

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: 17.01.2026

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

Chronik

Eine Technologie der Kunststoffe

Autor 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 zeichnen 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 fünfzig 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, Polyäthylen, 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. Sie 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 einzubringen 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 Wunderglauke 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 poröse 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 völligwitterungsbeständig 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 aus 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 Kunststoffherzeugnisse, 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.

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.

Der Philips-Pavillon an der Brüsseler Weltausstellung¹

Y. Xenakis

I. Der architektonische Entwurf von Le Corbusier

C. G. J. Vreedenburgh

II. Die Hyparschale 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.



I. Der architektonische Entwurf von Le Corbusier

Nach Y. Xenakis¹

Als Le Corbusier sich Anfang 1956 bereit erklärte, den Philips Pavillon zu entwerfen, schwiebte ihm eine Konstruktion vor, die einen sehr freizügig geformten Raum umschließen sollte und die man etwa verwirklichen könnte durch Aufspritzten 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 eingehenden 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, 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 vorhan-

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).

den 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.

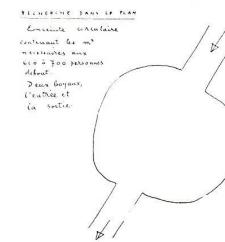
Da nun der Gedanke von Flächen mit möglichst veränderlichem Krümmungsradius einmal gefaßt war, lag es für den Architekten Xenakis nahe, Sattelflächen zu wählen (Flächen mit Sattelpunkten), insbesondere die in diese Kategorie fallenden Regelflächen. Durch die Untersuchungen von Laffaille und anderen Vorläufern 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 zweier windschiefer Geraden (zwei geraden Leitlinien, nicht zu verwechseln mit den im Artikel II eingeführten Richtlinien, O_S und O_T in Abb. 1). Eine Schale in der Form eines Hyppar ist bis zu einem gewissen Grade statisch berechenbar und besitzt sehr bemerkenswerte Festigkeits-eigenschaften (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

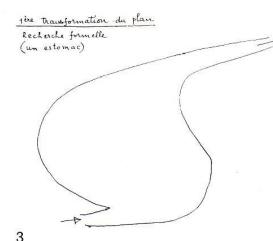
Die Kirche Notre-Dame de la Solitude in Coyoacan (Mexico) mit einem Betondach aus einer Schale in Form eines hyperbolischen Paraboloids, entworfen von Architekt Felix Candela. (Aus F. Candela, Les voûtes minces et l'espace architectural, L'architecture d'aujourd'hui 27, 22–27, März 1956.)

2–4
Entwicklung des Grundrisses.

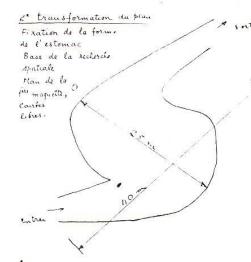
2
Kreisförmiger Raum, zwei Tüllen als Ein- und Ausgang.



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

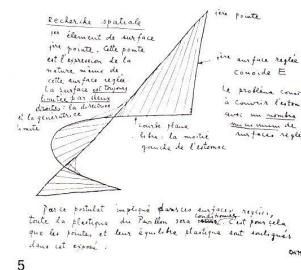


4
Ausgearbeitete Form des Grundrisses, die die Basis des ersten Entwurfs bildete.

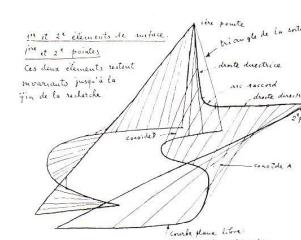


5–10
Entwicklung des Raumes bis zum ersten Entwurf.

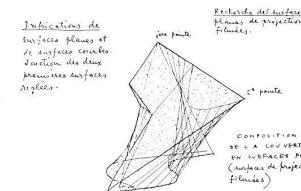
5
Grenzkurve der linken Hälfte des «Magens». Es war beabsichtigt, den Grundriß mit einer möglichst geringen Anzahl Regelflächen zu überdachen. Durch die Grenzkurve ist hier ein Konoid (E) gelegt; diese Wand wird von zwei geraden Linien begrenzt: die gerade Leitlinie (die durch den linken Endpunkt der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



