Tragende Bauteile aus Kunststoff: Anwendungsbeispiele

Autor(en): **Isler, Heinz**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **95 (1977)**

Heft 3

PDF erstellt am: **23.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-73320

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

HERAUSGEGEBEN VON DER VERLAGS-AKTIENGESELLSCHAFT DER AKADEMISCHEN TECHNISCHEN VEREINE, 8021 ZÜRICH, POSTFACH 630

Tragende Bauteile aus Kunststoff: Anwendungsbeispiele

Von **Heinz Isler**, Burgdorf[1])

Konstruieren mit Kunststoff ist keine Hexerei. Wenn man die Vorzüge und auch die Nachteile des Materials kennt, kann man Kunststoffe ebenso sicher für tragende Bauteile einsetzen wie Stahl, Beton, Leichtmetall oder Holz.

Eine gewisse Erschwernis tritt durch die Probleme der Fabrikation ein, über die man sich – besonders in jungen Verarbeitungsbetrieben – zum Teil zu wenig bewusst ist.

Eine weitere Schwierigkeit liegt für den Konstruierenden in dem reichhaltigen Angebot der Produkte mit ihren phantasievollen Namen. Man sollte sich durchfragen, welcher Kunststofftyp dahintersteckt, seit wann dieses Produkt unverändert im Gebrauch ist und wo man möglichst alte Anwendungen besichtigen kann.

Da mein Kunststoffanfang nun über 20 Jahre zurückliegt, also in der schweizerischen Pionierzeit auf diesem Gebiet, wird dieses oder jenes aus heutiger Sicht eher primitiv anmuten. Aber dafür hoffe ich, gerade anhand der elementaren Beispiele, zeigen zu können, dass es eben doch keine Hexerei ist, mit Kunststoffen zu konstruieren. Rückblickend muss ich allerdings sagen, dass eine gute Portion Glück dabei war, haben sich doch eigentlich alle Konstruktionen bis heute gut verhalten, mit einer einzigen Ausnahme. Selbstverständlich werde ich auch dieses nur halb geglückte Beispiel zeigen.

Modellkuppel aus Eis

Auf der Suche nach guten Schalenformen machte ich im Jahre 1954, also heute vor 22 Jahren, Versuche mit hängenden Membranen. Es war ein eisig kalter Winter, der mich auf die Idee brachte, gefrierendes Wasser als Baustoff zu verwenden. Eine hängende Gärtnergaze, aufgehängt auf vier Pfählen, bespritzten wir mit Wasser. Dabei nahm das nasse Tuch automatisch die richtige, ideale Form an, um das Eigengewicht mit reinen Membrankräften, nämlich reiner Zugkraft, aufzunehmen. Die tiefe Temperatur liess das Wasser sofort erstarren, so dass eine hauchdünne Eisschale entstand (Bild 1). Nach Aussteifen der Ecken drehten wir das Gebilde um und erhielten eine Schalenkuppel, die nun unter Eigengewicht reine Druckspannungen aufwies.

Die Kuppel war zwar sehr stabil und bewies, dass die Idee richtig war. Aber die Sonne beendete das Experiment am nächsten Morgen.

Auf der Suche nach einer Flüssigkeit, die «gefriert aber nicht mehr auftaut», begegnete ich dem Polyester und konnte die Versuche nun bei Normaltemperatur weiterführen.

Grosslichtkuppeln

Kurz darauf suchten wir für einen Schalenbau ein Oberlicht von 5 m Durchmesser, in der Art der damals gerade neu aufkommenden Plexiglasdome. Da diese Grösse aber nicht erhältlich war, schlug ich dem Bauherrn (Blaser, Hasle-Rüegsau) vor, wir könnten versuchen, eine solche Kuppel im Eigenbau aus Polyester zu bauen, da dieser Kunststoff ohne teure Geräte zu giessen war und eine gute Lichtdurchlässigkeit aufweist. Auf einer Gipsform gossen wir 8 Schalensegmente, die dann zu einer Kuppel zusammengeschraubt wurden.

Als dieses Probeoberlicht zufriedenstellend herauskam, gossen wir eine zweite zusammenhängende Kuppel. Dieses grösste transparente Stück der damaligen Zeit mit 20 m² Oberfläche gelang ebenfalls und diente schliesslich als Gussform für die weiteren Schalen.

Bild 2 zeigt, wie die Glasfasergewebe mit dem flüssigen Polyester durchtränkt und ausgerollt werden. Der Kuppelaufbau bestand aus je einer Gewebelage innen und aussen mit dazwischen liegender Glasfasermatte. Damit erreichte ich die grösste Steifigkeit gegen Ausbeulen. Bei dünnwandigen Scha-

[1]) Gekürzte und überarbeitete Fassung eines Vortrages, gehalten an der SIA-Studientagung über «Kunststoffe im Bauingenieurwesen». Der komplette Tagungsbericht liegt gedruckt vor. Er ist für Fr. 49.— bei der Redaktion der «Schweiz. Bauzeitung» zu beziehen.

Bild 1. Schalenform aus Gärtnergaze und Wasser (gefroren)

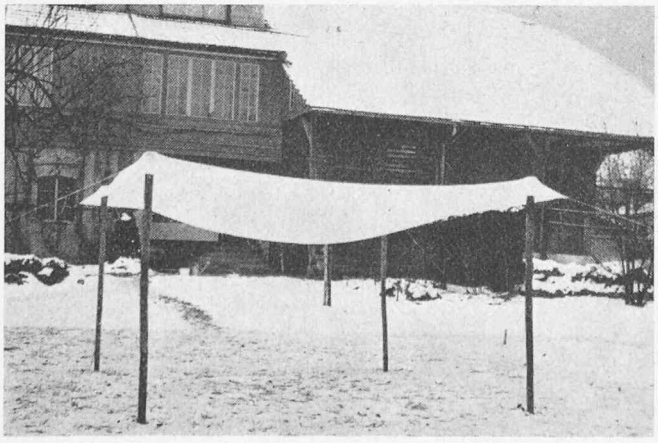
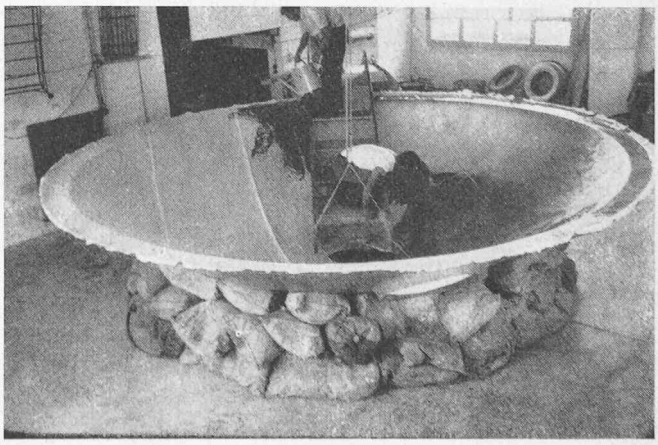


Bild 2. Kunststoffschale mit einer Oberfläche von 20 m² (1956)



