

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

Herausgeber: Bauen + Wohnen

Band: 23 (1969)

Heft: 8

Artikel: Vorgefertigte Flächentragwerke und ihre funktionellen Probleme am Beispiel der HP-Schale

Autor: Hohla, Johannes

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-333656>

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: 26.01.2026

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

Vorgefertigte Flächentragwerke und ihre funktionellen Probleme am Beispiel der HP-Schale

Sucht man nach einer Begriffsbestimmung von Flächenwerken, so findet man sie in der Literatur der Baustatik. Sie sind demnach wesentlich ein statischer Begriff; ihre primäre Funktion ist eine statische, das heißt die eines Tragwerkes.

Darüber hinaus ist das Flächentragwerk aber wesentlich unterschieden von anderen Tragwerken durch die gleichzeitig in ihm enthaltene raumabschließende Funktion, welche wiederum aus einer Reihe von Einzelfunktionen besteht.

Demnach stellt das Flächentragwerk von der Funktion her gesehen bereits die Integration zweier wesentlich voneinander verschiedener Funktionen dar, nämlich der des Tragwerkes und der des raumabschließenden Elementes.

Die nachfolgenden Ausführungen sollen zeigen, welchen Einfluß dieser Umstand auf die Entwicklung von Flächentragwerken im Zeichen der Vorfertigung hat, und eine Vorausschau geben, in welche Richtung diese Entwicklung in Zukunft gehen könnte, sofern den hier abgeleiteten Kriterien nach den ökonomischen Gesetzen des Marktes Allgemeingültigkeit zukommt.

Die HP-Schale soll hierbei in ihrer Entwicklung seit etwa 12 Jahren als Beispiel dienen, an welchem sich sowohl die funktionelle Analyse als auch die praktisch verwirklichte Integration der einzelnen Funktionen aufzeigen läßt.

Will man die sich aus der Integration der eingangs erwähnten Funktionen ergebenden Gesichtspunkte würdigen können, erscheint es erforderlich, sich diese Funktionen begrifflich zu vergegenwärtigen. Die statische Funktion als Tragwerk ist aus der Definition des Flächentragwerkes ableitbar. Sie kann nach Professor Dr. Karl Girkmann folgendermaßen ausgedrückt werden: «Flächentragwerke sind dünnwandige, nach Flächen geformte Traggebilde. Ihre Mittelfläche – jene Fläche, die an jeder Stelle die Dicke halbiert – kann eben sein, sie kann einfach oder doppelt gekrümmt sein, und sie kann aus ebenen und gekrümmten Teilflächen zusammengesetzt sein. Ein ebener Flächenträger, der nur durch Kräfte belastet ist, die in seiner Ebene wirken, wird Scheibe genannt. Greifen auch (oder ausschließlich) quer zur Mittelebene gerichtete Kräfte an, dann wird der ebene Flächenträger als Platte bezeichnet. Ist die Mittelfläche eines Flächentragwerkes gekrümmt oder aus gekrümmten und ebenen Teilflächen zusammengesetzt, dann sprechen wir von einer Schale beziehungsweise einem Schalentragwerk. Wird die Mittelfläche nur von ebenen Teilflächen gebildet, dann wird das Tragwerk Faltwerk genannt.»

Werden solche Tragwerke gemäß dieser Definition als Dachelement verwendet, so haben sie in statischer Hinsicht erhebliche Nutzlasten zu tragen als auch der Tendenz des Marktes nach immer größer werden den Spannweiten zu genügen. Beide Forderungen bedingen eine möglichst große statisch wirksame Querschnittshöhe, das heißt, ebene Flächentragwerke in Form von Platten scheiden wegen zu geringer statischer Querschnittshöhe im allgemeinen aus. Ihr Anwendungsreich bleibt auf die Übernahme der raumabschließenden Funktion bei Skelettsystemen beschränkt.

Um eine ausreichende statisch wirksame Querschnittshöhe bei dünnwandigen Flächentragwerken zu erreichen, haben sich drei Möglichkeiten als ökonomisch erwiesen:

a) Die Kombination von Balken und Platte in einem Tragwerk zum raumabschließenden, großformatigen Plattenbalken.