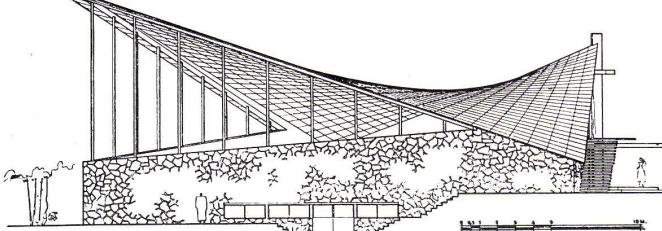
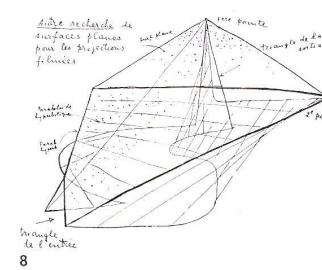
6
Durch die Grenzkurve der rechten Hälfte des «Magens» wird ebenfalls eine Regelfläche gelegt, die jedoch aus zwei Konoiden A und D besteht. Die gerade Leitlinie von D läuft durch die erste Spitze, die letzte Erzeugende an dieser Seite bildet mit der von E eine dreieckige Ausgangspforte. Die gerade Leitlinie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



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



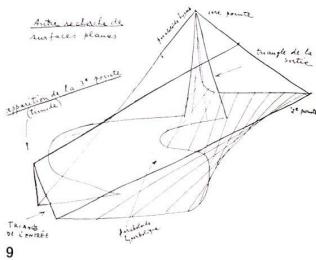
8
Ein weiterer Versuch; über dem Eingang ist eine kleine Dreiecksporta gebildet, die durch zwei hyperbolische Paraboloiden flankiert wird (später G und K genannt), das Ganze abgedeckt durch eine horizontale Dachfläche.



1

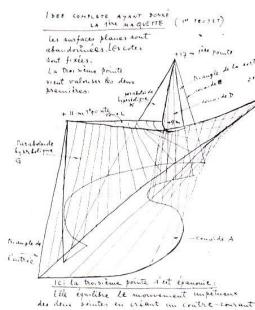
Der Philips Pavillon bot dem Architekten die einzigartige Gelegenheit, eine architektonische Komposition völlig aus den genannten Regelflächen aufzubauen und in dieser Weise eine homogene, dreidimensionale Hülle zu schaffen, in dem Sinne, daß jede der drei Dimensionen hier wirklich eine unabhängige Rolle zu erfüllen bekam – dies im Gegensatz zur konventionellen Architektur, bei der sich meistens die Grundrißform in jedem Quer-

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



9

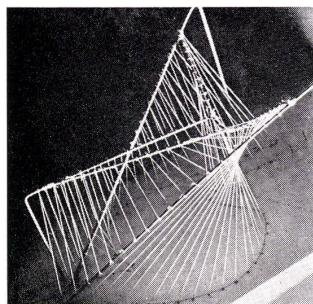
Der erste Entwurf (siehe auch das erste Modell). Er enthält keine ebenen Flächen mehr. Die dritte Spitze ist voll entwickelt und schafft durch ihren entgegengesetzten Verlauf ein Gegengewicht für die ersten beiden Spitzen. Die Höhen der drei Spitzen sind festgelegt. Die dritte Spitze und der Verbindungsbogen 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 Knoide E; eine Fläche, die in der Hauptsache aus den zwei Konoiden A und D besteht; die hyperbolischen Paraboloid 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 Schallisolation forderte Phillips 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 Paraboloid umzuwandeln, um den Verlauf aller Flächen leicht exakt angeben zu können und sowohl die statische Berechnung als auch die spätere bauliche Ausführung zu vereinfachen.

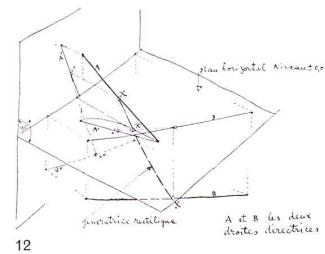
Dieser Rat wurde von Le Corbusier und Xenakis angenommen, vor allem deswegen, weil sie selbst fühlten, daß dem ersten Entwurf noch ästhetische Mängel anhafteten, so daß ohnedies eine Revision des Entwurfs erforderlich war.

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 Hypars, das festgelegt wird durch den Ab-

stand zwischen den beiden Stangen, den Winkel, den die Stangen miteinander bilden, und die Lage von zwei beliebigen Fäden. Andere Variable legen die Position des Hypars 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 Hypars (Abb. 14). Diese Schnittlinie kann ein Teil einer Hyperbel oder Parabel sein (dies ist der Fall, wenn sich eine der Stangen des benutzten Instruments 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 Hypars vor, deren benutzer Teil den Boden überhaupt nicht berührt.