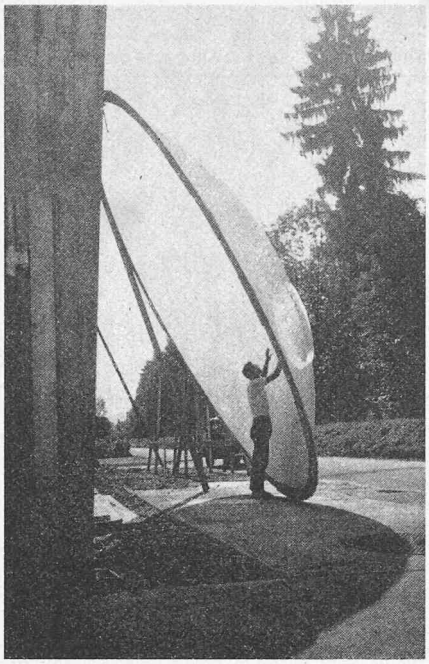


Bild 3. Kuppel vor der Montage

len entstehen nur Normalspannungen und selbst diese sind von untergeordneter Bedeutung. Es ist daher meistens das Beulen massgebend. Hier genügte eine Schalendicke von 3,5 mm. Die Schalenform ist ein Kugelabschnitt. Da eine entstandene Beule schliesslich doch von Biegespannungen getragen wird, ist die Kugelschale in Randnähe schwächer als im Scheitel. Deshalb verwendeten wir für grössere Schalen später nicht mehr die Kugelform, sondern Meridiane mit reduziertem Kurvenradius, also mit stärkerer Krümmung in der Nähe des Fusses.

Einen ersten Zwischenfall erlebten wir, als plötzlich beim Guss einer Kuppel das Polyesterharz nicht erhärtete und nicht über den klebrig zähflüssigen Zustand hinauskam. Nach Überprüfung aller Rezepte, der Temperaturen, des Giessvorganges, nach Proben beim Lieferanten, standen wir vor einem völligen Rätsel. Wir suchten nach allfälligen Verunreinigungen. Nichts war zu finden. Nach langwierigen, schleppenden Versuchen fanden wir die Ursache: Am Auslauf eines Fasses war der Eisenhahn durch einen solchen aus Messing ersetzt worden. Die halbe Sekunde Kontakt des durchfliessenden Harzes hatte genügt, um ihm die Härtungsfähigkeit zu nehmen.

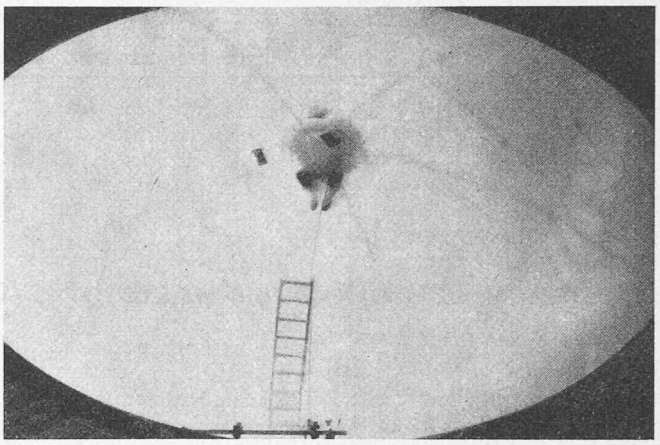


Bild 4. Oberlicht von 7 m Durchmesser. Sichtbar sind die Tragfähigkeit und die Diffusionswirkung (Arbeiter sitzt auf der Kuppel)

Die acht damals erstellten Kuppeln sind heute noch – nach 20 Jahren – im Gebrauch und voll funktionierend. Eine gewisse Vergilbung muss meist in Kauf genommen werden, doch ist die Lichteinbusse im allgemeinen nur gering. Die Verschmutzung durch Staub und Russ ist bedeutend schwerwiegender, kann aber mühelos weggewaschen werden. Unser Experiment war also erfolgreich gewesen. Lediglich hatte mich die Aktion, statt 6 Monate, schlussendlich ganze fünf Vierteljahre gekostet.

Es zeigte sich anschliessend, dass ein Bedarf für Grossoberlichter vorhanden war, so dass ich die Sache einer jungen Firma in Lizenz übergab. Dieselbe (Firma Eschmann, Thun) hat seither Kuppeln in allen Grössen, Formaten und Mengen und für verschiedenste Anwendungen in halb Europa liefern können.

Wegen der Vorschriften über Brandverhalten mussten in einer zweiten Lieferphase Harze mit Chlorzusätzen verwendet werden, die zu starken, unansehnlichen Bräunungen führten. Inzwischen sind aber neue Zusätze entwickelt worden, bei denen die Lichtverhältnisse wieder gut sind.

Wegen des Strassentransportes ist die ab Werk lieferbare Kuppelgrösse auf 5 m beschränkt. Deshalb wurde bei grösseren Durchmessern die Form zerlegbar angefertigt und zur Baustelle transportiert. Auf der Baustelle selbst wurden dann die nahtlosen Kuppeln gegossen, wie zum Beispiel eine Serie von Kuppeln mit 7 m lichtem Durchmesser für den Bau Haldengut in Winterthur. Auch hier sind Tragfähigkeit (siehe Bild 4: Arbeiter sitzt auf der Kuppel) und Diffusionswirkung (erwünschte Lichtstreuung) unvermindert erhalten geblieben.

Bild 5. Oberlicht von 8 m lichtem Durchmesser, bestehend aus acht Segmenten

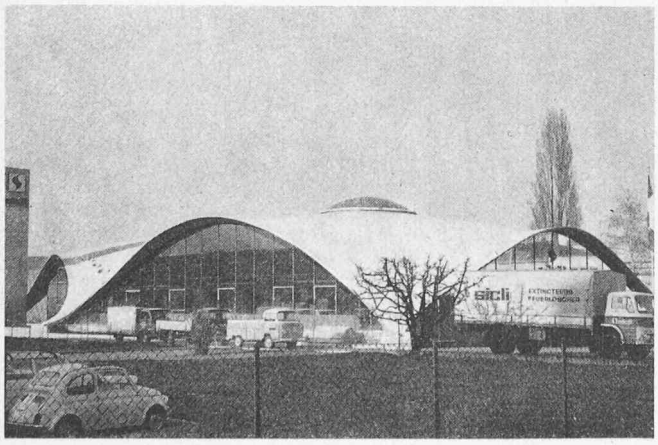


Bild 6. Schwimmbad in Losone TI, im Sand modelliert (1957)

Bild 7. Element von 6 m Spannweite und 1,5 mm Schichtdicke

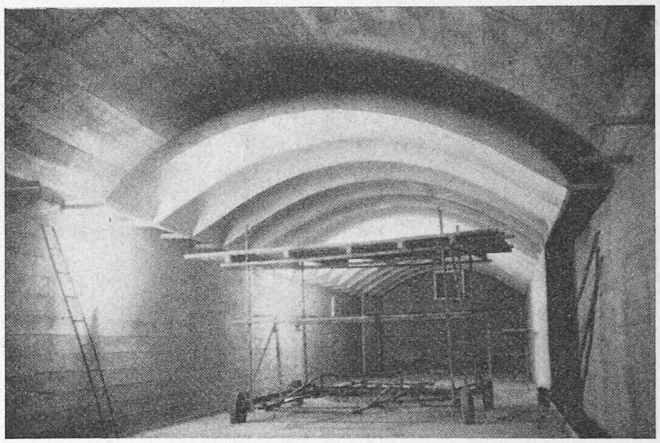


Bild 8. Montage der Klimakammern in einer Felskaverne

Beim Schalenbau Sicli in Genf ist ein Oberlicht mit 8 m lichtem Durchmesser verwendet worden. Dasselbe besteht aus 8 Segmenten, die am Bau zusammengeschraubt und abgedichtet wurden (Bild 5).

