

Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht

Band: 9 (1972)

Rubrik: Free discussion

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: 16.02.2026

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

DISCUSSION LIBRE • FREIE DISKUSSION • FREE DISCUSSION

Rechnergestützte Querschnittsoptimierung von Sandwichfaltwerken

Research by Computer of the Optimum Section of Prismatic Sandwich Shells

Recherche de la section optimale des coques prismatiques en "sandwich" au moyen de l'ordinateur

BERT HOFMANN

Wiss. Assistent

am Institut für Konstruktiven
Ingenieurbau der Ruhr-Universität
Bochum, BRD

Anknüpfend an den Beitrag von Prof. Jungbluth, der am Fall der Sandwichkuppel in Hannover die Brauchbarkeit und Vorteile der Stahl-Polyurethan-Sandwichbauweise für den Bau von Flächentragwerken des konstruktiven Ingenieurbaus zeigte, soll in diesem Beitrag über eine rechnergestützte Querschnittsoptimierung von seriengefertigten Sandwichfaltwerken berichtet werden.

Industrialisierte Tragwerke müssen durch ihre Geometrie und konstruktive Ausbildung nicht nur allen statischen Belangen genügen, sie müssen auch einer kontinuierlichen Fertigung in der Fabrik zugänglich sein. Deswegen wurden zunächst doppelt gekrümmte Flächentragwerke nicht untersucht, weil sich deren Elemente nicht kontinuierlich, sondern allenfalls im Taktverfahren fertigen lassen. Auch Platten mit ebenen Deckblechen mußten aus den Betrachtungen ausscheiden, da bei ihnen die Kernschicht aus Polyurethanhartschaum auf Schub beansprucht wird. Dies führt wegen des starken Lastkriegchens des Schaumes zu unzulässigen Schubverformungen.

Einfach gekrümmte oder gefaltete Tragwerke jedoch sind kontinuierlich herstellbar, außerdem wird bei ihnen der Kern weitgehend von seiner Beanspruchung auf Schub entlastet. Aufgabe der Kernschicht ist es vielmehr, die tragenden Deckschichten vor Instabilitätsversagen zu schützen.

Folgerichtig wurde beim Entwurf weitgespannter Flächentragwerke in Sandwichbauweise daher folgender Weg eingeschlagen:

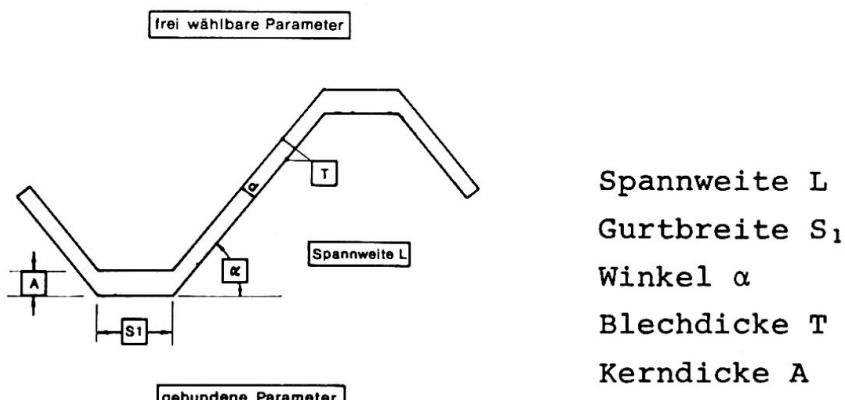
1. prismatische oder tonnenförmige Profilierung von zwei verzinkten, kunststoffbeschichteten Stahlfeinblechen zur Erzeugung einer hinreichend großen Eigenbiege- und Eigenschubsteifigkeit.
2. Ausschäumen des Zwischenraumes zwischen den beiden Blechen zur Erzielung einer hinreichend großen aufnehmbaren Druckspannung in den Blechen durch Verhinderung besonders der örtlichen Instabilitäten der Bleche. (s. Plantema /1/)