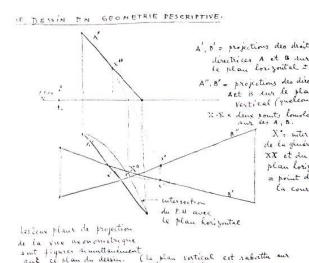
³ Es leuchtet wohl ein, daß es in diesem Fall nicht zweckmäßig gewesen wäre, die Hyparflächen durch die numerischen Werte der Koeffizienten in den entsprechenden, aus der analytischen Geometrie bekannten Gleichung anzugeben.

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.



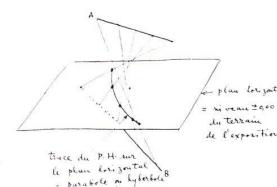
12

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^o.



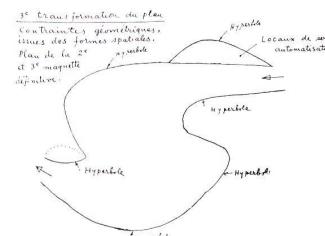
13

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



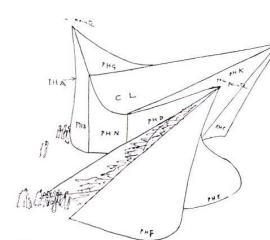
14

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

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 Paraboloid (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.



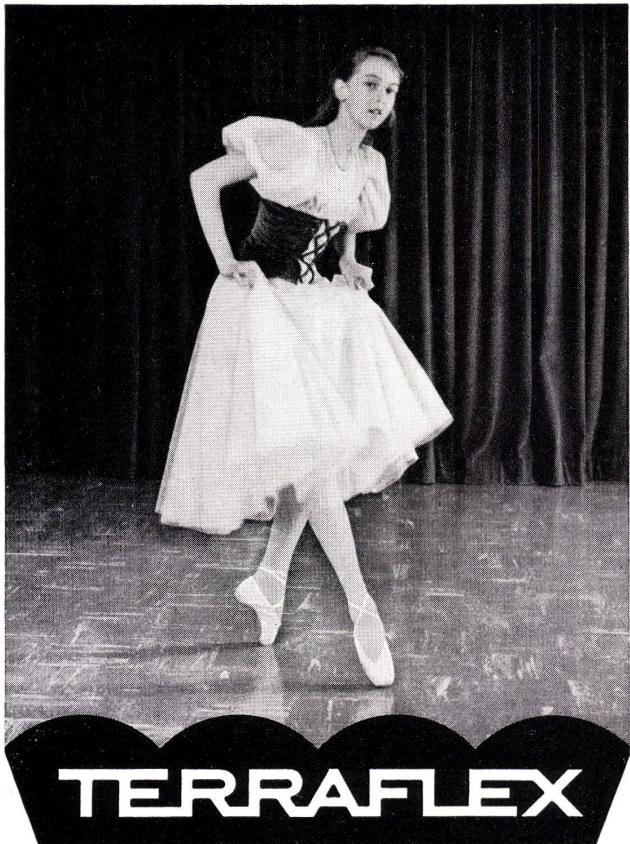
16

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 Spalte 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 Hyparschalen, die einerseits sein Formgefühl befriedigten und andererseits Schnittlinien mit dem Boden ergaben, die sich möglichst gut an den ursprünglichen Grundriß anschmiegen.

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 Hyparschalen 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 Hypars A, E und B, N, D umgewandelt sind. Außerdem sind zwei neue Hypars, C und F gebildet. Das Hypar F, das sich an das Hypar 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.



TERRAFLEX

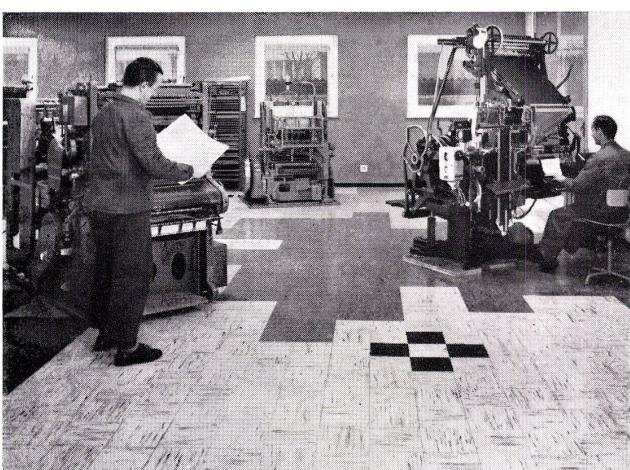
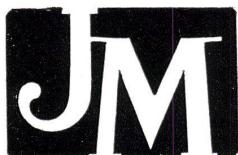
- Bodenbelag, seit 20 Jahren bewährt und ständig verbessert, ist ein **Spitzenprodukt**.