Schwimmbassin

Noch im selben Jahr wie die ersten Kuppeln konnte ich für einen befreundeten Hotelier (Glaus, Motel Losone) im Tessin ein Schwimmbassin bauen, Bild 6. Im sandigen Boden wurde das Bassin nach den Vorstellungen von Bauherr und Ingenieur frei herausmodelliert. Es besitzt schräge Wände.

Die fertig modellierte Sandform wurde darauf mit einer leichten Sauberkeitsschicht aus Mörtel ausgelegt. Darauf gossen wir zwei Lagen Polyester armiert mit Glasfasermatten. Das Harz war eingefärbt, an Boden und Wänden blau und auf den Stufen gelb. Durch Einstreuen von Sand in den sogenannten Schlussanstrich erhielten wir rutschfeste Trittstufen. Besonders hübsch präsentierten sich die frei modellierten Stufen, zum grossen Stolz des Besitzers, und das Bassin wurde reichlich benützt. Doch die Freude an dem sehr preisgünstig erstellten Bassin (es kostete bloss 4000 Fr.) dauerte nicht lange. Nach etwa 3 Jahren riss es an mehreren Stellen. Die Überprüfung der Ringzugkräfte aus Wasserdruck ergab keinen statischen Fehler. Also musste es anderswo liegen. Die Materialproben hingegen sahen bös aus. Die etwa 3 bis 4 mm dicke Membran war von unten her zur Hälfte sozusagen verfault. Die Erklärung fanden wir bald. Der Guss des Bassins war in eine gewitterreiche Zeit gefallen. Wegen der Kälte hatte die untere Schicht gar nicht recht erhärten können und die Glasfaserarmierungen waren feucht gewesen, was den Verbund verhinderte und sie im Laufe der Zeit zerfallen liess.

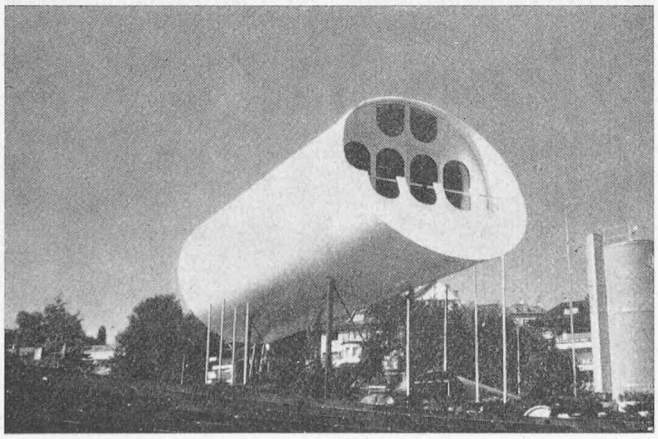
Diesmal hatten wir also die Grenze des Möglichen überschritten. Die Sanierung war einfach: Bei gutem Sommerwetter überzog man das ganze Bassin noch zweimal mit einer gesunden Schicht. Später wurde sogar noch ein weiterer Bassinteil angebaut und beide haben sich bis heute gut verhalten.

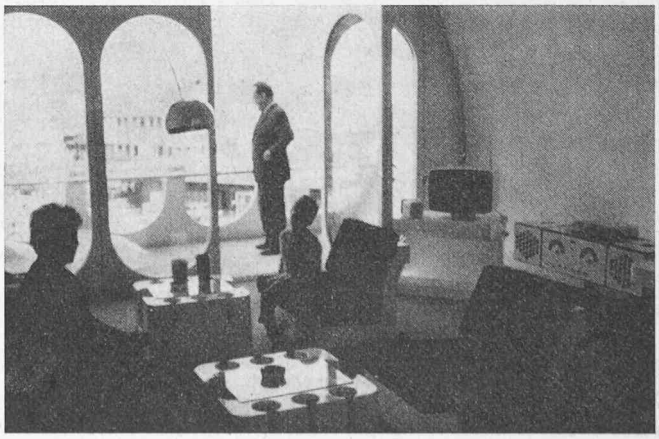
Klimakammern

Hier handelt es sich um eine Anwendung vom militärischen Bereich. Zur sicheren Vorratshaltung mussten einige Felskavernen mit einer dampfdichten Klimahülle versehen werden. Wir entwickelten dazu Gewölbeschalen, die durch die engen, gewundenen Zugangsstollen einzubringen und einfach zu montieren waren. Die Elemente mussten möglichst leicht und handlich sein.

Es lohnte sich also, hier das Element auf das letzte Kilogramm zu optimieren. Wir wählten dabei folgenden Weg: Auf einer Sandform wurde ein Grossabguss aus Polyester erstellt. Diese Probeschale in natürlicher Grösse wurde verschiedenen Belastungen ausgesetzt, wodurch wir ihre schwächsten Stellen fanden. Diese lagen am Fussteil. Ohne Verdickung der Schale, durch blosse Verbesserung der geometrischen Krümmungsverhältnisse, konnte die Tragfähigkeit verbessert werden. Ein Schaumstoffabguss ging schliesslich in ein Werk (Hartmann, Fehraltdorf), das die Serien der Elemente im Spritzverfahren herstellte. Die Elemente waren schliesslich so leicht, 1,5 mm Schichtdicke bei 6 m Spannweite, dass sie mühelos von Hand getragen werden konnten (Bild 7). Die mon-

Bilder 9 und 10. Aussen- und Innenansicht eines Röhrenhauses aus Kunststoff. Länge 15 m, Durchmesser 5 m





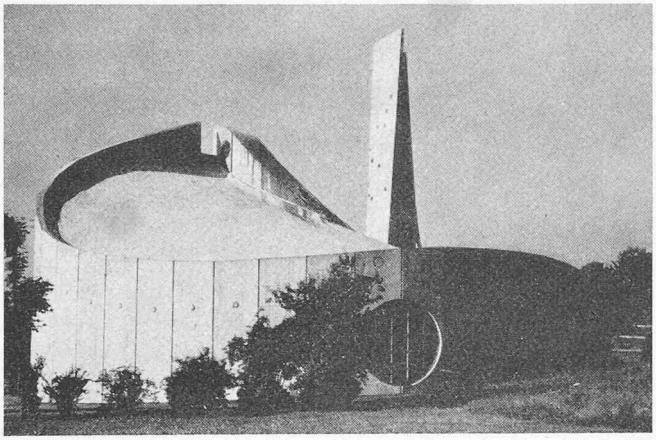


Bild 11. Kirche Lommiswil SO

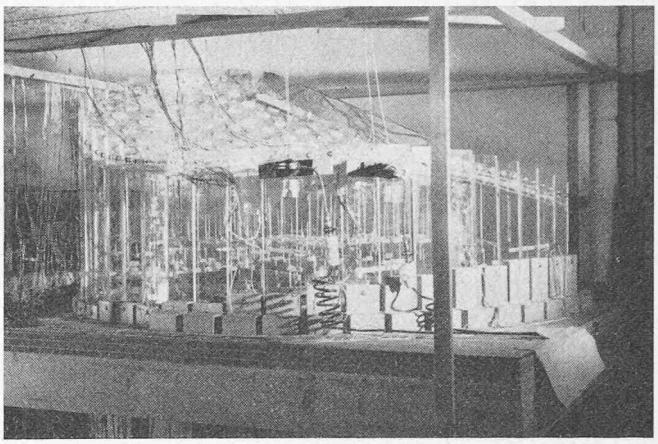


Bild 12. Messmodell aus Plexiglas

tierten Elemente (Bild 8) wurden an den Fugen mit Thiokol abgedichtet und verschraubt. Die fertigen Klimakammern erreichten in kürzester Zeit praktisch staubtrockene Luft, und das in den tropfenden Kavernen, wo sonst alles unter Dauernässe leidet. (Pat.)

