

# Typologie und Technik der modernen Schalen

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

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Werk, Bauen + Wohnen**

Band (Jahr): **70 (1983)**

Heft 12: **Ingenieurbaukunst = L'art de l'ingénieur = The art of engineering**

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-53558>

## **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.

# Typologie und Technik der modernen Schalen

## Projektierung und Ausführung von Schalenkonstruktionen

Eine gelungene Ästhetik der Einfachheit wäre ärmer, wenn die Ingenieurbaukunst nicht die gebaute Schale erfunden hätte. Aussen- und Innenform sind identisch, die hauchdünne Hülle schwebt über dem Prototyp des offenen Raumes. Nur wenige Ingenieure haben die Grenzen moderner Schalenkonstruktionen beschritten. Heinz Isler vermittelt erstmals in seinem Werkstattbericht seine Erfahrungen mit der Projektierung und Ausführung verschiedener Schalentypen.

## Réalisation de constructions en coque

L'esthétique de la simplicité serait appauvrie d'un succès, si l'art de l'ingénieur n'avait pas inventé la construction en coque. Les formes intérieure et extérieure sont identiques, l'enveloppe, d'une minceur extrême, plane au-dessus d'un prototype d'espace ouvert. Rares sont les ingénieurs qui ont travaillé aux limites des constructions en coque modernes.

Pour la première fois, dans son rapport d'atelier, Heinz Isler nous communique les expériences qu'il a acquises en projetant et exécutant divers types de constructions en coque.

## Execution of shell constructions

Perfect simplicity of design would have been a much poorer thing if the construction engineers had not invented the shell construction. External and internal shape are identical; the delicate envelope hovers over the prototype of the open space. Only very few engineers have exploited all the possibilities of modern shell construction. Heinz Isler in his workshop report for the first time recounts his experience with the planning and execution of various types of shell construction.

## Stellenwert der Schalen

In der freien Natur sind Schalenstrukturen häufig anzutreffen. Die gewölbten Gebilde geben bei sparsamstem Baustoffaufwand den grösstmöglichen Schutz (Nussschalen, Muscheln, Schädelgewölbe etc.). In der Technik hingegen sind Schalen heute sehr bescheiden vertreten, verglichen mit der enormen Leistungsfähigkeit des natürlichen Schalenprinzips.

Dem Verfasser gelang es, durch drei Beobachtungen, die er 1955 zufällig machte, neue Wege im Schalenbau zu öffnen. Er hatte Gelegenheit, seither in kontinuierlicher Folge eine grosse Anzahl dieser neuartigen Bauformen zu verwirklichen für Sportbauten, Bäder, Ausstellungen, Garten-Center, Kirchen, Wohnhäuser, für Industriebauten und Schutzbauten.

Die Schalentechnik zeichnet sich aus durch geringsten Baustoff- und Energieverbrauch, Unterhaltsfreiheit über Jahrzehnte, vor allem aber durch neue ästhetische Bauformen, die dabei gefunden werden können.

## Die neuen Schalen

Die drei erwähnten Beobachtungen waren:

1. die kissenförmige Membran, die sich vorzüglich als Formungsmethode für Schalen eignet;
2. die hängenden Membranen;

3. das Einfrieren von beweglichen Formen.

Aus ihnen eröffneten sich mannigfache Möglichkeiten für die Formung neuer, bis dahin unbekannter Schalenarten. Die Formen werden in Modellversuchen erzeugt, exakt ausgemessen und in die praktische Anwendung umgesetzt, nachdem auch die statischen Überprüfungen stattgefunden haben. Besondere Aufmerksamkeit erfordern die beulgefährdeten Zonen der Schalen und die freien Ränder, wo sorgfältig abgewogen werden muss, wieweit die Schlankheit gehen darf, ohne die Sicherheit des Bauwerkes zu beeinträchtigen.

## Bauausführung

Die zahlreichen neu gefundenen Schalenformen erforderten natürlich auch neue Methoden, nach welchen sie wirtschaftlich gebaut werden können. Drei Faktoren sind dabei besonders hervorzuheben:

1. Die eigentliche Form wird erzeugt durch gekrümmte Balken, die radial oder parallel nebeneinander angeordnet werden (Abb. 19). Diese *Formelemente*, die aus Holz oder aus Stahl bestehen können, sind sowohl in ihrer Projektierung als auch in ihrer Herstellung relativ aufwendig. Auf der Baustelle sind sie aber sehr rasch aufgestellt, da sie leicht und handlich sind. Bei Wiederverwendung auf möglichst vielen Baustellen

spielt der ursprüngliche Anschaffungspreis dieser eigentlichen Formelemente aber keine grosse Rolle mehr, was wesentlich zur Wirtschaftlichkeit der modernen Schalen beiträgt.