36 wohlausgewogene, schönste Farbtöne erlauben Kombinationen vom einfachen Zweckboden bis zum anspruchsvollsten künstlerischen Dessinlafage: für Industrierräume, Laboratorien, Spitäler, Verkaufslokale, Büros, Studios, Küchen, Korridore, Soussols, Wohndielen, Konferenzräume. Halle u sw.

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).

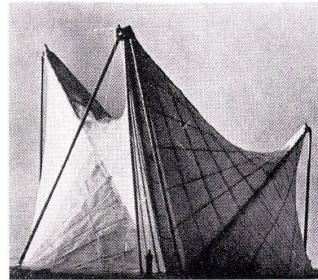
TERRAFLEX-Böden benötigen
geringste Wartung (nur auf-
waschen) wirken schalldämp-

JOHNS-MANVILLE PRODUKTE

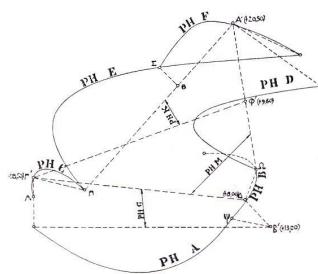


Letzte Änderungen

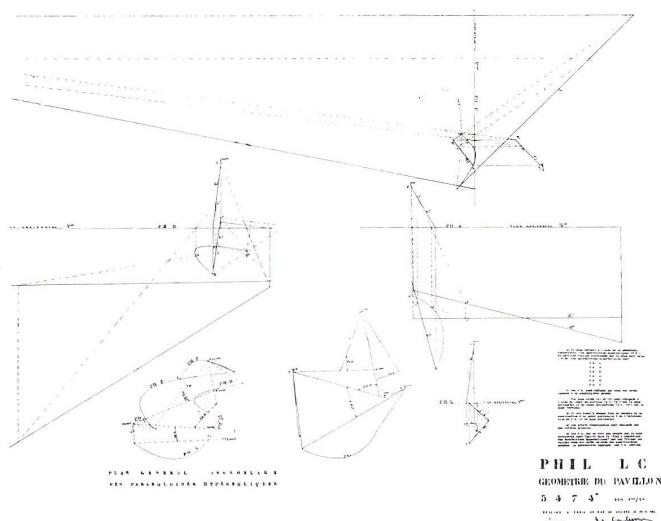
Als Philips bezüglich der praktischen Ausführung dieses zweiten Entwurfs mit verschiedenen Bauunternehmen in Verbindung trat, wußten die meisten Firmen nur eine mehr oder weniger konventionelle Bauweise vorzuschlagen, die im vorliegenden Fall im schroffen Gegensatz zu dem revolutionären Stil des Bauwerks 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 Entwurfs genau einzuhalten, mit nur einer unerwesentlichen 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 Hypars, 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.

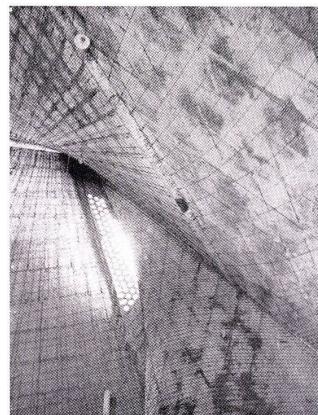


18 Gesamtdarstellung des endgültigen Entwurfs (Teilvergrerung aus Abb. 19).

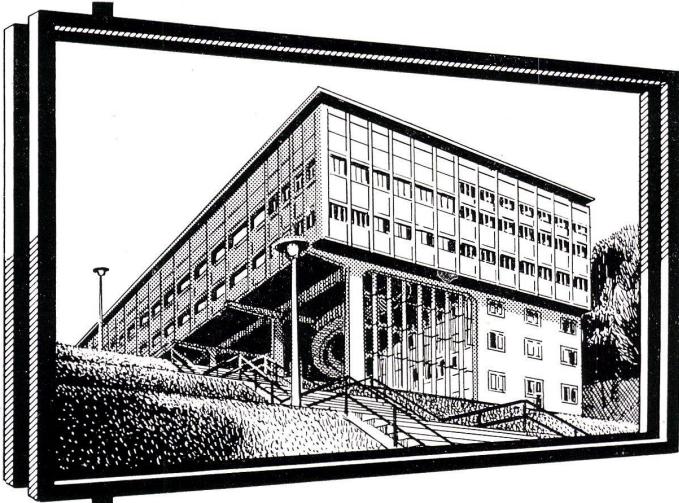


19 Teil der Konstruktionszeichnung der Wandflächen des endgültigen Entwurfs im Maßstab 1:200

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 Hyparschalen befanden sich ja Rippen, die instande 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 Spann-drähte auf dem Beton, die die Raumwirkung unterstützen, wurden hernach dem Anblick leider durch einen Verputz ent-zogen, der unter anderm für die Projek-tion 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, Telefon 032.38833

