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

Herausgeber: Bauen + Wohnen

Band: 13 (1959)

Heft: 7: Kunststoff, Holz = Matière synthétique, bois = Synthetic material, wood

Artikel: Der Philips-Pavillon an der Brüsseler Weltausstellung. Teil I, Der architektonische Entwurf von Le Corbusier

Autor: Xenakis, Y.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-330071

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Eine Technologie der Kunststoffe

Amtor Schwabe

Will man den Einfluß der Kunststoffe auf die Entwicklung des Bauwesens untersuchen, so tut man gut daran, von zwei Auffassungen auszugehen, die sich extrem gegenüberstehen. Die einen haben die Auffassung, die Kunststoffe im Bauwesen seien völlig abzulehnen, weil die synthetischen Baustoffe aus der Retorte stammten und daher nicht den Charakter des gewachsenen Stoffes hätten; sie bezeichnen sie als unnatürlich und kalt und weisen warnend darauf hin, daß sie sich im Bau noch nicht genügend lang bewährt hätten. Die Enthusiasten dagegen sehen in ihnen die Zukunft des Bauwesens; sie möchten in ihrer Begeisterung fast alle Aufgaben mit Kunststoffen lösen und vertrauen vielfach blindlings diesem neuen Werkstoff, wenn alle anderen Materialien sich als ungeeignet erweisen. Eine solche Auffassung führt zu ganz wesentlichen Neuerungen, die zugleich mit schweren Rückschlägen verbunden sein können.

Die Kunststoffe sind zwar noch in der Entwicklung begriffen, aber bildlich gesprochen keine Säuglinge mehr. Den ersten Kunststoff, das nach ihm benannte Bakelit, erfand der belgische Chemiker Leo H. Baekeland 1908; im Bauwesen wurde es wenig verwendet. Aber Plexiglas und Resopal, zwei Namen, mit denen eine genaue Vorstellung eines Baustoffes verbunden ist, sind schon über fünfundzwanzig Jahre alt und entsprechend lang bewährt; viele andere Kunststoffprodukte sind freilich jünger, die meisten davon aber schon zehn Jahre und länger im Gebrauch. Viele andere sind neu und noch wenig bekannt. Aber wer diese Produkte bewerten will, muß wissen, daß ihre Grundstoffe, die Polyester, Polyäthylene, Polypropylene, Polycarbonate und wie sie alle heißen, meistens Erzeugnisse der Großchemie sind, wo sie in jahre- und oft jahrzehntelanger Forschungsarbeit entwickelt und wo sie von einem Heer von Chemikern und Technikern im anwendungstechnischen Labor und in der Versuchspraxis auf Herz und Nieren geprüft werden, bevor man sie für die allgemeine Verwendung freigibt. Die Wahl von Kunststoff wird vielfach zu einer Frage des Geschmacks gemacht. Und hier können wir feststellen, daß der gefühlsmäßige Eindruck vom Werkstoff mit seinen physikalischen Eigenschaften nicht mehr wie bei den konventionellen Baustoffen Holz, Stahl, Beton, Glas übereinstimmt. So erscheint der Kunststoff «kalt», besitzt aber meistens eine schlechte Wärmeleitfähigkeit; er fühlt sich vielfach warm an, und manche sind hochwertigste Dämmstoffe.

Gewiß hat der Baustoff aus der Retorte nicht den gleichen «Charakter» wie ein gewachsener Baustoff. Ein gewachsenes Baumaterial muß viele Eigenschaften in sich vereinen, um im Bauwesen wertvoll zu sein. Beim Kunststoff dagegen ist es weitgehend möglich, ihm die gewünschten spezifischen Eigenschaften einzuverleiben und ungewünschte Eigenschaften zu eliminieren. Oft wird dem Kunststoff der Vorwurf der «Charakterlosigkeit» gemacht. Kunststoffe haben aber durchaus einen eigenen Ausdruck und eigene Formgesetze. Sie können aber wie kein anderer Baustoff mißbraucht werden.

So wenig wie die große Skepsis, so wenig ist der Wunderglaube gegenüber den Kunststoffen berechtigt. Man darf vom Chemiker nicht erwarten, daß er ein Kunststoffprodukt entwickeln kann, das härter ist als Stahl. Es können für die Kunststoffprodukte auch nicht Dauergarantien verlangt werden, die weit über jene hinausgehen, die man von anderen Baustoffen erwartet.

Kunststoffe besitzen viele hervorragende Eigenschaften; aber auch diese sind begrenzt. Der besondere Vorzug besteht darin, daß einzelne Produkte eine größere Summe von Eigenschaften besitzen als Produkte früher bekannter Werkstoffe, zum Beispiel leichtes Gewicht + Unzerbrechlichkeit + Wasserfestigkeit + glatte porenlose Oberfläche + einfache Bearbeitungsmöglichkeit + schlechte Wärmeleitung. Dennoch ist ihre Anwendungsmöglichkeit begrenzt durch die relativ geringe Wärmefestigkeit, durch die Brennbarkeit und dadurch, daß der Großteil der Kunststoffe nicht völlig witterungsbeständig ist. Kunststoffprodukte können aus verschiedenen Schichten zusammengesetzt sein, wobei jede Schicht Trägerin bestimmter Eigenschaften ist, wie etwa in einer Sandwichplatte. Damit wird der Umfang der Eigenschaften noch um ein Vielfaches erhöht.

Die Kunststoffe können nur in beschränktem Maße fremde Lasten übernehmen; sogar die Dimensionen selbsttragender Konstruktionen sind beschränkt. Bauten von mehr als einem Geschoß können noch nicht aus Kunststoff allein hergestellt werden. Die eingeschossigen Kunststoffhäuser, die in den USA, in Frankreich und in Italien als Modelle gebaut wurden, sind zudem erst in sehr großen Serien wirtschaftlich.

Für besondere «Bauten» ist es möglich, ohne Tragkonstruktionen auszukommen: die Kunststoffhülle wird aufgeblasen und unter einem leichten Überdruck gehalten. In den USA sind Hallen aus einer Hülle kunststoffbeschichteten Nylongewebes gebildet worden. Der Hautrand wird am Boden beschwert und die Hülle mit einem Gebläse aufgerichtet, so daß sie ohne Stützkonstruktion schwebt. Solche Hallen werden bis 18 m Flächendurchmesser gebildet und als Lagerhallen oder Garagen benutzt. Dieses Beispiel zeigt sinnfällig, daß besondere Eigenschaften des Kunststoffes – hier die Reiß- und Verrottungsfestigkeit des Nylongewebes und die dichte und witterungsbeständige Kunststoffbeschichtung – zu Lösungen führen, wie sie mit einem anderen Material undenkbar wären. Das ist zugleich der Beweis, daß die Kunststoffe Veränderungen im Bauwesen herbeiführen. Was hier an einem extremen Beispiel angedeutet ist, gilt auch für das große Gebiet der Kunststoffverwendung im baulichen Alltag: Änderungen an bewährten Baustoffen und Bauweisen durch Anwendung von Kunststoffen haben nur dann einen Sinn, wenn sie eine Verbesserung auf irgendeinem Gebiet bringen. Diese kann in bezug auf die bauliche Gestaltung, die konstruktive Wirkung, die Dauerhaftigkeit oder die Wirtschaftlichkeit möglich sein. Es hat keinen Sinn, den neuen Kunststoff gedankenlos an Stelle eines anderen Baustoffs zu verwenden, nur weil er heute «modern» ist.