2. Als eigentliche *Schalungshaut* können geeignete Wärmedämmplatten eingesetzt werden, so dass mit der Schalungsarbeit gleichzeitig die Isolationsaufgabe gelöst wird. Die Arbeit ist insofern anspruchsvoll, als im Rohbaustadium bereits ein Element des Ausbaus verlegt wird. Je sorgfältiger vorgegangen wird, um so weniger Nacharbeit ist nachträglich nötig.

Da die Platten rechteckig sind, müssen sie bei gewissen Schalenformen noch zugeschnitten werden. Dies ist der Fall zum Beispiel bei Kugelschalen oder auch bei hyperbolischen Schalen infolge des Einschnüreffektes zwischen den geraden Erzeugenden. Hingegen haben sich viele der neuen Formen unerwarteterweise als «quasi abwickelbar» erwiesen, so dass die Platten praktisch ohne Zuschnitt auf die Form passen, falls mit dem Verlegen am richtigen Ort begonnen wird (Beispiele: Industrie- oder Bukkelschalen).

① Deitingen, BP-Tankstelle / Station-service / Filling station

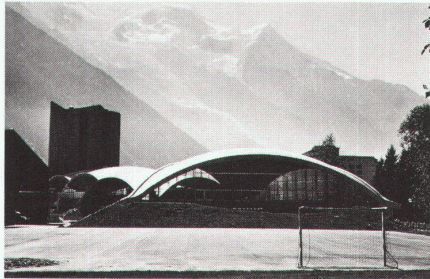
② Monument Pully, Artiste A. Duarte, parabolische Hyperboloide / Paraboloides hyperboliques / Parabolic hyperboloids



1

2

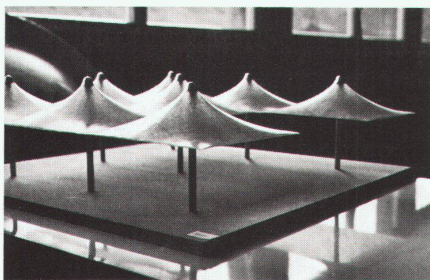




3



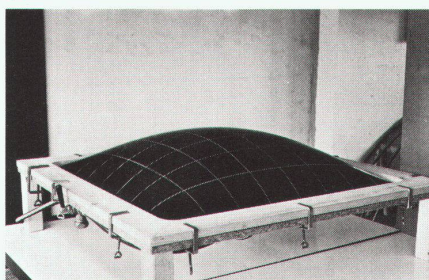
4



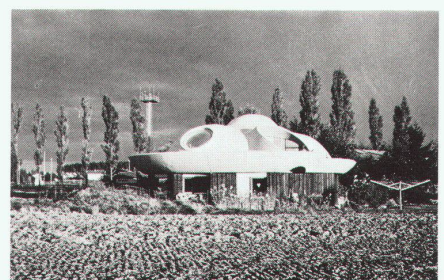
6



5



7



8

3. Der Betoniervorgang ist neben der exakten Formerzeugung der wichtigste Moment im Bau einer Schale. Hängt doch von der erreichten *Betonqualität* das gesamte spätere Verhalten der Schale ab. Dieser Guss der grossflächigen, dünnen Betonschicht findet unter freiem Himmel statt, exponiert den jeweiligen Witterungs-, Wind- und Temperaturverhältnissen. Und er stellt an die ausführenden Leute grosse Anforderungen, sind die Flächen doch immer geneigt und manchmal sehr steil. Nicht nur wird vom Beton eine hohe gleichmässige Festigkeit verlangt, nein, er soll auch noch dicht, wetterfest und anständig in seinem Aussehen sein.

Viele der neuen Schalenformen können als reine Druckkonstruktionen konzipiert werden. Dadurch werden sie rissfrei und erübrigen einen Dachbelag.