Röhrenhaus

Ein fertiges Zweieinhalbzimmerhaus (Arch. Dutler, St. Gallen) zeigt Bild 9. Die zylindrische Röhre hat 5 m Durchmesser und ist 15 m lang. Der Wandaufbau ist sandwichartig, mit einem Kern aus PVC-Schaum. Der Röhrenteil wurde auf einem Stahlkern gewickelt (Metallwerk Buchs), auf dem sonst Futtersilos gebaut werden. Er erhielt seine Steifigkeit erst, als die Endscheiben eingebracht waren, ein Phänomen des Schalenbaues, das immer wieder verblüfft.

Das Innere des 70 m² grossen Hauses ist sehr geräumig und selbstverständlich mit allen Raffinessen der modernen Technik ausgestattet (Bild 10). Ein grosser Balkon ist vorgelagert.

Der Transport der rund 5 t schweren fertigen Einheit kann durch die Luft oder mit einigen Schwierigkeiten auch auf der Strasse erfolgen. Das Haus wird auf die vier Rohrstützen aufgesteckt, die beiden Kabel für Telephon und Elektrisch sowie die zwei Schläuche für Trinkwasser und Abwasser werden angeschlossen und das Haus ist bezugsbereit. Selbst in abgelegenen Gegenden ist es aufstellbar und auch wieder einfach wegzuräumen. Am hinteren Eingang befindet sich ein Fallreep, das, wie bei einem mittelalterlichen Schloss, unliebsame Besucher fernhält oder Freunde einlässt. Das Haus sollte mitsamt der Inneneinrichtung etwa 120000 Fr. kosten. Die Serienproduktion ist allerdings nicht angelaufen.

An diesem Kunststoffteil ist noch erwähnenswert, dass die äussere Sandwichhaut ein durchgehendes Rohr bildet. Die innere Haut hingegen ist an drei Stellen zerschnitten, so dass dort vier Teilrohre von 4 m Länge entstanden. Ohne diese Massnahme wäre der Sandwich durch die ungleichen Wärmeverformungen von aussen zu innen zerrissen worden.

Modelltechnik

Wenn wir über Kunststoffe im Bauingenieurwesen sprechen, kann ein wichtiges Gebiet nicht übersehen werden: nämlich die Kunststoffe in der Modellbautechnik. Seien es nun Modelle zur Sichtbarmachung dessen, was man zu bauen gedenkt, wie es z.B. nötig war für die sehr komplexe Schalenform beim Neubau Sicli in Genf (siehe Bild 5, fertiger Bau), oder seien es einfache Modelle zur Klärung grundsätzlicher Fragen. Oder sei es der Aufbau der grossen statischen Modellversuche, die auch trotz der heutigen Computertechnik keineswegs überlebt oder veraltet sind, wie z.B. bei der Kirche für Lommiswil, Solothurn (Bild 11).

Für das hyperbolische Dach wurde eine Schaumstofform aus Polyurethan gegossen, gehobelt, um schliesslich als spiegelglattes Negativ für den Guss der präzisen Dachschale zu dienen. Die Schale, zuerst aus Polyester für den Bruch- oder Beulversuch, später aus Acrylharz (Plexiglas) wird in die massstabgetreue Apparatur eingebaut und daran werden Verfor-

Bild 13. Ausstellungspavillon bestehend aus 10 Segmenten bei der Montage

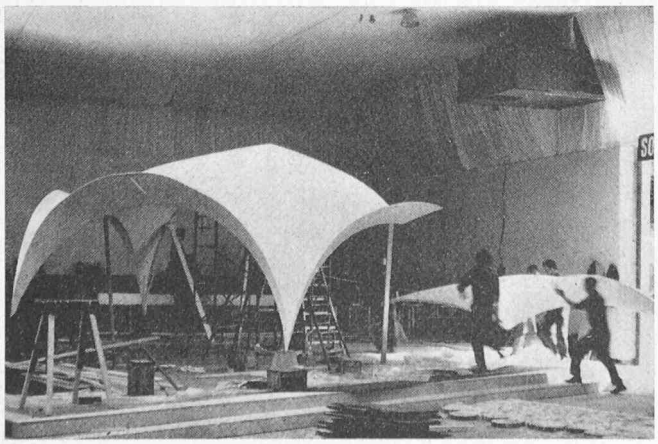
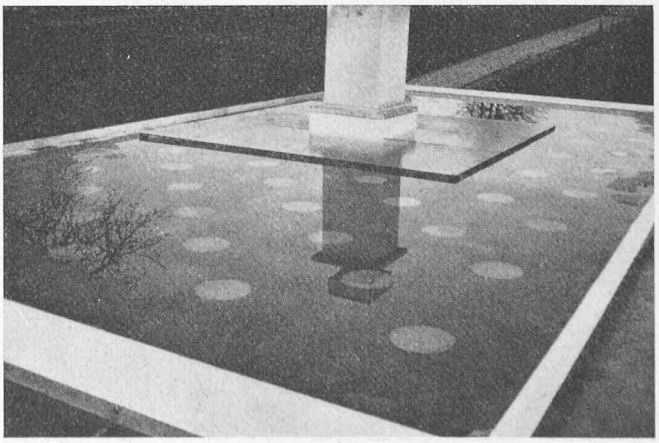


Bild 14. Grosslicht-Dachplatte auf Wochenendhaus



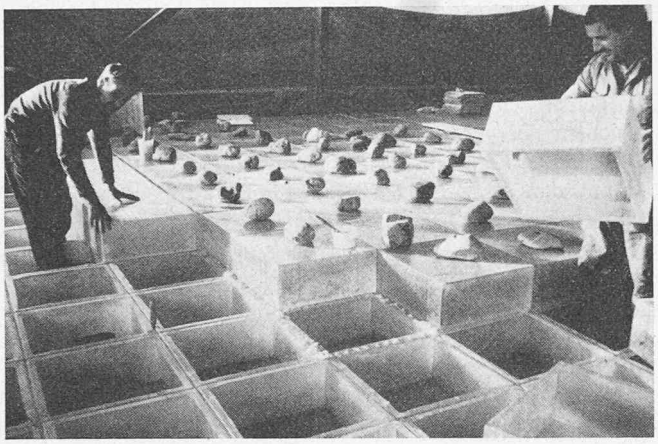


Bild 15. Die zweite Kassettenschicht wird verlegt

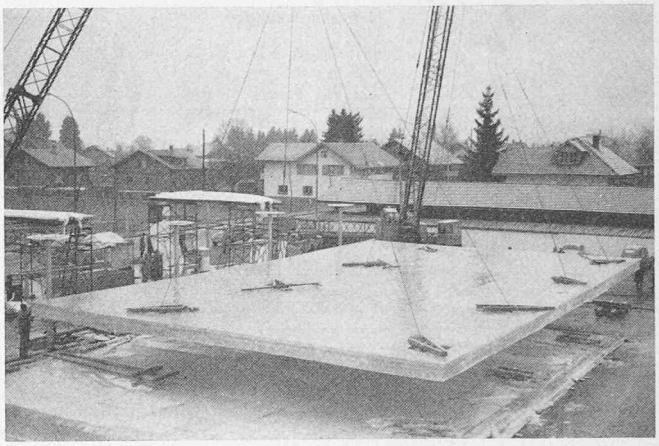


Bild 16. Die 320 m² grosse Polyester-Grosslichtplatte wird angehoben, um sie auf die Stützen zu verlegen