Es ist typisch für die Kunststofferzeugnisse, daß ihre Form, Gestalt, Farbe und Struktur der Oberfläche meistens schon im Stadium der Herstellung festgelegt werden müssen. Sie kommen als fertige Produkte aus der Presse und lassen sich in der Regel nachträglich nicht mehr verändern. Deshalb muß die Entwurfsarbeit mit der industriellen Produktion zusammengehen.

Der Philips-Pavillon an der Brüsseler Weltausstellung [1]

Y. Xenakis

I. Der architektonische Entwurf von Le Corbusier

C. G. J. Vreedenburgh

II. Die Hypparschale und ihre mechanischen Eigenschaften

A. L. Bouma und F. K. Ligtenberg

III. Modelluntersuchung für den Bau des Pavillons

[1] Aus Philips' Technische Rundschau, Jahrgang 20, Nr. 2 und 3/4.

Auf der Brüsseler Weltausstellung hatte Philips in der Nähe des holländischen Pavillons einen eigenen Pavillon bauen lassen. Mit Hilfe eines musikalisch untermalten Schauspiels wurde gezeigt, was die Technik auf einigen der wichtigsten Arbeitsgebieten der Beleuchtungstechnik, Akustik, Elektronik und Automation heutzutage zu leisten vermag. Zu gleich wollte dieses Schauspiel eine Vorstellung von der Art und Weise geben, wie in der Zukunft der Künstler diese technischen Mittel vielleicht ausnutzen wird. Die Ausführung wurde Le Corbusier übertragen. Dieser hatte sich nicht darauf beschränkt, ein Gebäude für die Darbietungen zu entwerfen, sondern hatte außerdem das Drehbuch für das Schauspiel verfaßt, dem er den Namen «Elektronisches Gedicht» gab und zu dem Edgar Varèse die Musik schrieb.

Das Gebäude ist aus Schalen in Form von hyperbolischen Paraboloiden zusammengesetzt. Auch die Ausführung des Gebäudes in vorgespanntem Beton – vorgeschlagen und praktisch ausgeführt von Ir. H. C. Duyster, einem Spezialisten auf diesem Gebiet – ist wegen der Ursprünglichkeit und Eleganz der angewandten Methoden interessant. Bevor sie sich in dieses Abenteuer stürzte – so kennzeichnete Dr. Duyster selbst die Lage –, ersuchte er C. G. Vreedenburgh von der Technischen Hochschule Delft um Beratung hinsichtlich der Spannungen, die in den Schalen unter der Belastung durch Eigengewicht, Wind und Schnee auftreten könnten. Von den Ingenieuren A. L. Bouma und F. K. Ligtenberg wurden in Rijswijk und im Stevin-Laboratorium in Delft Modellversuche durchgeführt, um Dr. Duyster Sicherheit über die Ausführbarkeit der geplanten Baumethode zu verschaffen und ihm die nötigen Unterlagen für die praktische Ausführung zu liefern. Die oben genannten Aspekte werden in den nachstehend abgedruckten Artikeln behandelt: der Entwurf des Architekten, die wissenschaftlichen Grundlagen, die Modellversuche und die Ausführung des Gebäudes.

I. Der architektonische Entwurf von Le Corbusier

Nach Y. Xenakis [1]

Als Le Corbusier sich Anfang 1956 bereit erklärte, den Philips Pavillon zu entwerfen, schwebte ihm eine Konstruktion vor, die einen sehr freizügig geformten Raum umschließen sollte und die man etwa verwirklichen könnte durch Aufspritzen von Zement auf ein Metallnetz, aufgehängt an einem Gerüst. Das Bauwerk mußte ein Dach haben sowie Wandflächen, auf welche für die Aufführung eines Schauspiels aus Licht und Ton – das «Elektronische Gedicht» – Bilder, Farbflächen und Filmszenen projiziert werden sollten. Im Oktober 1956 fing Xenakis unter Leitung von Le Corbusier mit den eingehenderen Studien für den Pavillon an.[2] Das Ergebnis dieser Studien war ein Gebäude, das durch die ausschließliche Verwendung von Regelflächen gekennzeichnet ist.
Im folgenden wollen wir versuchen, dieses Resultat, zu dem sowohl praktische Erwägungen wie künstlerische Intuition beigetragen haben, verständlich zu machen.

Der erste Entwurf

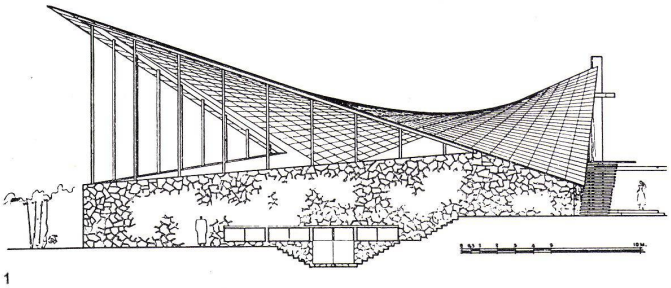
Der Grundriß des Pavillons wurde in ziemlich einfacher Weise durch die Forderungen bestimmt, die durch die geplante Aufführung des «Elektronischen Gedichtes» gestellt waren. Dem Spiel, für das eine Vorführdauer von 8 bis 10 Minuten vorgesehen war, sollten jeweils etwa 600 bis 700 Personen beiwohnen, und zwar stehend und über die gesamte Bodenfläche des Pavillons gleichmäßig verteilt. Man benötigte daher eine Art Kreisfläche mit einem Inhalt von 400 bis 500 m², versehen mit zwei ziemlich großen schlund- oder tüllenförmigen Ansätzen für den Ein- und Ausgang.
Um bei der Projektion von Bildern oder Farbflächen allerlei phantastische Effekte, Farb- und Helligkeitsübergänge usw. zu ermöglichen, sollten die den Grundriß umschließenden Wände des Gebäudes aus gekrümmten Flächen bestehen (wenigstens zum Teil), so daß sie das Licht unter sehr verschiedenen Winkeln empfangen. Jede Gleichförmigkeit sollte vermieden werden, selbst die Gleichförmigkeit der Krümmung, wie sie in kugelförmigen und zylindrischen Gewölben vorhanden ist. Dies lenkte die Gedanken in die Richtung von Flächen mit veränderlichem Krümmungsradius. Von derartigen Flächen konnte man annehmen, daß sie auch den akustischen Anforderungen gerecht werden würden. Um völlige Freiheit bei der Erzeugung der verschiedenartigsten räumlichen Effekte mit Hilfe von Lautsprechern zu gewährleisten, wollte man die nichtbeherrschten Schallbeiträge, die von Wandreflexionen herrühren und die, sei es als isolierte Echos, sei es als Nachhall, hörbar werden, so weit wie möglich vermeiden. Bekanntlich sind parallele ebene Wände wegen der wiederholten Reflexionen in dieser Beziehung gefährlich. Auch sind beispielsweise Teile von Kugelflächen ungünstig, da sie lokalisierte Echos verursachen können.