Aus der Vielfalt der Variablenbereiche – Form, Werkstoffe, konstruktive Ausbildung – galt es, eine optimale Geometrie für faltwerkartige Dachtragwerke zu ermitteln. Als optimale Geometrie wurde diejenige angesehen, die die geringsten Materialkosten pro m^2 überdeckter Grundrissfläche verursachte. Ferner mußte auch der Einfluß der einzelnen Parameter auf die Änderung der m^2 -Kosten – zumindest in der Nähe des Kostenminimums – untersucht werden, um die Entscheidung über die endgültige und günstigste Formgebung im Einklang mit den Forderungen der Fertigungstechnik treffen zu können.

Einige Parameter waren durch äußere Gegebenheiten nicht variabel, und zwar:

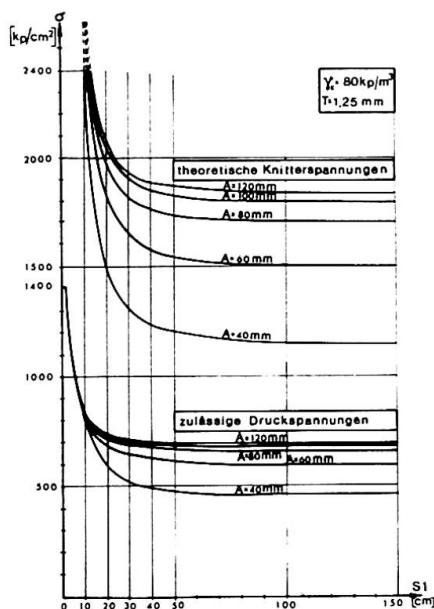
1. Die größte zur Zeit lieferbare Breite von kunststoffbeschichtetem Blech liegt bei 1500 mm. Deshalb müssen Faltwerke größerer Spannweite aus Halbwellen zusammengesetzt werden, wobei die Verbindungsstellen dieser Halbwellentröge vorteilhaft in den Stegen und nicht in den Hoch- bzw. Tiefpunkten der Faltwerke liegen.
2. Auf Ausrundungen der Kanten des Faltwerkes wird aus profiltechnischen Gründen zunächst verzichtet.
3. Das Raumgewicht des Schaumes wird aus schäumtechnischen Gründen zunächst einheitlich mit $\gamma_K = 80 \text{ kp/m}^3$ festgelegt.
4. Die Kerndicken der Stege und die der Gurte sind nicht unabhängig voneinander wählbar, damit die Tragwerkselemente beim Transport stapelbar sind. Nur dann nämlich wird es möglich sein, mit einem einzigen Lkw-Transport bis 500 m^2 Dachfläche zu transportieren. Die Kerndicke sollte außerdem aus Wärmeschutzgründen eine Minimalkenngröße von 40 mm nicht unterschreiten.

Mit Hilfe eines elektronischen Optimierungsprogrammes wurden daraufhin die übrigen geometrischen Parameter variiert, und zwar:



Parameter	Größe	Grund
abgewickelte Breite der Stahlbleche	1500 mm	Kunststoffbeschichtung
Ausrundung der Faltwerkskanten	0	Profiliertechnik
Raumgewicht des PUR-Hartschaumes	80 kg/m^3	Schäumtechnik
Kerndicke der Stege	$\geq 40 \text{ mm}$	Wärmeschutz
	$d \cdot A \cos \alpha$	Stapelbarkeit

