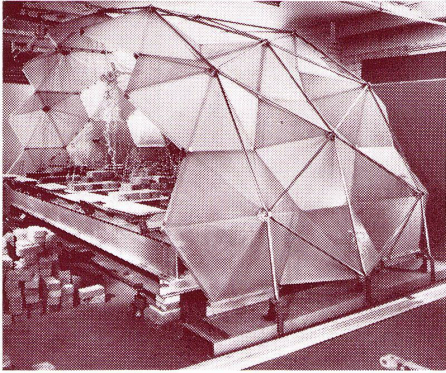
Exemples de charpentes spatiales aux surfaces chargées développées à l'université de Surrey.

Examples of spatial carrying frameworks with loaded surface, developed at the University of Surrey.

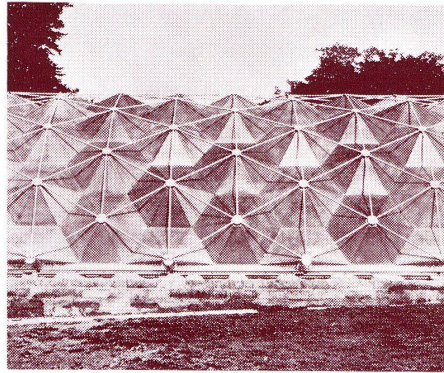
16 Beispiel eines räumlichen Tragwerks mit belasteten Flächen.

Exemple de charpente spatiale aux surfaces chargées. Example of spatial carrying framework with loaded surfaces.

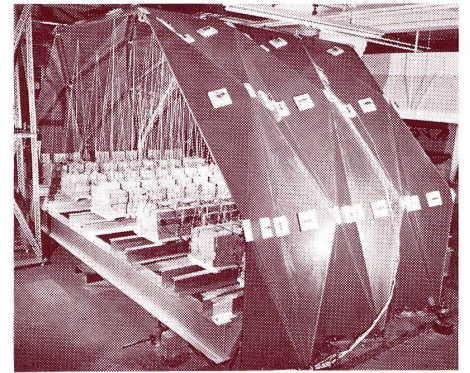
17 Schutzdach in Arnheim. Asile à Arnheim. Home in Arnheim.



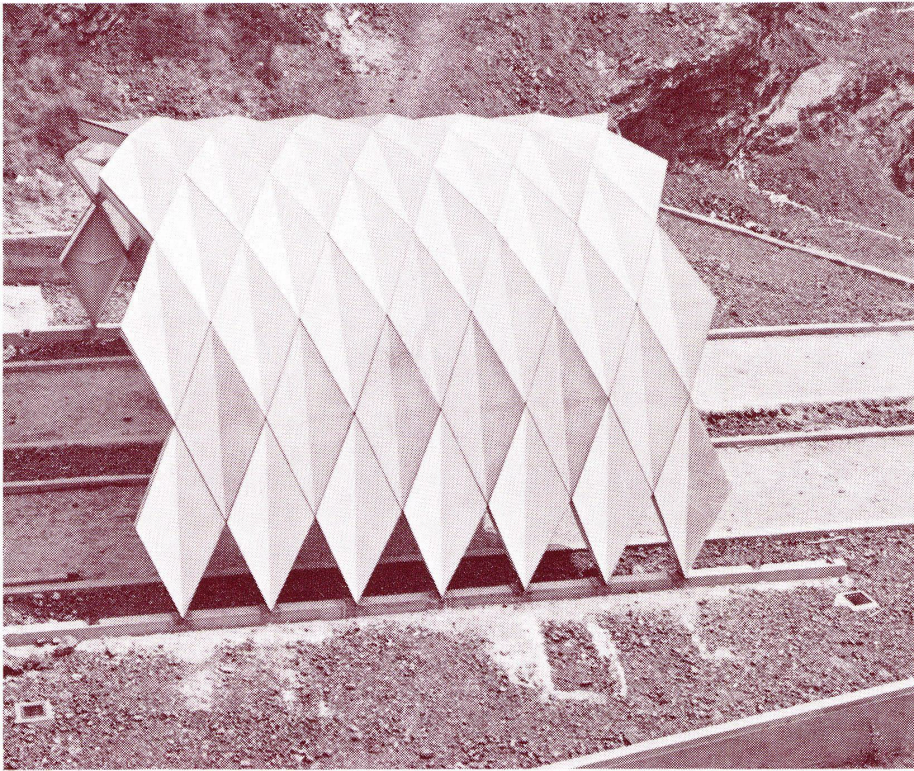
18



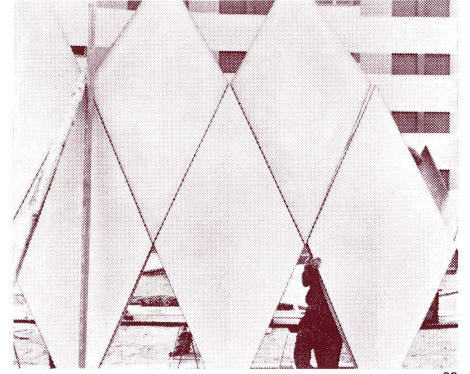
19



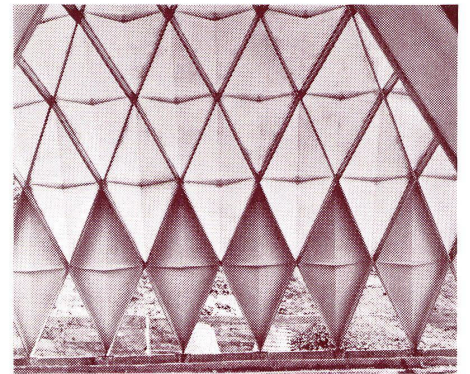
20



21



22



23



24

18
Versuchsanordnung an der University of Surrey.
Formation d'essai à l'université de Surrey.
Test at the University of Surrey.

19
Schwimmbadüberdachung in Mill Hill bei London.
Toit de la piscine à Mill Hill près de Londres.
Swimming-pool roof in Mill Hill near London.

20
Testmodell an der University of Surrey zur Überprüfung
der rechnerischen Methode.
Maquette d'essai à l'université de Surrey pour la vérification
de la méthode.
Test model at the University of Surrey for checking the
method.

21-23
Kunststoffkonstruktion von Renzo Piani.
Construction en plastique de Renzo Piani.
Plastic construction by Renzo Piani.

24
Kunststoffkuppel, die mit einer pneumatischen Form
hergestellt wurde.
Coupole en plastique fabriquée au moyen d'une moule
pneumatique.
Plastic dome, fabricated by means of a pneumatic
mould.