mungen, Spannungen, Vorspanngrössen und Armierungsgehalte abgelesen (Bild 12). So können unkonventionelle einmalige Bauformen mit der üblichen technischen Sicherheit erstellt und das Schadenrisiko auch für Neuentwicklungen praktisch ausgeschieden werden.

Aber auch den umgekehrten Weg kann man gelegentlich beschreiten. Für eine französische Samenfirma (Clause SA, Brétigny) erstellen wir gegenwärtig eine ganze Kette von grossen Gartenzentren, mit immer derselben grossen Betonschale, die sozusagen zum Firmensymbol erhoben wurde. Diese Firma wünschte zu Ausstellungszwecken einen gleich aussehenden transportablen Pavillon (Bild 13), der natürlich aus Kunststoff war. Er besteht aus 10 Einzelsegmenten, je fünf linken und fünf rechten, die von Hand aufgerichtet und verschraubt werden. Diese kleine Schale mit den eleganten spitzen Füssen, auf denen das kuppelförmige Dach ruht, ist nur wenige Millimeter dick und erhielt ihre Stabilität durch die doppelte Krümmung. Der Pavillon ist seit einigen Jahren sogar im Freien aufgestellt und hat Stürme und Unwetter bestens überstanden.

Grosslichtplatten

Ich habe am Anfang von Lichtkuppeln gesprochen, mit denen Spannweiten bis 8 m überdeckt werden können. Will man grössere Öffnungen überdecken, so ist das nur mit immer dickeren Schalen möglich. Wegen der lichtdiffundierenden Wirkung des glasfaserarmierten Polyesters nimmt aber der Lichtdurchlass bald dermassen ab, dass die Dome zwar noch Dächer, aber keine Lichtdächer mehr sind. Mit Sikkenplatten, einer Art von Grosswellblechen, kann man mit geringen Schichtdicken eine grosse Steifigkeit erzeugen.

Ein anderer Weg ergibt sich mit den hohlen Platten. Das gebräuchliche Verfahren besteht darin, einen Raster in die flüssige Bodenschicht einzulegen. Nach Erhärten wird das Ganze umgewendet und auf eine zweite, flüssige ebene Schicht gelegt. Nach Erhärten ist eine hohle Rasterplatte entstanden, die eine sehr grosse Steifigkeit aufweist.

Für das Dach eines Wochenendhauses bauten wir 1959 eine Platte von 4,5 × 9 m nach diesem Verfahren. Ein grosser Raster von sich kreuzenden Stegen wurde in eine flüssige erste Schicht gelegt. So entstand eine Grossplatte, die nach dem Umklappen mit der freien Seite des Rasters in eine zweite flüssige Schicht eingetaucht wurde. Hierdurch sollte eine gleichzeitige Verschweissung sämtlicher 150 m Steg mit der flüssigen zweiten Deckschicht stattfinden.

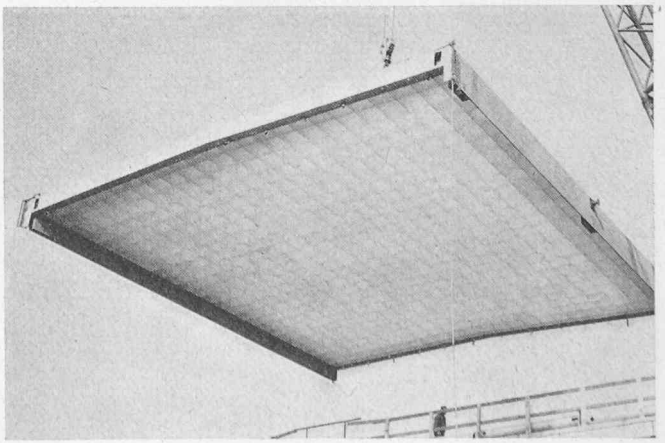
Wir hatten aber die Rechnung ohne die Bodenunebenheiten und ohne den Verzug des ersten Teilstückes gemacht. Trotz intensiver Belastung bekamen nur etwa 30% der Stege Kontakt und Verschweissung. In einer grossen Geduldsarbeit mussten die fehlenden Nähte durch Handlöcher in jedem zweiten Kassettenfeld nachgeholt werden. Die Dachplatte hat schliesslich ihren Bestimmungsort erreicht und zur vollen Zufriedenheit nun schon 17 Jahre ihren Dienst versehen (Bild 14).

Das Prinzip war also auch für Grossplatten gut, aber die Methode falsch. Das Wendemanöver musste vermieden werden.

Lange suchte ich nach einer Lösung. Ein Jahr später fand ich sie und hatte auch gerade eine entsprechende Aufgabe, allerdings keine kleine. Eine selbsttragende Grosslichtplatte von 320 m² Grösse, aus einem Stück bestehend, sollte als Tankstellendach (Moser, Thun) hergestellt werden. Wir gossen zuerst eine Polyesterhaut von 14,5 × 22 m und lösten sie von der Unterlage ab. Dies war die Bodenschicht für die Grosslichtplatte.

Das entscheidende Element bilden federleichte kubische Kassetten, die Stück für Stück mit einer neuen Polyesterschicht auf die Bodenplatte aufgeklebt werden. Sauberkeit war dabei oberstes Gebot, da nachher die kleinste Verunreinigung oder Luftblase von unten sichtbar wird. Im Bereich der künftigen Auflageteller mussten entsprechend den grösseren Schubspannungen Verstärkungsbänder zwischen die Kassettenwände eingeklebt werden. Nach Vollendung der ersten Kassettenschicht wurde eine zweite Serie Kassetten mit Öffnung nach unten aufgeklebt, Bild 15. Nach Verspachtelung der Fugen war nun ein ebener oberer Boden entstanden, der zwar noch aus 1280 Einzelstücken bestand. Über diesen oberen Boden brauchte

Bild 17. Grosslichtplatte von 140 m²



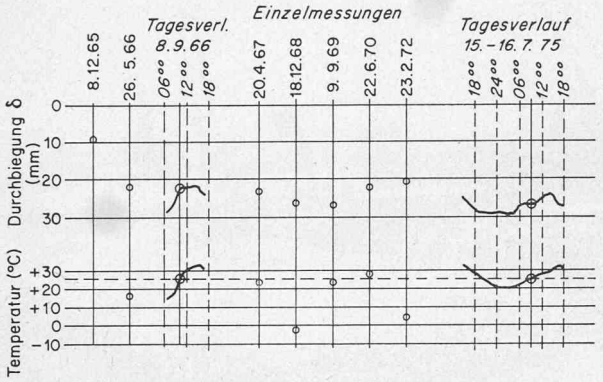


Bild 18. Durchbiegung der Lichtdächer Säckingen: Einzelmessungen und Tagesverlauf