Da nun der Gedanke von Flächen mit möglichst veränderlichem Krümmungsradius einmal gefaßt war, lag es für den Architekten Xenakis nahe, Sattelflächen zu wählen (Flächen mit Sattelpunkten), insbesondere die in diese Kategorie fallenden Regelflächen. Durch die Untersuchungen von Laffaille und anderen Vorläufern war der Architekt vertraut mit einfachen Regelflächen, wie das hyperbolische Paraboloid und das Konoid. Das Konoid wird dadurch erhalten, daß man eine gerade Linie (Erzeugende) entlang einer geraden Linie und einer beliebig gekrümmten Linie (den Leitlinien) gleiten läßt, derart, daß sie dabei parallel zu einer gegebenen Ebene bleibt. Das hyperbolische Paraboloid (Hyppar) wird erhalten, indem man ebenfalls eine Gerade, die stets parallel zu einer gegebenen Ebene bleibt, gleiten läßt, jedoch entlang zwei windschiefen Geraden (zwei geraden Leitlinien, nicht zu verwechseln mit den im Artikel II eingeführten Richtlinien, $O\xi$ und $O\eta$ in Abb. 1). Eine Schale in der Form eines Hyppars ist bis zu einem gewissen Grade statisch berechenbar und besitzt sehr bemerkenswerte Festigkeitseigenschaften (siehe Artikel II dieser Serie). Außerdem eignen sich diese durch gerade Linien erzeugten Flächen hervorragend für eine praktische Verwirklichung mit Hilfe von geraden Holzbalken oder in Beton (siehe Artikel IV). Auf Grund dieser Eigenschaften hat man solche Flächen bereits in verschiedenen Ländern angewendet, insbesondere für Dachkonstruktionen; Abbildung 1 zeigt ein Beispiel.

[1] Mitarbeiter von Le Corbusier.

[2] Eine kurze Übersicht über diese Studien erschien bereits in: Y. Xenakis, Le Corbusiers «Elektronisches Gedicht» und der Philips Pavillon, Gravesaner Blätter 3, 43–50, 1956 (Nr. 9).

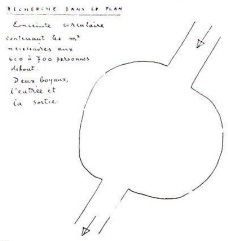
1
Die Kirche Notre-Dame de la Solitude in Coyoacan (Mexico) mit einem Betondach aus einer Schale in Form eines hyperbolischen Paraboloids, entworfen von Architekt Felix Candela. (Aus F. Candela, Les voûtes minces et l'espace architectural, L'architecture d'aujourd'hui 27, 22–27, März 1956.)



1

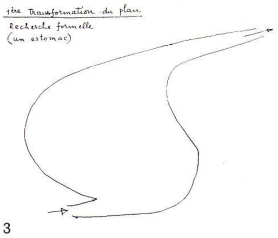
Der Philips Pavillon bot dem Architekten die einzigartige Gelegenheit, eine architektonische Komposition völlig aus den genannten Regelflächen aufzubauen und in dieser Weise eine homogene, dreidimensionale Hülle zu schaffen, in dem Sinne, daß jede der drei Dimensionen hier wirklich eine unabhängige Rolle zu erfüllen bekam – dies im Gegensatz zur konventionellen Architektur, bei der sich meistens die Grundrißform in jedem Querschnitt, bis hoch über der Bodenfläche, noch manifestiert. Die praktische Verwirklichung dieses neuen architektonischen Gedankens jedoch mußte der Intuition und dem Formgefühl überlassen werden; sie spielte sich ab in einem Prozeß, dem nicht mit logischer Argumentierung zu folgen ist. Hierfür geben wir das Wort dem Architekten, der in einer Serie von Skizzen, Abbildungen 2–10, zeigt, wie sein erster Entwurf zustande kam.

2–4
Entwicklung des Grundrisses.



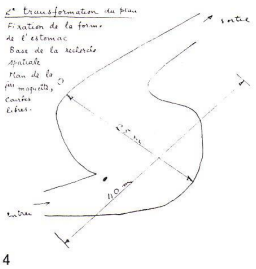
2

2
Kreisförmiger Raum, zwei Tüllen als Ein- und Ausgang.



3

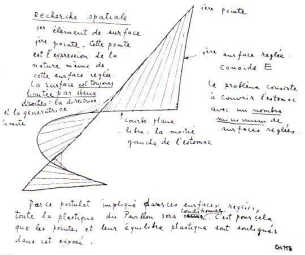
3
Nähere Bestimmung der Form; die Architekten bezeichneten diese, unter anderm wegen ihrer Funktion – Aufnahme und nachherige Weiterbeförderung von Menschenmengen –, kurz als «Magen».



4

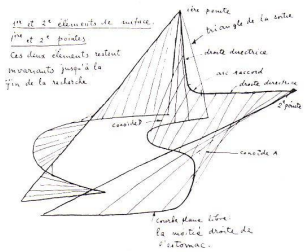
4
Ausgearbeitete Form des Grundrisses, der die Basis des ersten Entwurfs bildete.

5–10
Entwicklung des Raumes bis zum ersten Entwurf.



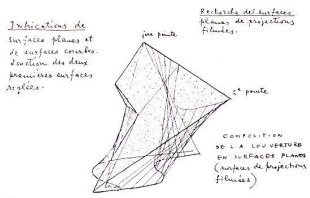
5

5
Grenzkurve der linken Hälfte des «Magens». Es war beabsichtigt, den Grundriß mit einer möglichst geringen Anzahl Regelflächen zu überdachen. Durch die Grenzkurve ist hier ein Konoid (E) gelegt; diese Wand wird von zwei geraden Linien begrenzt: die gerade Leitlinie (die durch den linken Endpunkt der Grenzkurve geht) und die letzte Erzeugende (die durch den rechten Endpunkt geht). So entsteht die erste Spitze des Pavillons.