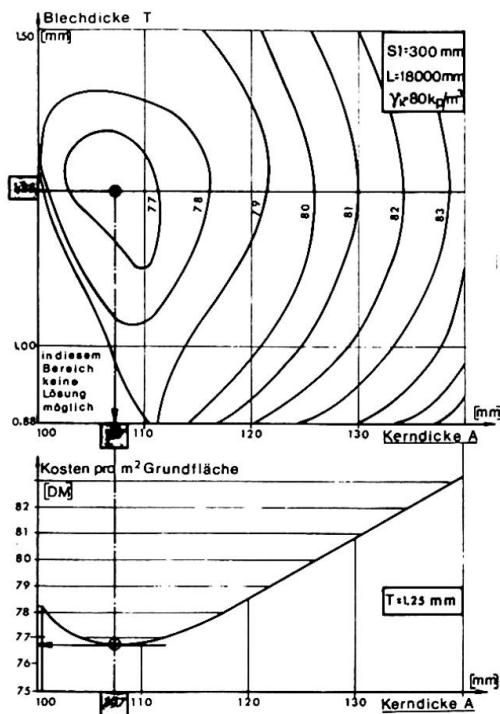
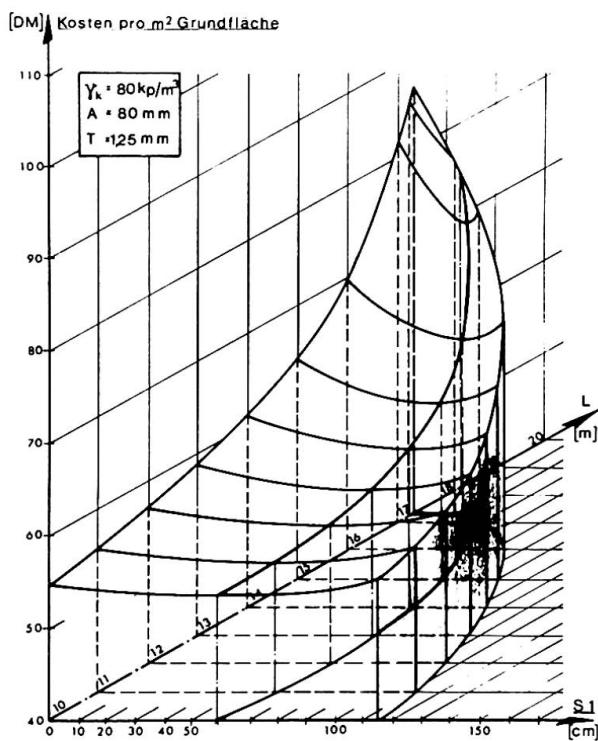
variable und nicht variable Parameter
zur Formfindung
von Faltwerken in FE-PUR Sandwichtechnik



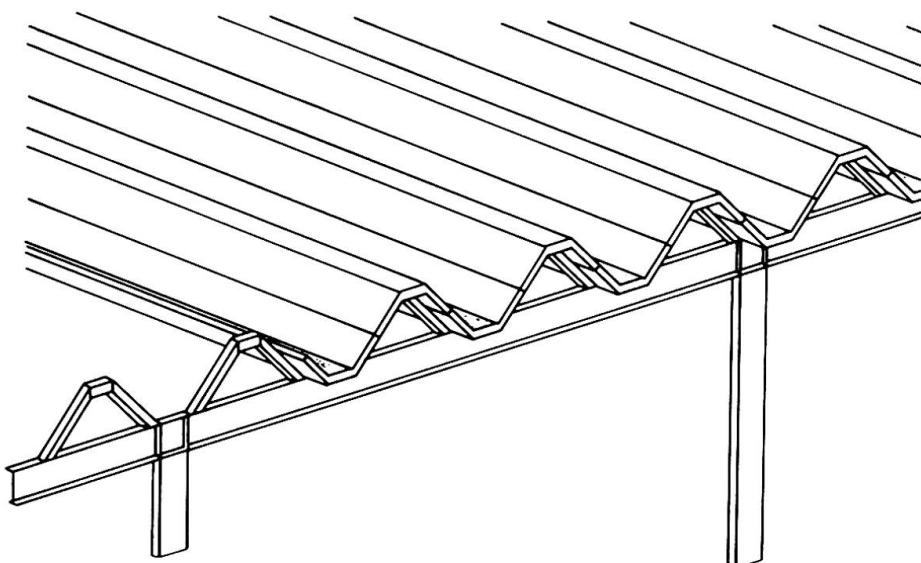
Dabei wurde bei allen errechneten Geometrien stets die Bedingung erfüllt, daß die errechneten maximalen Blechspannungen ausreichend weit unter den theoretisch ermittelten Knitterspannungen lagen. Die Sicherheit gegen Knittern bewegte sich hierbei zwischen 1,71 und 2,5.