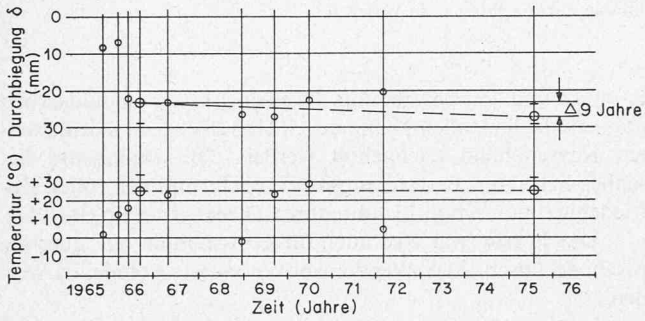


Bild 19. Durchbiegung der Lichtdächer Säckingen: Zeitdiagramm

nun nur noch die obere durchgehende Deckschicht aufgegossen zu werden, wodurch die vielen Einzelteile zum zusammenhängenden, voll tragfähigen Riesensandwich wurden.

Nach einer sehr spannenden Probebelastung bei einer Abstützung mit 22 m Spannweite wurde die grosse gläserne Platte schliesslich mit zwei Autokranen auf die danebenstehenden Stützen gehoben. Es war ein erhebender Moment, als die riesige transparente Platte lautlos über die Köpfe der Zuschauer davonschwebte (Bild 16).

Das fertige Dach, das angenehm gedämpftes Licht spendet, ist nun 16 Jahre im Gebrauch und hat sich bestens bewährt. Es hat eine so grosse Steifigkeit, dass selbst unter voller Schneelast (130 kg/m²) kaum messbare Verformungen auftreten.

Die Platte ist meines Wissens auch heute noch das grösste tragende Kunststoffbauteil der Welt, das je als zusammenhängendes Stück gebaut wurde.

Bei solchen Kassettenplatten sind die kritischen Teile die inneren Querwände. Unter grösserer Schubbeanspruchung beginnen die Wände auszubeulen. Kritisch sind dabei weniger die Beulen selber, als die Kanten, wo die Stege in die Deckschichten übergehen. Von dort erfolgen schliesslich Einrisse. Anderseits ist das innere System so vielfach statisch unbestimmt, dass selbst einige ausfallende Schubrippen noch nicht sehr schlimm wären.

Nach dem beschriebenen Verfahren, zu dem übrigens inzwischen das Patent erteilt wurde, sind etliche Grossoberlichter erstellt worden auf Ausstellungshallen, einem Bankschalterraum, für eine Kirche, ein Bad, einen Pausenhof und anderes.

Lichtdächer Säckingen

Ein markantes Beispiel sind die Roll-Lichtdächer auf dem Rhein-Kraftwerk Säckingen. Zur Revision der grossen Turbinen und Generatoren müssen Dachluken von 12 × 13 m geöffnet werden. Für deren Abdeckung sind 5 Grosslichtplatten von je 140 m² Grösse an Ort und Stelle gegossen worden (Bild 17). Die Maschinenhalle wirkt dadurch sehr grosszügig und hell. Die Transparenz der Platten ist auch jetzt nach mehr als 10 Jahren noch dermassen hoch, dass selbst die Farbe des Himmels durchschimmert.

Die grossen Platten können von einem einzigen Mann von Hand weggeschoben werden, wiegt doch der Kunststoffanteil bloss etwa 18 kg/m². Jedenfalls müssen in jeder Position die Halteklammern gut angezogen werden, sonst könnten die Dächer wie ein Blatt Papier vom Wind weggetragen werden.

Die Platten wurden 1965/66 gebaut. Das Diagramm (Bild 18) zeigt deren Verhalten bei Temperaturänderung. Bei 15° Erwärmung hebt sich die Plattenmitte um rund 7 mm.

Am interessantesten ist aber wohl das Dauerstandsdiagramm (Bild 19) mit einer Beobachtungsdauer von 9½ Jahren. Abgesehen von periodischen Einzelmessungen (Punkte) sind zwei Tagesverläufe im Jahre 1966 und im Juli 1975 dargestellt. Durch Vergleich der Höhenlage bei derselben Temperatur in der Erwärmungsphase lassen sich ziemlich genau die 10-Jahres-Verformungen – also die Kriecheinflüsse – feststellen. Diese betragen rund 4 mm. Vergleicht man diese erstaunlich tiefe Zahl mit dem Wert der ersten 5 Monate (16 mm), so kann man von einem sehr guten asymptotischen Verhalten sprechen. Diese Zahlen am Grossversuch unter realen Umweltverhältnissen dürften das Vertrauen in die glasfaserverstärkten Kunststoffe weiter untermauern.

Interessant ist ferner noch, dass die Platten ständig einer leichten Dauerschwingung ausgesetzt sind. Aus Resonanz

Bild 20. Lichthof der Realschule Geislingen (Deutschland). Innenansicht

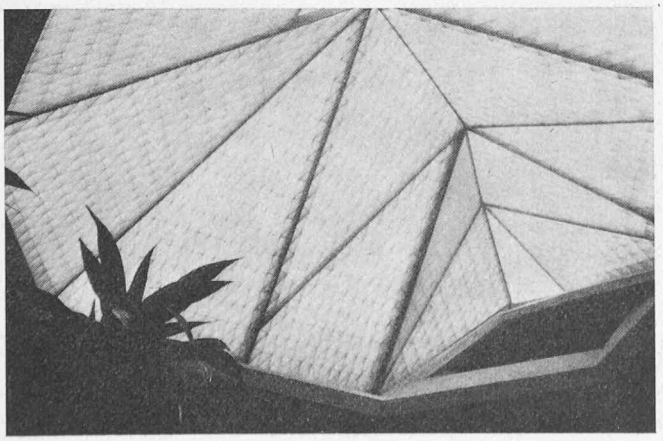
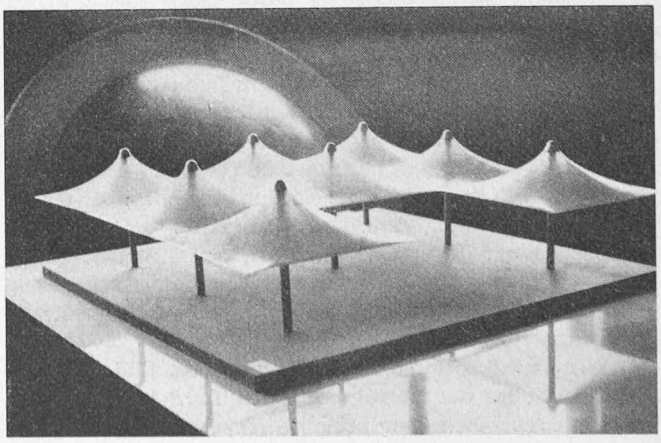