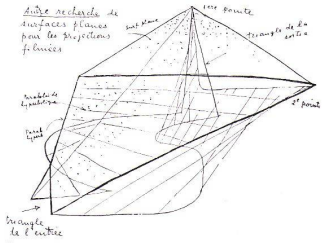
6

6
Durch die Grenzkurve der rechten Hälfte des «Magens» wird ebenfalls eine Regelfläche gelegt, die jedoch aus zwei Konoiden A und D besteht. Die gerade Leitlinie von D läuft durch die erste Spitze, die letzte Erzeugende an dieser Seite bildet mit der von E eine dreieckige Ausgangspforte. Die gerade Leitlinie von A läuft durch eine zweite Spitze und ist durch einen kleinen Bogen an die von D angeschlossen. Die so erhaltene Basisform bleibt bis zum ersten Entwurf, mit gewissen Änderungen sogar bis ins errichtete Gebäude erhalten. Die Schaffung eines ästhetischen Gleichgewichtes zwischen den beiden Spitzen wird zum Hauptproblem des Pavillons.



7

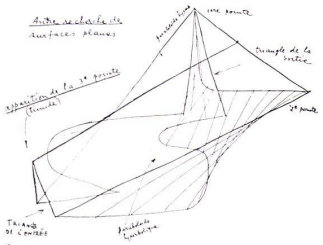
7
Versuch, den Raum zwischen den erst entworfenen Regelflächen mit ebenen Flächen (die als Bildwand dienen könnten) zu schließen.



8

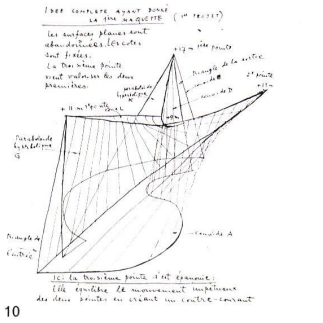
8
Ein weiterer Versuch; über dem Eingang ist eine kleine Dreiecksporte gebildet, die durch zwei hyperbolische Paraboloide flankiert wird (später G und K genannt), das Ganze abgedeckt durch eine horizontale Dachfläche.

9
Weiterentwicklung von Abbildung 8. Die dritte Spitze beginnt sich schüchtern abzuzeichnen.



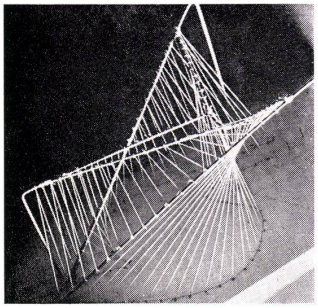
9

10
Der erste Entwurf (siehe auch das erste Modell). Er enthält keine ebenen Flächen mehr. Die dritte Spitze ist voll entwickelt und schafft durch ihren entgegengesetzt gerichteten Verlauf ein Gegengewicht für die ersten beiden Spitzen. Die Höhen der drei Spitzen sind festgelegt. Die dritte Spitze und der Verbindungsbogen zwischen den geraden Leitlinien der Konoide A und D bilden den Scheitel beziehungsweise die Grundflächenumrandung eines Kegels L.



10

Dieser Entwurf (Abb. 10) enthält ein Konoid E; eine Fläche, die in der Hauptsache aus den zwei Konoiden A und D besteht; die hyperbolischen Paraboloide K und G; einen Verbindungskegel L und zwei als Ein- und Ausgang fungierende offene Dreiecke. Man sieht, daß die zwei Spitzen, die entstanden sind durch die zwei Geraden, die vom Ende einer der Tüllen aufsteigen, hier durch eine dritte, über dieser Tülle aufragenden Spitze im Gleichgewicht gehalten werden.
Abbildung 11 zeigt ein Modell dieses ersten Entwurfs. Die Rippen, in denen die Flächen einander durchdringen, sind in diesem Modell durch Klaviersaiten dargestellt, deren umgebogenes Ende in einem Brettchen befestigt wurde, während die Flächen selbst durch zwischen den Rippen gespannte Fäden realisiert sind.



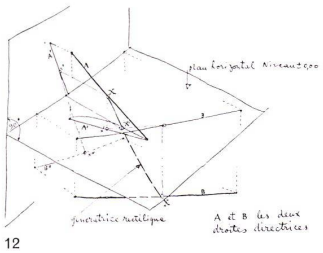
11
Das erste Modell. Auf der Grundfläche ist der «Magen» aufgetragen, die Fäden geben die Regelflächen an. Die umgebogenen Enden der Stäbe (Klaviersaitendraht), welche die Durchdringungen der Regelflächen darstellen, haben keine strukturelle Bedeutung.

Der zweite Entwurf

In diesem Stadium wandten sich die Architekten an die Ingenieure eines Pariser Bauunternehmens mit der Bitte um Beratung bezüglich der Art und Weise, wie das Gebäude praktisch gebaut werden könnte.
Im Hinblick auf die Schallisolierung forderte Philips für die Wände ein Gewicht von 120 kg/m² (Beton oder Zement von ungefähr 5 cm Dicke). Es kam daher nicht in Frage, das Gebäude in Form eines Zeltes aus Segeltuch oder dergleichen, mit oder ohne metallischer Verstärkung, aufzuziehen. Unter diesen Umständen waren die um Rat gefragten Ingenieure der Meinung, daß man den Pavillon nicht ohne ein verhältnismäßig schweres Metallskelett, entsprechend den Klaviersaiten des Modells, und mit Stützen gemäß den umgebogenen (senkrechten) Teilen dieser Saiten würde bauen können. Ferner hielten sie es jedenfalls für wünschenswert, die Konoide in hyperbolische Paraboloide umzuwandeln, um den Verlauf aller Flächen leicht exakt angeben zu können und sowohl die statische Berechnung als auch die spätere bauliche Ausführung zu vereinfachen.
Dieser Rat wurde von Le Corbusier und Xenakis angenommen, vor allem deswegen, weil sie selbst fühlten, daß dem ersten Entwurf noch ästhetische Mängel anhafteten, so daß ohnedies eine Revision des Entwurfs erforderlich war.
Bei der Umwandlung der Flächenelemente ging Xenakis experimentell vor. Er benutzte ein einfaches Instrument: zwei gerade Metallstangen (Stricknadeln), mit einander verbunden durch eine Reihe Gummifäden, die in gleichen Abständen an jeder der beiden Stangen befestigt waren. Die Fäden bilden die Erzeugenden eines Hyppars, das festgelegt wird durch den Abstand zwischen den beiden Stangen, den Winkel, den die Stangen miteinander bilden, und die Lage von zwei beliebigen Fäden. Andere Variable legen die Position des Hyppars in bezug auf den Boden fest. Jede einzelne Fläche des Pavillons wurde vom Architekten durch Probieren erarbeitet, nämlich indem er sämtliche genannten Variablen gleichzeitig änderte und, sobald die Form der betreffenden Fläche ihn befriedigte, sie sofort nach den Methoden der darstellenden Geometrie in einer Zeichnung festlegte.[3] Zu letzterem Zweck genügt es, die gewählte Lage der beiden Stangen (A und B) und zweier hierauf befindlicher Paare von zugeordneten Punkten (z.B. die Endpunkte des ersten und des letzten an den Stangen befestigten Gummifadens) in Grundriß und Aufriß anzugeben; siehe Abbildungen 12 und 13. Dadurch sind ja sämtliche Paare von zugeordneten Punkten bestimmt, und jedes Paar liefert eine Erzeugende. Die Punkte, in denen die Erzeugenden die horizontale Ebene durchstoßen, ergeben die Schnittlinie dieser Ebene mit dem benutzten Teil des Hyppars (Abb. 14). Diese Schnittlinie kann ein Teil einer Hyperbel oder Parabel sein (dies ist der Fall, wenn sich eine der Stangen des benutzten Instrumentes unter der horizontalen Ebene befindet), oder eine Gerade (wenn eine der Stangen in der horizontalen Ebene liegt), oder in einem Sonderfall ein einzelner Punkt. Im Entwurf kommen auch verschiedene Hyppars vor, deren benutzter Teil den Boden überhaupt nicht berührt.