### Typologie der heute bekannten Schalen

Der Verfasser fand es am einfachsten, die grosse Vielfalt der möglichen Formen zu klassieren nach dem Weg, auf welchem die Form gefunden wird, also nach den *Formfindungsmethoden*. Diese sind:

- geometrische Formen;
- mathematische Formen;
- experimentelle Formen (Spannformen, Stempelformen, Druckformen [pneumatische], Fließformen, Hängeformen);
- frei modellierte Formen;
- Naturformen.

Jede dieser Formklassen hat ihre spezifischen Merkmale. So weisen z.B. die im pneumatischen Experiment gefundenen Formen meist sehr gute Resistenz gegen Beulen auf.

3 Cité Scolaire, Chamonix, Architekt: R. Tallibert. Kugelausschnitte / Segments sphériques / Spherical segments

4 Mathematische Formen: Villa in Collonge-Bellerive, Architekt: P. Camoletti, Schale auf 3 Punkten / Formes mathématiques: coque sur 3 points / Mathematical forms: shell on 3 points

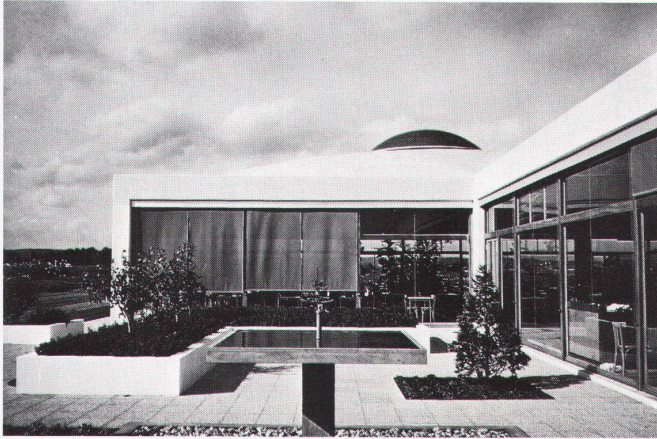
5 Spannform: Pavillon aus Eis / Coque tendue: pavillon en glace / Tension form: pavilion made out of ice

6 Stempelform: Marktüberdeckung aus transparentem Kunststoff, Modell / Forme en poinçon: couverture de marché en matière plastique transparente, maquette / Punch form: market cover out of transparent plastic, model

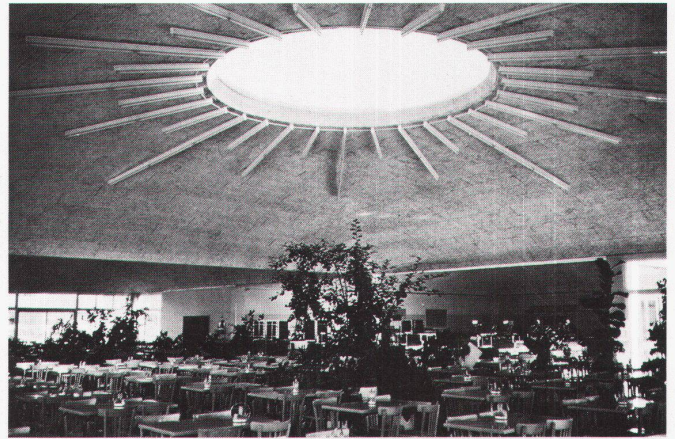
7-12 Pneumatische Druckformen / Formes gonflées pneumatiques / Pneumatic pressure forms

7 Formmodell / Maquette de forme / Model of shapes

8 Schalenhaus Balz Stetten, Architekt: M. Balz / Maison en coque Balz Stetten / The Balz Stetten shell house



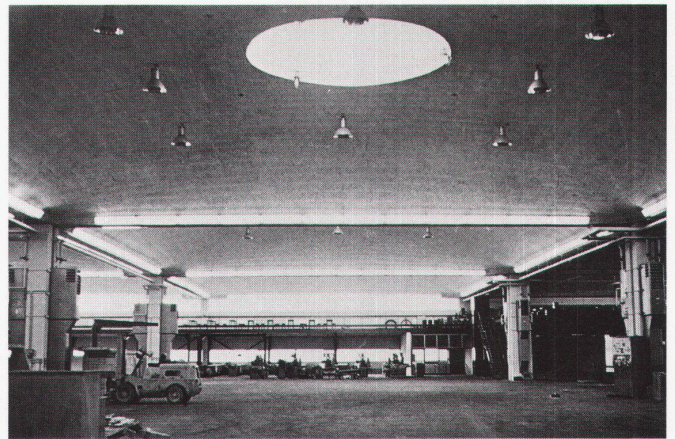
9



10



11



12

Die im Fliessexperiment erzeugten Formen geben Raumverhältnisse, die für die Nutzung günstig sind. Sie sind aber statisch erst tragfähig, wenn freie Ränder mit Randgliedern, Aufkantungen oder Abspannungen versehen werden.