Die Ermittlung der rechnerischen Knitterspannungen erfolgte in Anlehnung an Stamm [2], da die Einflüsse sowohl von S_1 und T als auch von A bzw. D auf die Knitterspannungen bei dem vorliegenden Problem berücksichtigt werden mußten.

Die Ergebnisse derartiger Untersuchungen ließen sich etwa in Form von Kostenlandschaften auftragen. Sie stellen die Abhängigkeit der Kosten von der Gurtbreite S_1 und der Spannweite L dar, wenn man die Blechdicke T und die Kerndicke A konstant hält. In diese Kostenlandschaft eingegraben - gleich einem Wasserlauf im Gebirge - findet sich eine Minimalkostenkurve. Viele solcher Minimalkostenkurven ergeben ein Diagramm, aus dem sich für eine gewählte Spannweite die jeweils kostengünstigste Geometrie ermitteln ließ.



Da es fertigungstechnisch unsinnig ist, für jede Spannweite ein Faltwerk mit der jeweils kostengünstigsten Geometrie herzustellen, zielte die weitere Entwicklung auf ein abgestuftes Programm ab, das aus zwei oder mehr Profiltypen besteht, die dann zu Faltwerken für drei oder entsprechend mehr verschiedene Spannweitenbereiche bzw. Belastungen zusammengesetzt werden können. Hinsichtlich der statischen Wirksamkeit und der fertigungstechnischen Gegebenheiten sind Abstufungsmöglichkeiten über die abgewickelte Breite der Stahlbleche, über die Blechdicke und das Raumgewicht des PUR-Hartschaumes denkbar. Dieses Faltwerksprogramm sollte zudem – wenn der durch die Ergebnisse des Optimierungsprogrammes ermittelte Entscheidungsspielraum es erlaubte – in die international vereinbarte Modulordnung eingepaßt werden, um einen standardisierten Ausbau zu ermöglichen.



Die Gesamtheit dieser Forderungen aus Statik und Standsicherheit, Fertigung, Transport und Montage führte schließlich zu einer optimierten Geometrie von Profiltypen, mit denen sich vorerst Spannweiten zwischen 10 und 20 m überspannen lassen. Hierbei waren die m^2 -Kosten das entscheidende Kriterium. Die geschilderte Querschnittsoptimierung ist daher Voraussetzung für den wirtschaftlichen Einsatz dieser neuartigen Dachtragwerke in Stahl-Polyurethan-Sandwichtechnik.

Schrifttum:

- /1/ Plantema, F.J.: "Sandwich Constructions", John Wiley & Sons, New York, London, Sydney (1966).
- /2/ Stamm, K.: "Berechnung von Knitterspannungen bei ebenen und trapezprofilierten Sandwichplatten", HOESCH-Berichte aus Forschung und Entwicklung unserer Werke, Heft 4/70.

Ausgesteifte Hypar-Profilblechschalen

Shells of Stiffened Profiled Sheets of Hyperbolic-Paraboloid Form

Coques en tôles profilées raidies en forme de paraboloïde hyperbolique

HARALD EGGER

Dr.techn.