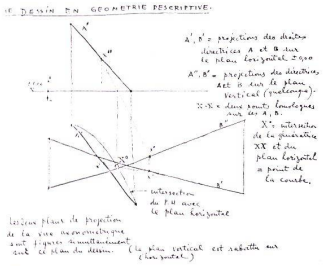
[3] Es leuchtet wohl ein, daß es in diesem Fall nicht zweckmäßig gewesen wäre, die Hypparflächen durch die numerischen Werte der Koeffizienten in der entsprechenden, aus der analytischen Geometrie bekannten Gleichung anzugeben.

12
Axonometrische Darstellung der Art und Weise, wie ein hyperbolisches Paraboloid in der darstellenden Geometrie gezeichnet wird. Die (geradlinigen) Leitlinien A und B werden in Grundriß (A', B') und Aufriß (A'', B'') angegeben, desgleichen zwei Paare von zugeordneten Punkten, zum Beispiel die «Endpunkte» der Leitlinien A, B.



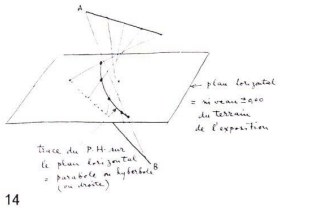
12

13
Leitlinien A, B eines hyperbolischen Paraboloids in Grund- und Aufriß, wie in Abbildung 12 skizziert. Auch die Projektionen einer beliebigen Erzeugenden, die zwei zugeordnete Punkte X, X auf den Leitlinien verbindet, sind gezeichnet; diese Erzeugende durchbohrt die horizontale Ebene im Punkte X°.



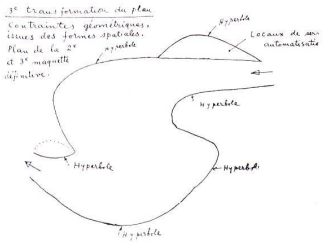
13

14
Die Schnittlinie eines hyperbolischen Paraboloids mit der Horizontalebene wird aus den Punkten konstruiert, in denen eine Reihe Erzeugenden diese Ebene treffen.



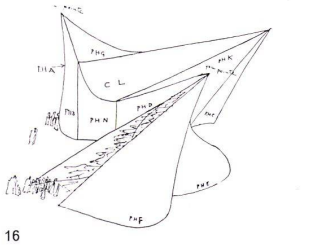
14

15
Der revidierte Grundriß, für den zweiten (und für den endgültigen) Entwurf. Die Grenzkurven sind jetzt aus Hyperbelstücken zusammengesetzt. (Aus praktischen Gründen sind Eingang und Ausgang gegenüber dem ersten Entwurf vertauscht.)



15

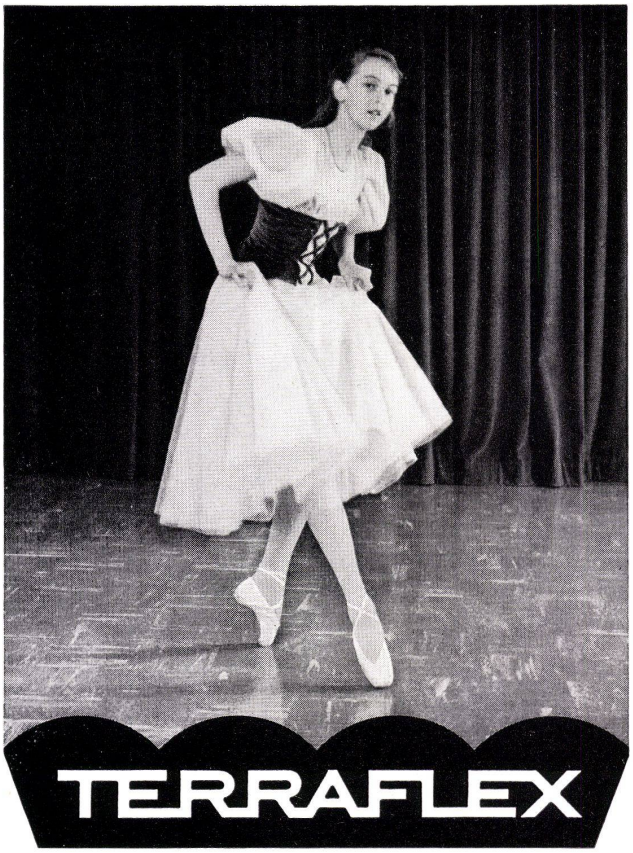
16
Der zweite Entwurf. Alle Flächen des ersten Entwurfs mit Ausnahme des Kegels L sind hier in hyperbolische Parabolide umgewandelt, und außerdem sind zwei neue hyperbolische Paraboloide (F und C) hinzugefügt. Der Entwurf wird hier im Vergleich zur Abbildung 10 von der entgegengesetzten Seite gezeigt; man erkennt dies am einfachsten, wenn man den Kegel L beachtet, dessen Scheitel in dieser Skizze rechts oben liegt. Die erste Spitze liegt hier vorn.



16

Der erste Schritt im Zuge der Überarbeitung des ersten Entwurfs bestand darin, die Lage der drei Spitzen im Raum neu zu wählen, um dadurch harmonischere Proportionen zu erhalten. Der Unterschied zwischen der zweiten und der dritten Spitze mußte akzentuiert, der in der Mitte gelegene Kegel L vergrößert werden. Die Höhe der Spitzen wurde jetzt auf 21 m, 13 m bzw. 18 m festgelegt. Anschließend bestimmte der Architekt, indem er abwechselnd mit seinem Hilfsgerät experimentierte und die gefundenen Flächen aufzeichnete, die Hypparschalen, die einerseits sein Formgefühl befriedigten und andererseits Schnittlinien mit dem Boden ergaben, die sich möglichst gut an den ursprünglichen Grundriß anschmiegten.
Im Dezember 1956 war in dieser Weise der zweite Entwurf völlig ausgearbeitet und in Zeichnungen festgelegt (Abb. 15 und 16). Nach diesem Entwurf wurde ein neues Modell hergestellt (Abb. 17).