Die elementaren geometrischen Formen wie Zylinder, Kegel oder Kugelausschnitte sind zwar sehr einfach zu definieren und zu zeichnen, bieten aber in der praktischen Ausführung die gleichen oder noch grössere Probleme wie nicht-geometrische Formen. Und im Tragverhalten sind sie sehr oft schlecht.

Die im Hängeexperiment gefundenen Schalen geben oft sehr attraktive Gestalten. Sie können punktgestützt sein und freie Ränder aufweisen (Beispiel Grötzingen, Abb. 21). Ihre Gefahr liegt in wenig gekrümmten flächigen Zonen, die langfristig zu unerwarteten Deforma-

tionen neigen und sogar örtlich beulen können. Auch die freien Ränder bedürfen besonderer Sorgfalt im Modellversuch. Ein neugefundener Schritt im Formfindungsversuch ermöglicht die Schaffung von Aufbördelungen, wodurch der freie Rand die nötige Aussteifung erhält, ohne dabei die visuelle Leichtigkeit zu verlieren.

#### Vielfalt und Einfachheit

Es scheint heute möglich, praktisch zu jeder gestellten Rahmenbedingung nicht nur eine, sondern mehrere statisch günstige Schalenformen zu finden. Bauherr, Architekt oder Ingenieur können dann diejenige Form auswählen, die der Funktion und der Vorstellung am besten entspricht.

Die Schale kann punktgestützt (sogar auf verschiedenen Niveaus wie bei

der Autobahntankstelle Deitingen, Abb. 1), liniengestützt oder umfanggelagert sein. Zu jeder Kombination von Punkten und Linien lässt sich die Form der gewünschten Bauhöhe entsprechend experimentell ermitteln. Dadurch ergibt sich eine enorme Vielfalt von Möglichkeiten, von denen erst ein sehr bescheidener Teil

9 Restaurant Clause, Brétigny / Architekten / architectes / architects: Denieul+Martí

10 Restaurant Clause, Brétigny / Innenansicht / Vue intérieure / Interior view

11 Textilmaschinenfabrik Morat, Bonlanden, Architekten Roedel+Kieferle / Usine de métiers à tisser / The Morat Textiles Factory

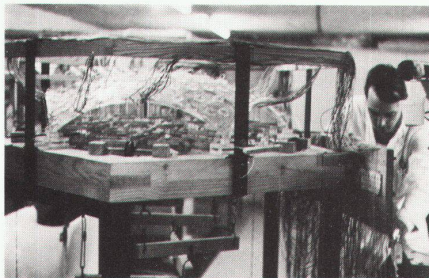
12 Textilmaschinenfabrik Morat, Innenansicht / Usine de métiers à tisser Morat, vue intérieure / The Morat Textiles Factory, interior view