Bild 21. Modell von Polyesterschirmen für eine Marktüberdeckung



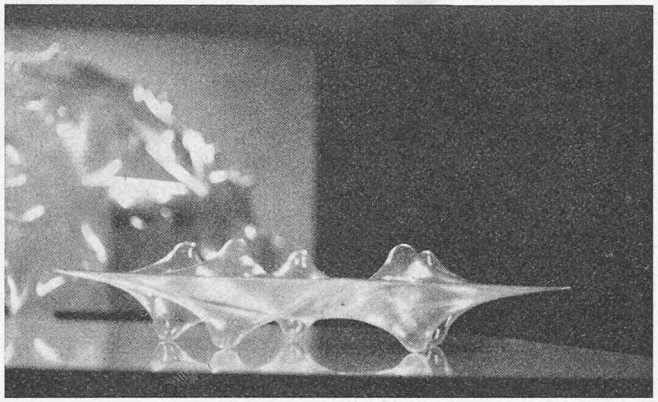


Bild 22. Einzelelemente zum Polyeder-Dom im Hintergrund

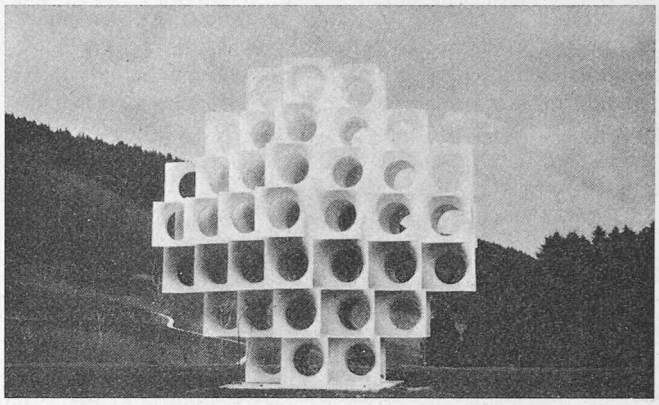


Bild 23. Kletter-Plastik von Angel Duarte in einem Schwimmbad

mit den Vibrationen der grossen Generatoren hat jede der Platten in den vergangenen 9 Jahren rund 1140 Mio Lastwechsel durchgemacht, allerdings (zum Glück) mit verhältnismässig geringen, aber doch deutlich spürbaren Amplituden.

Kirchenfenster

Eine runde Grosslichtplatte von 7 m Durchmesser mit sechseckigen Waben wurde für eine Kirche in Stuttgart verwendet. Das Oberlicht zeigt die hübsche Wabenstruktur und gibt ein diskretes Licht in den ganzen Kirchenraum. Das Fenster hätte selbstverständlich farbig gestaltet werden können wie ein altes Kirchenfenster. Zum Beispiel durch Einlegen von farbigen Glasstücken.

Lichthof Realschule Geislingen

Zur Überdeckung des Innenhofes der Realschule Geislingen (Württemberg) wurde ein Faltwerk von rund 20 × 20 m Spannweite aus dreieckigen Rasterplatten gebaut (Bild 20). Das ganze in sich steife Dach ist auf kleinen Pendelstützen gelagert, damit die grossen Wärmedehnungen von einigen cm schadlos vor sich gehen können.

Der Innenraum wirkt durch das leicht gelbliche Licht warm und freundlich, während sich die Aussenansicht unauffällig ins Bild der übrigen Dächer einfügt. Im Scheitel ist ein Klappfenster als Lüftung und Rauchabzug im Fall eines Brandes eingebaut.

Markthallenprojekt

Für eine offene Markthalle in Neuenburg projektierten wir im Mai 1968 eine Gruppe von Schirmen aus Polyester, mit Seitenabmessungen von 12 × 12 m (Bild 21). Die Gestalt des Schirmes entsteht automatisch, wenn ein Stempel in der Mitte einer quadratischen elastischen Membran hineingedrückt wird.

In Vorversuchen erprobten wir bereits dasselbe Verfahren zur Ausführung der Schirme selber. Die zwischen elastischen Folien vorgegossene Polyesterschicht wurde in noch flüssigem Zustand vorsichtig verformt und dann der Härtung überlassen. Dieses Verfahren spart die Form und erzeugt eine doppelt gekrümmte Schale von grosser Steifigkeit.

Grössere Polyesterteile darf man niemals starr mit anderen Materialien verbinden. Die stark unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten bringen unweigerlich das schwächere von beiden Teilen zum Zerreissen. Und das ist meistens die dünne Polyestermembran. Für unser Projekt wählten wir ein System von Klammern und Federn, mit denen wir die Membranzugkräfte dem umschliessenden Stahlrahmen, der steifen Regenrinne, abgeben konnten, ohne die unterschiedlichen Dehnungen zu behindern. Das Projekt kam nicht zur Ausführung. Die Prüfmodelle führen seither auf unserem Versuchsgelände den Dornröschenschlaf und warten auf Erweckung.

Projekt für 30-m-Dom

Ein weiteres Projekt, das auch noch nicht zur Ausführung kam, ist ein Dom von 30 m Spannweite, der ein Restaurant in einem Verwaltungsgebäude überbrücken sollte (Bild 22). Nach dem Prinzip der Polyeder, der regulären Körper, lässt er sich aus zwei Sorten von Dreieck-Elementen zusammensetzen. Im Gegensatz zu Ausführungen, die ein Grundgerippe aus Metall verwendet haben, sollte diese Kuppel vollständig aus Polyester bestehen. Zur Aussteifung sind die dünnen Drei-

Bild 24. Polyurethan-Schaum. Das Aufquellen ist abgeschlossen

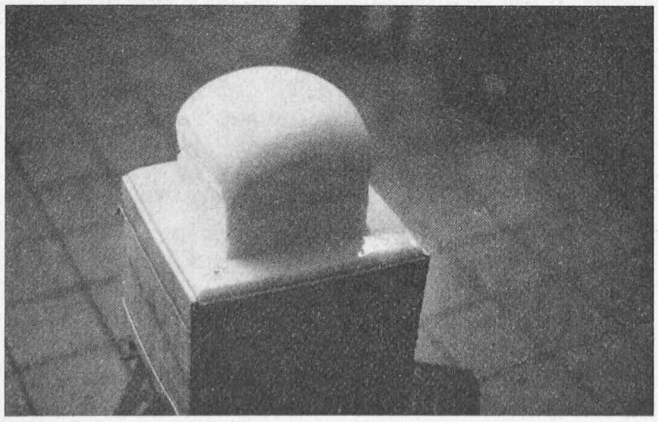
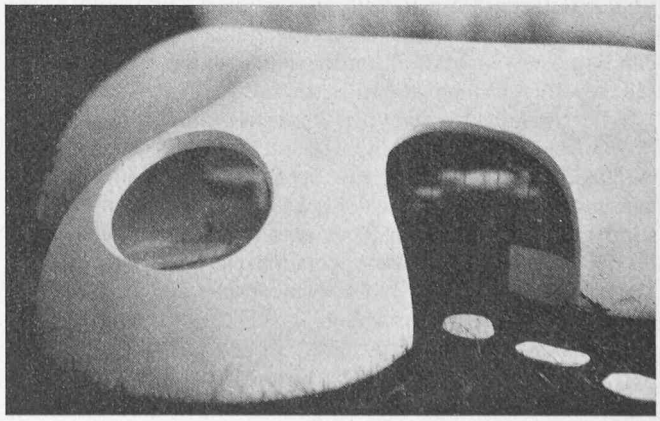


Bild 25. Modell eines Wochenendhauses mit kleeblattförmigem Grundriss



eckmembranen nach dem vorhin beschriebenen Stempelverfahren verformt. Einzelne der doppelwandigen Dreieckelemente sind im Bild sichtbar. Doppelwand ist für alle transparenten Dachelemente nötig, da sonst Schwitzwasser abtropft.