Vergleicht man den zweiten Entwurf mit dem ersten, so sieht man, daß die Hypparflächen G und K (die die wichtigsten Flächen für die zu projizierenden Bilder darstellen) beibehalten wurden, während der Kegel L verbreitert ist und die Konoide A, E und D in fünf Hyppars A, E und B, N, D umgewandelt sind. Außerdem sind zwei neue Hyppars, C und F gebildet. Das Hyppar F, das sich an das Hyppar E anschließt, bietet den nötigen Raum für verschiedene Einrichtungen (Ventilatoren, Toiletten, Aufenthaltsraum für Bedienungspersonal) sowie für die umfangreiche Apparatur, mit der die automatische Aufführung des jede Stunde einige Male wiederholten Schauspiels bewirkt wird.



-Bodenbelag, seit 20 Jahren bewährt und ständig verbessert, ist ein **Spitzenprodukt.**

36 wohlausgewogene, schönste Farbtöne erlauben Kombinationen vom einfachen Zweckboden bis zum anspruchvollsten künstlerischen Dessinbelag: für Industrieräume, Laboratorien, Spitäler, Verkaufslokale, Büros, Studios, Küchen, Korridore, Soussols, Wohndielen, Konferenzräume, Hallen usw.

Die durchgeknetete Mischung von Asbestfasern und Vinyl verleiht TERRAFLEX größte Widerstandsfähigkeit (minimale Abnützung); Feuer-, Fett- und Säurebeständigkeit; hohe Druckfestigkeit; Elastizität (angenehmes Gehen) und Isolierfähigkeit (Spannungen bis 4500 V).

TERRAFLEX-Böden benötigen geringste Wartung (nur aufwaschen), wirken schalldämpfend und lassen sich leicht und rasch verlegen: Größe der Platten 22,8 x 22,8 cm; Stärken 1,6 mm, 2,5 mm und 3,2 mm.

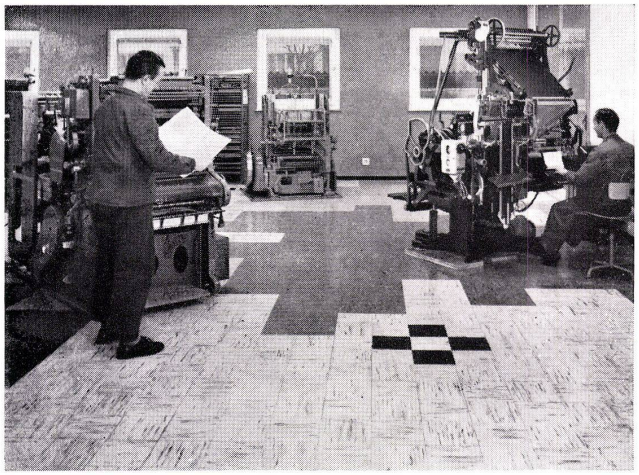
TERRAFLEX im Wohnungs-, Zweck- und Industriebau wird höchsten Ansprüchen gerecht. Verlangen Sie Offerten beim Fachgeschäft.

Generalvertretung:

Flachdach- & Terrassenbau AG.
Bern, Marktgasse 37
Telefon 031/2 76 76

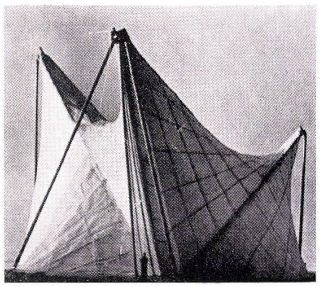
JM

J O H N S - M A N V I L L E P R O D U K T E

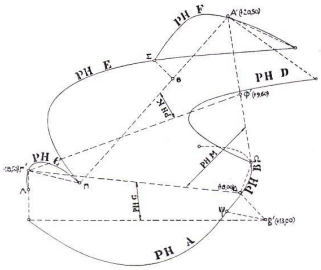


Letzte Änderungen

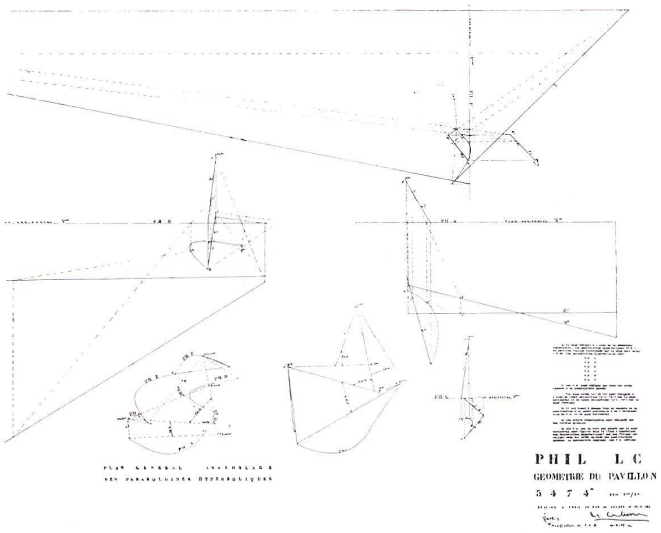
Als Philips bezüglich der praktischen Ausführung dieses zweiten Entwurfs mit verschiedenen Bauunternehmen in Verbindung trat, wußten die meisten Firmen nur eine mehr oder weniger konventionelle Bauweise vorzuschlagen, die im vorliegenden Fall im schroffen Gegensatz zu dem revolutionären Stil des Bauwerks stand: man dachte an doppelwandige Schalen mit einer Gesamtdicke von 80 cm, aus Holz, Metall oder Gips, die von mehr oder weniger komplizierten Skeletten getragen werden sollten. Nur das belgische Bauunternehmen «Strabed» unter der Leitung von Dr. H. C. Duyster machte einen Vorschlag, der sich außerordentlich gut mit den Absichten des Architekten deckte, und zu einem relativ günstigen Preis ausgeführt werden konnte. Dr. Duyster wollte den Pavillon in Form einer 5 cm dicken Schale aus vorgespanntem Beton bauen, die größtenteils freitragend sein sollte, das heißt es waren zwar einige Stützen vorgesehen, die jedoch lediglich den Wänden einen geringen zusätzlichen Halt geben sollten. Es war beabsichtigt, die Form des zweiten Entwurfes genau einzuhalten, mit nur einer unwesentlichen Abweichung: durch ein Mißverständnis beim Studium der Entwurfszeichnung, in der die Hypparflächen, die den Boden nicht berühren, nur pauschal angegeben waren, interpretierte Dr. Duyster den Kegel L und das Hyppar N als Teile eines einzigen Hyppars, das weiter mit M bezeichnet wird. Durch diese Vereinfachung wurde die geometrische Einheitlichkeit des Bauwerkes sogar noch verbessert. Die äußerst elegante Methode, nach der Dr. Duyster die Regelflächen des Pavillons in Beton auszuführen beabsichtigte, ist im Artikel IV dieser Reihe beschrieben.