Wien, Oesterreich

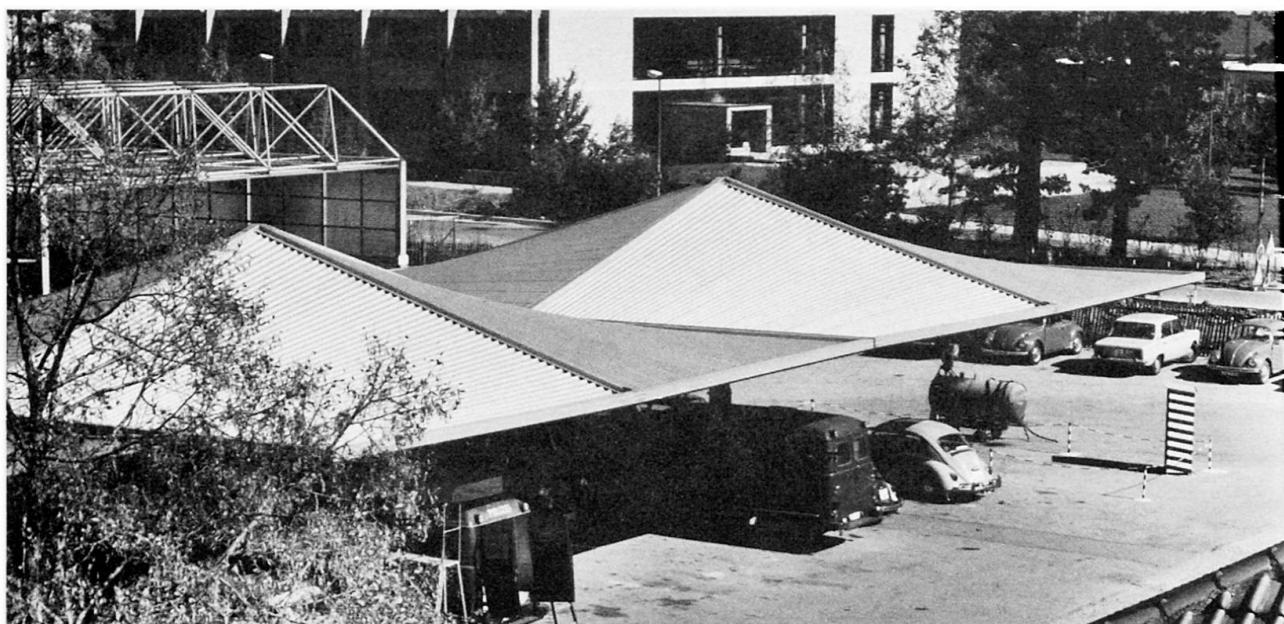


Bild 1 und 2: Schirme zur Ueberdachung von Kraftwagen-abstellplätzen in Stuttgart-Vaihingen, gebildet aus je vier ausgesteiften Hypar-Profilblechschalen (Hypar... hyperbolisches Paraboloid)

Die Untersuchungen für das in Bild 1 und 2 gezeigte Objekt und Entwurfsberechnungen für einen Ausstellungspavillon (1) zeigten, dass die Beulfestigkeit einer einlagigen Hypar-Profilblechschale durch Steifen wesentlich angehoben werden kann und dass darüber hinaus für grössere Schalen eine einlagige, ausgesteifte Ausführung allein was den Materialaufwand betrifft wirtschaftlicher ist als eine zweilagige. Da darüber hinaus für die Berechnung die Drillsteifigkeit der doppellagig verbundenen Profilbleche nur schwer richtig abgeschätzt werden kann und es ausserdem auch bei der Herstellung, Verbindung und der Unterhaltung einer solchen Ausführung Probleme gibt, sollte diese nicht erwogen werden.

Für die Bemessung einer Schalenfläche aus Profilblech wird immer der Stabilitätsnachweis massgebend und dieser kann, wie in (1) ausgeführt wurde und wie Versuche (2) anschliessend bestätigt haben, sich auf eine Schubbeuluntersuchung des ebenen Profilbleches beschränken. Auf dieser Grundlage wurden von F. Resinger und dem Verfasser für ein 13,5 m x 13,5 m grosses Schalenelement beide möglichen Ausführungen, nämlich die ausgesteifte, einlagige und die doppellagige, vergleichend untersucht, wobei die Drillsteifigkeit des Profilbleches bei der einlagigen Ausführung vernachlässigt und für die doppellagige Ausführung in Abhängigkeit von der Verbindungsintensität der beiden Lagen abgeschätzt worden ist.