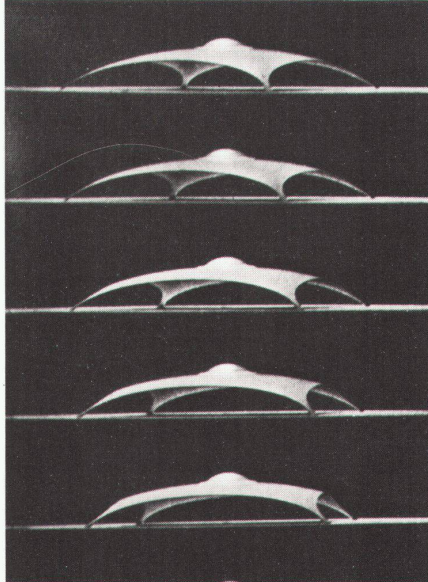
13



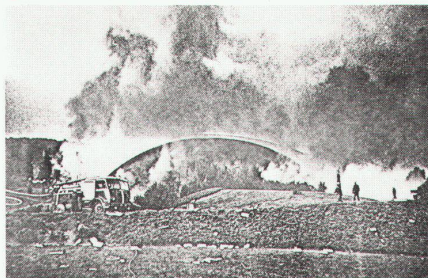
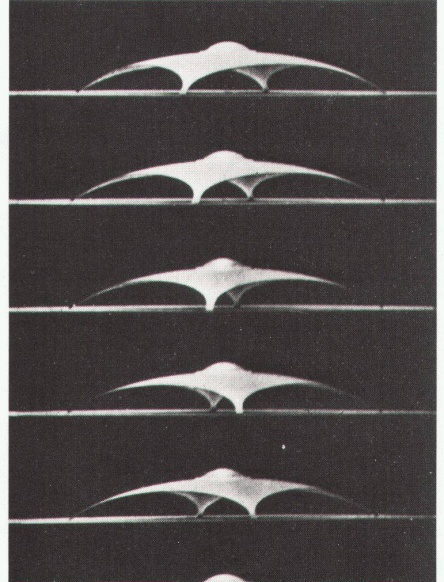
14



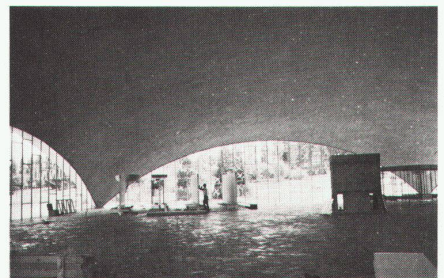
16



15



17



18

gefunden, geschweige denn gebaut worden ist.

Andererseits ist jeder echte Schalenbau charakterisiert durch seine Einfachheit. Obwohl jeder Punkt seine individuelle Höhe und Krümmung aufweist, sind die Formen als Ganzes sehr klar und einfach. Von aussen wirken die runden Baukörper klein und wenig voluminös, sie sind ja auch im wirklichen Volumen wesentlich kleiner als jeder umschriebene kubische Baukörper.

Von innen hingegen wirken die Formen gross und frei. Und durch das Wegfallen von Trägern, Unterzügen oder Stabgewirr sind die Dächer unauffällig und lassen dem, was im Raum geschieht, die Hauptaufmerksamkeit.

Die grösste Einfachheit liegt aber in der Tatsache, dass Aussengestalt und Innenform identisch sind. Unterscheiden

sich doch beide nur durch eine geometrische Differenz von nicht einmal 10 Zentimetern. Und in dieser winzigen Differenz liegt auch noch die gesamte Tragkonstruktion!

#### Akustik und Energie

Bisweilen treten bei unmöblierten Räumen Echoschwingungen auf. Sobald aber die Räume möbliert oder besetzt sind, verschwinden diese Wirkungen. In Theatern und Wohn- oder Büroräumen ist die Verständigung über weitere Distanzen sogar verbessert. In Industriebauten mit Buckelschalen treten durch die Reflexion und Absorption in der einzelnen Kuppel akustische Einheiten auf: der Lärm bleibt am Ort, wo er erzeugt wird, und pflanzt sich auch ohne Zwischenwände nur sehr wenig in die Nachbarhallen fort.

15-18 Fliessformen / Formes de fusion / Flow forms

13 Pavillon Kilcher, Rechterswil, Architekt: P. Wirz, Entwurf: H. Isler

14 Garten-Center Clause, St-Appoline. Paris

15 Aspekte der drehenden Schale / Aspects de la coque de rotation / Aspects of the revolving shell

16 Statische Nachuntersuchung am Modell / Etude statique sur maquette / Static controls of the model

17 Schale Clause in 7stündigem Grossbrand / La coque: 7 heures d'incendie / The shell: 7 hours long big fire

18 Unversehrte Schale nach der Wiederinstandstellung / La coque intacte après nettoyage / Untouched shell after cleaning

19-25 Hängeformen / Formes suspendues / Suspended forms

19 Hölzerne Formelemente für Schale Düdingen / Eléments de coffrage en bois / Wooden formal elements



19

Die Wärmedämmung der Schalen erfolgt auf der Schalenunterseite. Die Isolationsstärke kann den gewünschten k-Werten angepasst werden. In Räumen mit klimatischen Normalbedingungen treten selbst an extremen Kalttagen keine nennenswerten Durchfeuchtungen ein, die nicht wieder schadlos verschwinden, sei es durch die Dampfporosität der dünnen Schale nach aussen oder wieder zurück in den Innenraum.