17
Zweites Modell, von der Seite aus gesehen, die jetzt den Ausgang bildet; die dritte Spitze liegt vorn.

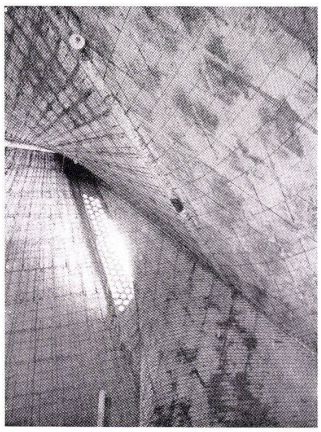


18
Gesamtdarstellung des endgültigen Entwurfs (Teilvergrößerung aus Abb. 19).

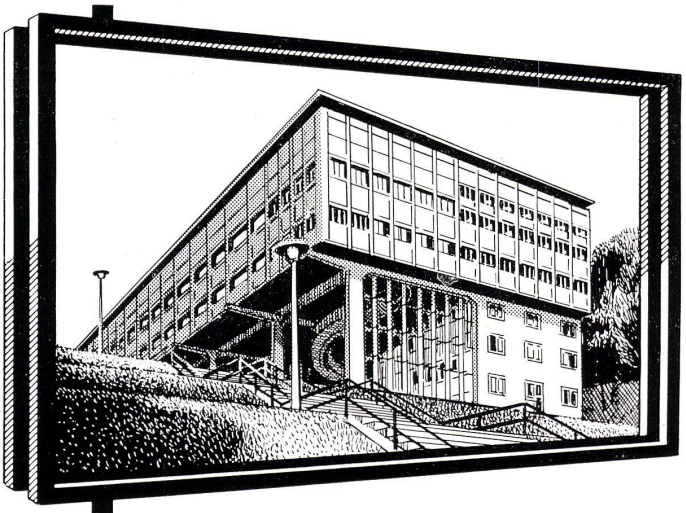


19
Teil der Konstruktionszeichnung der Wandflächen des endgültigen Entwurfs im Maßstab 1:200.

Schließlich noch eine Änderung, die was die Tragfähigkeit betrifft wenig wichtig war, der jedoch im Hinblick auf die architektonische Wirkung des Gebäudes größte Bedeutung zukam. Die Konstruktion enthielt noch stets Stützen, von denen sich eine sogar innerhalb des umschlossenen Raumes befand, was sehr störend wirkte. Der Architekt Xenakis schlug nun eine geringe Änderung der neuen Hypparfläche M und der Hypparfläche B vor, um dadurch sämtliche Stützen entbehren zu können. In den Durchdringungen der Hypparschalen befanden sich ja Rippen, die imstande sein mußten, die tragende Funktion der Stützen wenigstens zu einem großen Teil zu übernehmen. Die Modellversuche (siehe Artikel III) bestätigten, daß in der geänderten Form jetzt völlig auf die Stützen verzichtet werden konnte: die Konstruktion wurde freitragend, das heißt sie enthielt keinerlei tragende Elemente



20
Innenaufnahme des Pavillons. Die Spanndrähte auf dem Beton, die die Raumwirkung unterstützen, wurden hernach dem Anblick leider durch einen Verputz entzogen, der unter anderm für die Projektion der Farbflächen und Bilder notwendig war.



Brown-Boveri entschied sich für

isolierende Doppelverglasung

THERMOPANE

auf Grund folgender Hauptvorteile: Wirksame Wärmeabschirmung im Sommer, ideale Wärme-Haltung im Winter. Starke Schall-Isolation. Kein Anlaufen der Scheiben. Viel weniger Reinigungskosten.

Hunderttausende von Fenstern in allen Ländern montiert.

GLAVER Belgien liefert ausserdem sämtliche Sorten von Spezialglas und Gussglas. Alle Auskünfte durch Ihren Grossisten oder die Generalvertretung

JAC. HUBER & BÜHLER

Biel 3, Mattenstr. 137, Telephon 032 . 38833

15

Referenzliste

Aarau	Schweizerische Rentenanstalt
Altdorf	Dätwyler AG., Schweizerische Draht-, Kabel- und Gummiwerke
Arbon	AG. Adolf Saurer
Baden	Brown, Boveri & Co. AG. (Gemeinschaftshaus Martinsberg)
Basel	Sandoz S.A., Chemische Fabrik (div. Neubauten)
	Ciba AG., Chemische Fabrik (div. Neubauten)
	Bürohochhaus der J.R.Geigy AG. und diverse Neubauten
	Laborgebäude der F. Hoffmann-La Roche & Cie. AG.
Bern	Neubau Tobler AG.
	Neubau Dr. Wander AG.
Boncourt	F.J. Burrus & Co.
Dulliken	Schuhfabrik HUG
Frauenfeld	Schweizerische Bankgesellschaft
Gelterkinden	C.F.Bally AG., Schuhfabrik
Genève	Tavaro S.A., 1–5 Avenue Châtelaine
	Centre Européen de Recherches Nucléaires «CERN»
	B.I.T., Bureau International du Travail
Grenchen	Parktheater
Kloten	Flughafen, Anbau an Hangar I
Lausanne	Assurance «La Suisse»
	Hôpital de Cery
Menziken AG	Aluminium AG.
Neuchâtel	Suchard S.A., bâtiment «Sugus»
Olten	Kantonsspital
Schaffhausen	IWC, Uhrenfabrik
Winterthur	Gebr. Sulzer AG.
Würenlingen	Atomreaktor AG.
Zürich	Kinderspital
	Aluminium-Industrie AG., Chippis (AIAG)
	Neubau Waltisbühl, Bahnhofstraße

mehr, die nicht einen Teil der Wandflächen bilden. Um die dritte Spitze, die sehr stark geneigt ist, besser zu unterstützen, wurde noch das Hyppar C an seiner Basis statt konkav konvex gestaltet, und schließlich wurden die beiden dreieckigen Öffnungen zum Teil durch neue Hypparflächen geschlossen, die sich an die bereits vorhandenen anschließen. In dieser Weise entstand die in den Konstruktionszeichnungen (Abb. 18 und 19) wiedergegebene endgültige Form des Pavillons. In dieser Form wurde der Pavillon vom Bauunternehmen «Strabed» errichtet.

Das in Abbildung 20 wiedergegebene Bild des Inneren wurde aufgenommen, bevor die Spanndrähte des Betons durch die Auskleidung der Wände dem Anblick entzogen waren. Dieses Bild gibt eine gute Vorstellung von der eigenartigen Raumwirkung des Gebäudes.