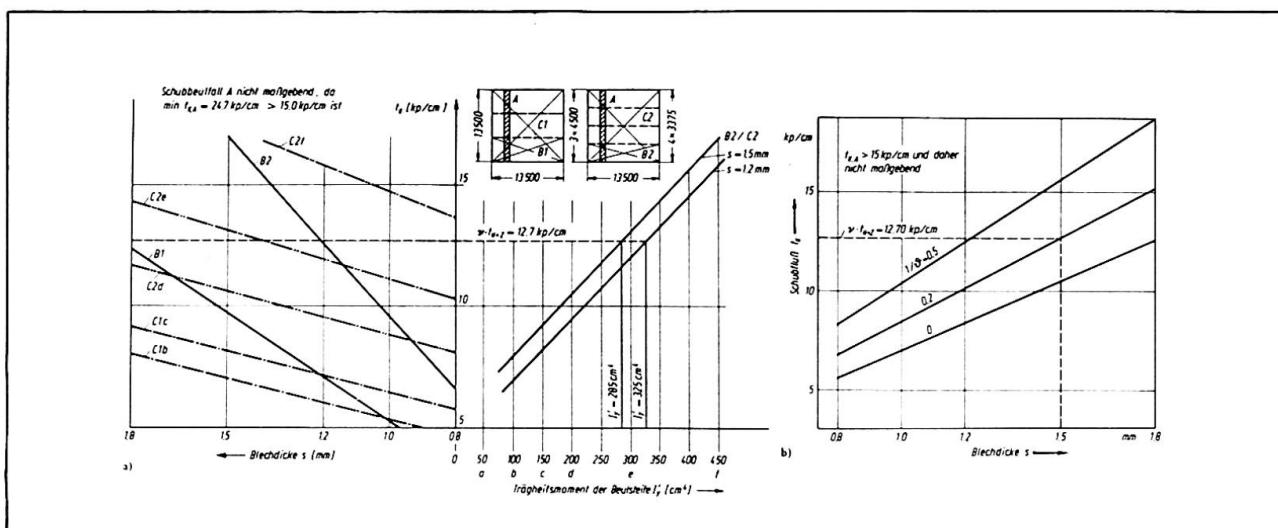


Bild 3: Ergebnis einer vergleichenden Schubbeuluntersuchung für eine Hyparschale 13,5 m x 13,5 m bei a) ausgesteifter, einlagiger und b) doppellagiger Ausführung.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind im Bild 3 dargestellt, aus dem je nach Art der Ausführung die erforderliche Blechdicke für die mit der geforderten Sicherheit festgelegte, kritische Schubbelastung abgelesen werden kann. Ihr Vergleich zeigt den Vorteil der ausgesteiften, einlagigen Ausführung.

Literaturnachweis

- (1) H. Egger, M. Fischer und F. Resinger: Hyparschalen ... 'Der Stahlbau' 1971, Heft 12, Wilhelm Ernst u. Sohn, Berlin
- (2) M. Fischer: Versuche zur Ermittlung ... 'Der Stahlbau' 1972, Heft 4 und 5, Wilhelm Ernst u. Sohn, Berlin

ZUSAMMENFASSUNG

Steifen steigern die Beulfestigkeit der einlagigen Hypar-Profilblechschale, und die ausgesteifte, einlagige Hypar-Profilblechschale ist in jeder Hinsicht einer aus Stabilitätsgründen erwogenen doppelagigen Ausführung überlegen.

SUMMARY

Stiffeners increase the buckling resistance of single layer parabolic hyperbolic shells. The single stiffened shell is in every respect superior to a construction in double layer shells.

RESUME

Les raidisseurs augmentent la résistance au voilement des coques P.H. en tôles profilées simples. Ces dernières, raidies, sont en tous points supérieures à une construction en doubles coques P.H.

Leere Seite
Blank page
Page vide