Bei ausgesprochenen Feuchträumen, zum Beispiel bei Hallenbädern oder Kühlräumen, braucht es einen Isolationsaufbau mit Dampfsperre.

Interessant ist die Lösung beim Wohnhaus von Architekt Balz in Stetten (Abb. 8). Dort ist die Schale gleichzeitig Sonnen- und Wärmekollektor. Mittels eingelegter Rohrschlangen wird nicht nur jeder Sonnenstrahl eingefangen, nein,

auch die Innenwärme, die durch die Schale entweichen möchte, wird wieder in den Speicher unter dem Haus zurückgepumpt.

#### Sind Schalen Fremdkörper?

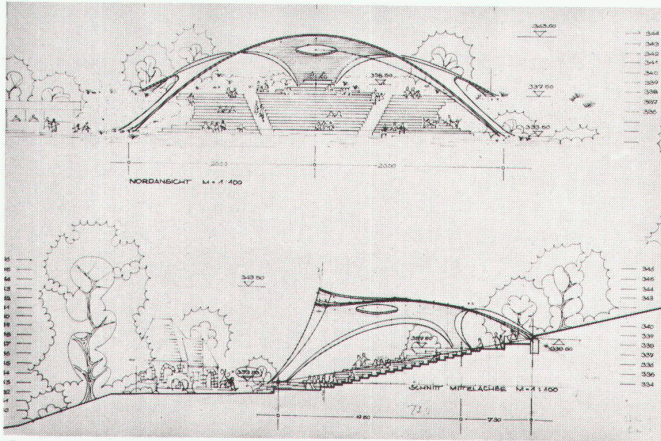
Weisse runde Schalenformen sind sicher auffällig. Ihrer ungewohnten Gestalt wegen können sie in gewisser Umgebung bestimmt zu Diskussionen Anlass bieten. Ihre natürliche und harmonische, aus Naturgesetzen gefundene Form ist aber besser verträglich mit vielen natürlichen Landschaften als andere Bauformen. So sind an etlichen Orten in Landschaftsschutzgebieten und in geschützten Parks Schalen zur Anwendung gekommen, da andere Bauformen nicht befriedigt haben. Für etliche Bauten sind Schalen deshalb gewählt worden, weil die Bauherrschaft das Auffällige mit dem

Gefälligen verbinden konnte.

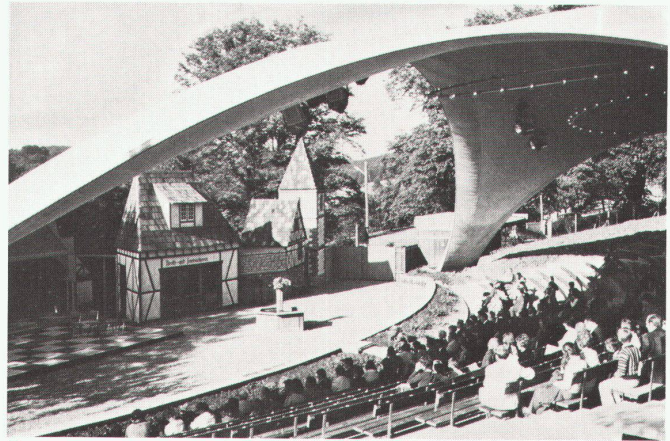
Im übrigen verschwindet die weisse Farbe sehr schnell. Beton ist nur im ersten Jahr weiss. Bald ist die weisse äusserste Kalkschicht weggelöst, und der Beton wird zu dem, was er eigentlich ist: gegossener Naturstein mit der unauffälligen grauen Farbe.