mehr, die nicht einen Teil der Wandflächen bilden. Um die dritte Spitze, die sehr stark geneigt ist, besser zu unterstützen, wurde noch das Hypar C an seiner Basis statt konkav konvex gestaltet, und schliefllich wurden die beiden dreieckigen Öffnungen zum Teil durch neue Hyparflächen 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.

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 erachte 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 Hyparschalen kommen kann und welcher Art die Schwierigkeiten sind, die in komplizierten Fällen zur Durchführung einer ergänzenden Modelluntersuchung zwingen.

II. Die Hyparschale und ihre mechanischen Eigenschaften

C. G. Vreedenburgh

Etwa im Jahre 1935 wurden von Laffaille und Almond die ersten Untersuchungen veröffentlicht über die Kraftverteilung in Hyparschalen – das sind gebogene, als hyperbolische Paraboloiden geformte Wände, deren Dicke bezogen auf die Flächenabmessungen sehr gering ist.¹⁾ ²⁾

Bei 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 USA³⁾ und Hruban in der Tschechoslowakei⁴⁾ erkannte man immer deutlicher, daß die Hyparschalen 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 Hyparschalen 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 Geradenachsen (Erzeugenden), die auf dieser Fläche angegeben werden können.⁵⁾

Die Geometrie der Hyparschale

Zum Verständnis der auftretenden Kräfteverteilung in einer Hyparschale 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:

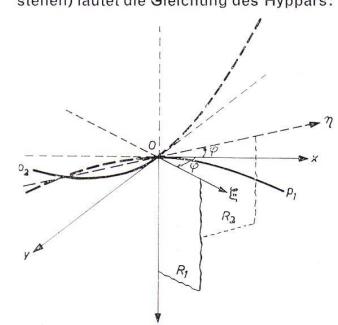
$$z = \frac{x^2}{2r_1} - \frac{y^2}{2r_2} \quad (1)$$

O ist dann der Scheitel (oder Mittelpunkt) der Fläche, Oz die Achse, während xOz und yOz Symmetrieebenen sind, welche das Hypar 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:

$$\tan \varphi = \frac{\sqrt{r_2}}{\sqrt{r_1}} \quad (2)$$

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



¹⁾ B. Laffaille, Mémoire sur l'étude générale des surfaces gauches, Mém. Assoc. Int. Ponts et Charpentes 3, 295-332, 1935.
²⁾ F. Almond, Etude statique des voiles minces en paraboloides hyperboliques, Mém. Assoc. Int. Ponts et Charpentes 4, 1-12, 1936.
³⁾ F. Candela, Structural applications of hyperbolic paraboloidal shells, J. Amer. Concrete Inst., Title Nr. 51-20, Januar 1955, 397-415.
⁴⁾ K. Hruban, Obecné resení zlavorých skořepin (Die allgemeine Theorie sattelförmiger Schalen), Technische Hochschule Brno, 1953.
⁵⁾ Ein neueres Beispiel für eine große, aus geleimtem Holz bestehende Hyparschale ist die Dachkonstruktion des Informationszentrums auf dem Place de Brouckère in Brüssel.

Referenzliste

- Aaraу** Schweizerische Rentenanstalt
- Alteldorf** Dätwyler AG., Schweizerische Draht-, Kabel- und Gummierwerke
- Arbon** AG. Adolf Sauer
- 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
- Bern** Laborgebäude der F. Hoffmann-La Roche & Cie. AG. Neubau Tobler AG. Neubau Dr. Wander AG.
- Boncourt** F.J. Burrus & Co.
- Dulliken** Schuhfabrik HUG
- Frauenfeld** Schweizerische Bankgesellschaft
- Gelterkindeп** C.F. Bally AG., Schuhfabrik
- Genève** Tavarо S.A., 1-5 Avenue Châtelaine Centre Européen de Recherches Nucléaires «CERN»
- Grenchen** B.I.T., Bureau International du Travail
- Kloten** Parktheater
- Lausanne** Flughafen, Anbau an Hangar I 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