Kletterplastik von Angel Duarte

Eine hübsche Anwendung von gestaltetem tragendem Polyester ist die Kletterplastik im Schwimmbad Tramelan vom Künstler Angel Duarte. Über hundert hyperbolische Elemente, bestehend aus Polyester mit Mikrobillfüllung, sind zusammengefügt zu einem Werk von 5×5×5 m. Es dient dem herrlichen Freibad als Zierde und den Kindern als Kletterberg (Bild 23). Die Ingenieuraufgabe bestand in der Auswahl von Material und Methode, im Nachweis der Standfestigkeit, und der Kreation einer Verbindung zwischen den Elementen, die völlig unsichtbar aber dennoch haltbar werden musste.

Schaumstoffe

Hauptexponent der bisher gezeigten Beispiele war der glasfaserverstärkte Polyester mit seinen Vorzügen:

- einfaches Giessverfahren
- hohe Festigkeit mit Glasfaserarmierungen
- Wetterbeständigkeit, Transparenz usw.

Seit einigen Jahren ist nun ein weiterer Kunststoff auf dem Markt, der für uns Ingenieure ebenso interessant zu werden scheint: Die Polyurethanschäume.

Bei Zimmertemperatur werden zwei flüssige Komponenten gemischt, beginnen aufzuquellen wie Hefeteig, um schliesslich hochzuschäumen zum 20- bis 30fachen Volumen (Bild 24). Einige Typen des Polyurethans werden so hart und sind wetterbeständig, dass daran gedacht werden kann, sie als tragendes Material im Ingenieurbau einzusetzen.

Kuppelförmige Schalen können auf Ballone gespritzt werden. Einzeligloos oder ganze Gruppen für eine holländische Schule sind bereits im Gebrauch und an Projekten fehlt es nicht, sei es für Hütten in Entwicklungsländern, Katastrophenunterkünfte, Militärunterstände oder für richtige Wohnhäuser in unseren Breiten.

Das in Bild 25 gezeigte Wochenendhaus (Arch. M. Balz, Stetten) mit kleeblattförmigem Grundriss kann entweder über einer pneumatischen Form an Ort gespritzt oder aus vorgefertigten Schaumstoffteilen zusammengeschweisst werden. Die Innenwandung erhält einen aufgespritzten Teppich, die Aussenfläche einen gewöhnlichen Mörtelverputz.

Der Schaum-Polyurethan ist ein hervorragender Isolator, also prädestiniert für Häuser aller Art. Aber nicht genug damit: Mit den heutigen Schaumstoffen sind selbsttragende Dome von über 100 m Spannweite möglich, Schalen freier Formen aller Art und selbst Türme von beachtlicher Höhe.

Aber auch hier beim Polyurethan wird nur das von Dauer sein können, was man unter Ausnützung der Eigenheiten des Materials seriös konstruiert, immer mit der Kenntnis, dass es eine Grenze gibt, und wo sie liegt.

Alle Bilder nach Photos vom Verfasser

Adresse des Verfassers: *Heinz Isler*, dipl. Ing. ETH, SIA, Lyssachschachen, Postfach, 3400 Burgdorf.

Instrumente zur Überwachung von Staumauern und Staudämmen

Eine Tagung des Schweizerischen Nationalkomitees für Grosse Talsperren

Auf Einladung des Schweizerischen Nationalkomitees für Grosse Talsperren trafen sich am Freitag, 19. November 1976, in den Räumen der Elektrowatt AG die Verantwortlichen für die Überwachung unserer Stauanlagen zu einer Instrumentenmesse mit Vorträgen. Die Gerätehersteller, die sich in der Schweiz mit der Entwicklung, der Herstellung und dem Einbau von Überwachungsanlagen befassen, erhielten Gelegenheit, im Fachgespräch mit für die Sicherheit der Anlagen verantwortlichen Behörden, Vertretern von Kraftwerken mit Talsperren, Projektingenieuren und Wissenschaftlern über den neuesten technischen Stand des einschlägigen Instrumentariums zu berichten. *Louis Kolly*, dipl. Ing. ETH, Vizedirektor des Eidg. Amtes für Strassen- und Flussbau (ASF), begrüsste die 130 Teilnehmer. Er führte u.a. folgendes aus:

Die Überwachung der Talsperren, der Stauseen sowie der weiteren dazugehörigen Bauwerke obliegt dem ASF. Diese Überwachung erstreckt sich nicht nur auf die Projektierung und den Bau der Stauanlagen, sondern auch auf das Verhalten derselben während ihrer ganzen Betriebsdauer.

Die *Projekte* werden unter folgenden Gesichtspunkten geprüft: allgemeine Disposition und Wahl des Sperrentyps; Geologie der Widerlager, des Sperrenuntergrundes und des ganzen Staubeckens; hydrologische Untersuchungen und Bestimmung der maximalen Hochwasser; statische und hydraulische Berechnungen; Betonvorversuche. Aufgrund dieser Untersuchungen erteilt das Eidgenössische Departement des Innern die Projektgenehmigung.

Während des Baus prüft das ASF fortlaufend die Berichte der Bauleitung über die Qualitätskontrollen des verwendeten Materials, über die Injektionen in den Verankerungen der Talsperren sowie auch die Berichte über andere Faktoren, die auf das Verhalten der Stauanlage einen Einfluss haben. An Begehungen werden weitere Probleme, die sich während der Bauausführung stellen, mit der Bauleitung und allfälligen Experten besprochen.

Die Staubecken werden stufenweise nach einem vom ASF genehmigten Programm gefüllt. Sobald das Werk fertig erstellt ist und der Stausee mindestens einen ganzen Füllzyklus durchlaufen hat, gibt das ASF einen Bauabnahmebericht heraus, der die Ergebnisse einer eingehenden Werkbesichtigung und aller notwendigen Berichte über die Bauausführung und die Kontrollmassnahmen an der Talsperre enthält.

Während des Betriebes müssen die Werkeigentümer jährlich einen Bericht über das Verhalten der Talsperre an das ASF und an die Konzessionsbehörden abliefern. Das Messprogramm ist mit dem Einvernehmen des ASF festzulegen. Die 1971 revidierte Talsperrenverordnung schreibt zudem vor, dass die Werkeigentümer die Stauanlagen alle fünf Jahre einer umfassenden Expertise zu unterziehen haben, die im Einverständnis mit dem ASF einem anerkannten Fachmann des Talsperrenbaus anzuvertrauen ist. Nicht nur die Talsperre selbst, sondern auch die Umgebung des Stausees ist zu begutachten, insbesondere hinsichtlich der Stabilität der Ufer, der Talflanken und allfälliger Gletscher. Die Ergebnisse der Expertise sind in einem Bericht niederzulegen. Dieser soll eine genaue Aufzählung aller Feststellungen enthalten, die an einer gemeinsamen Inspektion des Experten mit Vertretern des Kantons, der Werkeigentümer und des ASF gemacht wurden. Ferner müssen darin eine Analyse des Verhaltens der Stauanlagen, ein Überwachungsprogramm für die nachfolgende fünfjährige