#### Lebensdauer und Beseitigung

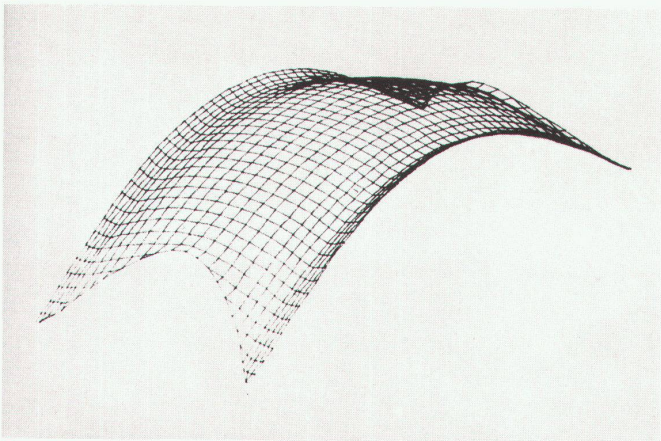
Modern konzipierte Schalen weisen eine enorme Wetterresistenz auf. Beobachtungen an sehr vielen Schalen mit Alter bis zu 30 Jahren zeigen, dass die natürliche Erosion zwar stattfindet, aber sehr langsam vor sich geht. Aus der ursprünglich glatten Betonoberfläche wird im Laufe der Jahrzehnte eine Art von Waschbeton, wo langsam die Kies- und Sandkornoberflächen zum Vorschein



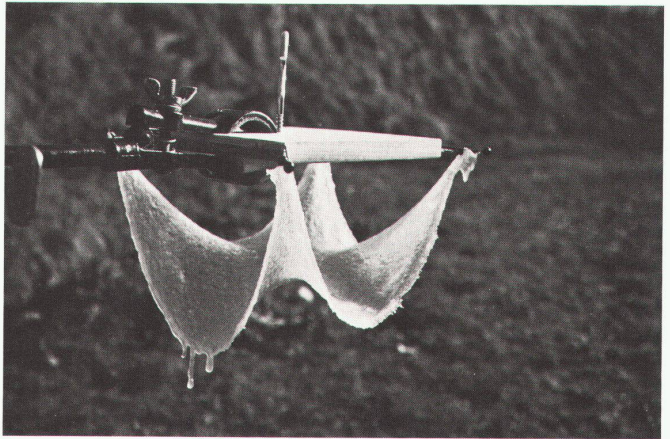
20



21



22



23

kommen. In 30 Jahren ist etwa mit einem Zementmilchabbau von ca. 2 mm zu rechnen, immer vorausgesetzt, dass hochwertiger Beton erzeugt worden ist.

Dies lässt auf eine weitgehende Unterhaltsfreiheit von etwa 100 Jahren schliessen. Da zudem die meisten Schalen gegen Erdbeben sehr resistent sind und zu den brandsichersten Konstruktionen gehören, die es überhaupt gibt (Grossbrand in Paris, Abb. 17), kann mit sehr langer Standdauer gerechnet werden. Da die guten modernen Schalen rissefrei sind, ist für Gegenden mit aggressiver Luft nicht viel zu fürchten. Es sind nirgends Karbonatisierungen an Armierungen beobachtet worden ausser an Stellen, wo von Anfang an zu kleine Überdeckungen vorhanden waren infolge ungenauen Verlegens der Eisenstäbe oder wo einzelne Enden von Baustahl-

matten aus der Oberfläche herauschauten.

Muss andererseits einmal eine Schale abgebrochen werden, weil sie zum Beispiel einem Hochhaus weichen muss, so erweist sich die minime Materialmenge als sehr vorteilhaft. Innert weniger Stunden kann das dünne Bauwerk ohne grossen Aufwand abgebrochen und restlos entfernt werden (Abbruchtest in Uster).

#### Ausblick

Das Schalenprinzip ist ein natürliches Bauprinzip, das sowohl in der Natur als auch in der menschlichen Technik seine Leistungsfähigkeit bewiesen hat. In ihm liegen noch zahllose unentdeckte Möglichkeiten und Anwendungen. Sowohl für den kreativen als auch für den ökonomisch denkenden Baufachmann

liegen im Schalenbau grosse Anreize. Es ist deshalb anzunehmen, dass dem Schalenbau in Zukunft vermehrt Bedeutung zukommen wird.  
H. I.

20 Naturtheater Grötzingen, Architekt: M. Balz, Ansicht und Schnitt / Théâtre en plein air / open-air theatre

21 Naturtheater Grötzingen / Théâtre naturel / Natural theatre

22 Computerzeichnung einer Schale, 18x50 m / Dessin d'une coque à l'ordinateur 18x50 m / Computer drawing of a model, 18x50 m

23 Vormodell einer Hängeform / Maquette d'étude pour une forme suspendue / Pre-model of a suspended form

24 Strukturen aus Hängeversuchen / Structures suspendues expérimentales / Structures out of suspension experiments

25 Schalen aus Eis / Coque en glace / Shells made out of ice