II. Die Hypparschale und ihre mechanischen Eigenschaften

C. G. Vreedenburgh

Etwa im Jahre 1935 wurden von Laffaille und Aimond die ersten Untersuchungen veröffentlicht über die Kraftverteilung in Hypparschalen – das sind gebogene, als hyperbolische Paraboloide geformte Wände, deren Dicke bezogen auf die Flächenabmessungen sehr gering ist.[1] [2]

Bis vor etwa einem Jahrzehnt zeigte man in der praktischen Bautechnik für diese neue Art von Schalen im Gegensatz zu kugelförmigen und zylindrischen Schalen wenig Interesse. Anscheinend konnte man sich an die Sattelform (entgegengesetzte Krümmungen in zwei zueinander senkrechten Richtungen) schwer gewöhnen, da diese Form mit der konventionellen Architektur unvereinbar erschien. Auch glaubte man, daß die praktische Ausführung sich teurer stellen würde als die der gebräuchlichen Schalen.

Inzwischen hat sich in dieser Beziehung manches geändert. Unter anderm durch die bahnbrechenden Arbeiten von Candela in den USA[3] und Hruban in der Tschechoslowakei[4] erkannte man immer deutlicher, daß die Hypparschalen nicht nur eine hohe Festigkeit und Stabilität besitzen, sondern sich daneben hervorragend zur Komposition reizvoller architektonischer Formen eignen, die mit verschiedenen Tendenzen der modernen Kunst wunderbar im Einklang stehen. In dieser Beziehung hat der im vorigen Artikel beschriebene Entwurf von Le Corbusier und Xenakis für den Philips Pavillon in Brüssel, der ganz aus hyperbolischen Paraboloiden aufgebaut ist, eindeutig bewiesen, daß sich in den Hypparschalen die architektonische Phantasie in großartiger Weise entfalten kann. Außerdem ist man im Hinblick auf die praktische Ausführung im Laufe der letzten Jahrzehnte zu der Erkenntnis gelangt, daß das hyperbolische Paraboloid sich sowohl in Holz wie in bewehrtem und in vorgespanntem Beton gerade besonders gut verwirklichen läßt, dank den beiden Geradenscharen (Erzeugenden), die auf dieser Fläche angegeben werden können.[5]

[1] B. Laffaille, Mémoire sur l'étude générale des surfaces gauches, Mém. Assoc. Int. Ponts et Charpentes 3, 295–332, 1935.

[2] F. Aimond, Etude statique des voiles minces en paraboloïde hyperbolique, Mém. Assoc. Int. Ponts et Charpentes 4, 1–112, 1936.

[3] F. Handela, Structural applications of hyperbolic paraboloidical shells, J. Amer. Concrete Inst., Title Nr. 51–20, Januar 1955, 397–415.

[4] K. Uruban, Obecné reseni zlabovych skorepin (Die allgemeine Theorie sattelförmiger Schalen), Technische Hochschule Brno, 1953.

[5] Ein neueres Beispiel für eine große, aus geleimtem Holz bestehende Hypparschale ist die Dachkonstruktion des Informationszentrums auf dem Place de Brouckère in Brüssel.

Die Hypparschale hat somit ihren Platz in der Baukunst gefunden und wird bereits an vielen Stellen und für verschiedene Zwecke angewendet. Die Tatsache, daß diese Bauform verhältnismäßig neu ist, sowie die größere geometrische Kompliziertheit der Sattelflächen hat allerdings zur Folge, daß der Baufachmann sich bei der praktischen Ausführung oftmals nicht ausschließlich auf bereits gesammelte Erfahrungen und auf sein Fingerspitzengefühl verlassen kann, sondern sich auf eine wissenschaftliche Untersuchung des zu erwartenden mechanischen Verhaltens des Bauwerkes stützen möchte. So ersuchte uns die Firma «Strabed» Ende Januar 1957 um Beratung bezüglich der Errichtung des Philips Pavillons.

Die Spannungszustände, die in einer derart komplizierten Kombination von Schalen und Rippen (angebracht in den Durchdringungen der Schalen) auftreten können, sind einer exakten Berechnung ganz und gar unzugänglich. Wir konnten daher der «Strabed» auf Grund theoretischer Erkenntnisse nur ganz im allgemeinen die Auskunft geben, daß der Entwurf uns realisierbar und die geplante Bauweise ausführbar erschien; für die zuverlässige Beantwortung einer Anzahl Fragen war jedoch – unter anderm auch wegen der kurzen verfügbaren Zeit – eine Modelluntersuchung das ausgewiesene Hilfsmittel. Diese Modelluntersuchung, ausgeführt in Rijswijk und in Delft von A. L. Bouma und F. K. Ligtenberg, wird im dritten Artikel dieser Serie beschrieben. Dennoch mag es für den interessierten Leser vielleicht erwünscht sein, auch zu zeigen, wie weit man mit einer Berechnung der allgemeinen Spannungszustände in Hypparschalen kommen kann und welcher Art die Schwierigkeiten sind, die in komplizierten Fällen zur Durchführung einer ergänzenden Modelluntersuchung zwingen.

Die Geometrie der Hypparschale

Zum Verständnis der auftretenden Kräfteverteilung in einer Hypparschale ist es notwendig, zunächst einiges über deren Geometrie zu rekapitulieren.

Bezogen auf ein rechtwinkliges Achsenkreuz $Oxyz$ (siehe Abb. 1) kann man die Gleichung des hyperbolischen Paraboloids am besten in folgender Form schreiben:

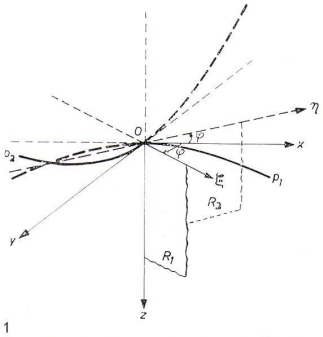
$$z = \frac{x^2}{2r_1} - \frac{y^2}{2r_2} \qquad (1)$$

O ist dann der Scheitel (oder Mittelpunkt) der Fläche, Oz die Achse, während xOz und yOz Symmetrieebenen sind, welche das Hyppar in den Parabeln p_1 bzw. p_2 schneiden. Die in (1) vorkommenden Größen r_1 und r_2 sind die Krümmungsradien der Parabeln p_1 und p_2 im Scheitel O.

Die Ebene xOy schneidet die Fläche in den Geraden $O\xi$ und $O\eta$, die man Richtlinien nennt. Die Achse Ox ist die Winkelhalbierende des Winkels 2φ zwischen diesen Richtlinien. Es gilt:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{r_2}}{\sqrt{r_1}} \qquad (2)$$

Bezogen auf das Achsensystem $O\xi\eta z$ (wobei die Achsen $O\xi$ und $O\eta$ im allgemeinen nicht senkrecht aufeinander stehen) lautet die Gleichung des Hyppars:



1
Zur Beschreibung des hyperbolischen Paraboloids. O = Scheitel, Oz = Achse; xOz und yOz sind die Symmetrieebenen; ξOz und ηOz sind die Richtebenen (R_1 und R_2), zu denen die beiden Scharen Erzeugenden der Fläche parallel verlaufen.