Das amerikanische Lin-T beziehungsweise Doppel-Lin-T kann als weitverbreiteter Vertreter dieses Typs von Flächentragwerken gelten.

b) Die Schale als großformatiges Flächentragwerk in ihren verschiedensten geometrischen Formen, das heißt sowohl einfach als auch doppelt gekrümmte Schalen, wobei bei letzteren geometrische Formen nach positiver oder negativer Gaußscher Krümmung unterschieden werden kann.

c) Faltwerke als großformatige Flächentragwerke in vielgestaltiger Form.

So vielseitig die formalen Möglichkeiten der Gestaltung unter diesen drei genannten Typen auch sein mögen, sie erfahren sehr einschneidende Beschränkungen, wenn diese Flächentragwerke aus Stahlbeton oder vorgespanntem Beton werks- und serienmäßig hergestellt werden sollen. Ein Rückblick über die Entwicklung dieses Teilgebietes der Flächentragwerke zeigt sehr deutlich, daß nur wenige Typen beziehungsweise Formen den Forderungen der Werksfertigung in Serie genügen. Im wesentlichen sind es diejenige Formen, die es gestatten, unter Verwendung derselben Schalung, derselben maschinellen Produktionsmittel und derselben Herstellungsmethoden Elemente verschiedener Spannweiten für unterschiedliche Belastungen herzustellen.

Darüber hinaus erfahren diese Möglichkeiten eine weitere Beschränkung dadurch, daß diese Elemente nur dann einen der Serienproduktion entsprechenden Marktanteil erreichen, wenn sie verschiedene raumabschließende Funktionen ohne wesentliche Variierung erfüllen können, das heißt, wenn sie zum Beispiel sowohl als Element eines Dachdaches als auch eines Oberlichtdaches oder Sheddaches verwendet werden können.

Diese Forderung führt notwendigerweise zur Analyse des Flächentragwerkes als raumabschließendes Element. Es erreicht hierdurch einen technisch-ökonomischen Komplexitätsgrad, wie er der Skelettbauweise nicht eigen ist. Unter den raumabschließenden Funktionen verstehen sich einerseits alle Funktionen der Trennung von Innen- und Außenraum und andererseits alle Funktionen der Verbindung vom Innen- und Außenraum und umgekehrt.

Zu den ersteren zählen die bauphysikalischen Funktionen der Wärmedämmung, der Wasserdichtigkeit und der Dampfdiffusion, darüber hinaus auch die der mechanischen Widerstandsfähigkeit sowohl an der inneren als auch der äußeren Oberfläche.

Zu den letzteren Funktionen gehört die Versorgung mit Tageslicht und Frischluft, aber auch die Abführung von Wärme und Abluft.

Beide Funktionsgruppen, sowohl die der statischen Belange als die der

raumabschließenden, sind eingebettet in übergeordnete technisch-ökonomische Systeme, und zwar in eines des Herstellungsverfahrens und in eines der Nutzung. Beide Systeme stellen tatsächlich das Integrationsergebnis dieser Einzelfunktionen dar und sind somit mehr als nur die Summe der Teilfunktionen.

Hierin ist der wesentliche Unterschied in der Entwicklung des Flächentragwerkes zu der des Skelettbauwes zu sehen. Während beim Skelettbau, welcher wesentlich in funktionseller Hinsicht derselben Aufgabenstellung entsprechen muß, die einzelnen genannten Funktionen verschiedenen Bauelementen zugewiesen werden, erfordert das Flächentragwerk die Integration dieser Funktionen, teilweise oder übergreifend, in demselben Element.

Die Entwicklung des Skelettbauwes zeigt auch klar die Tendenz, die einzelnen Funktionen deutlich voneinander zu trennen, das heißt zum Beispiel dem Balken oder der Pfette als Tragelemente keine bauphysikalischen Funktionen zuzuweisen, im Gegenteil, sie nach Möglichkeit vor bauphysikalischen Einflüssen zu schützen.

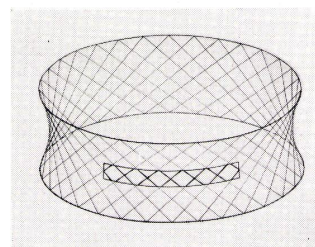
Das Flächentragwerk jedoch zeigt die Tendenz, möglichst viele Funktionen in sich aufzunehmen und zu integrieren. Es ist demnach nicht nur hinsichtlich seiner räumlichen Gestaltung ein Kontinuum, sondern ist in seiner Entwicklungstendenz deutlich auch auf ein funktionelles Kontinuum hin ausgerichtet.

Um diesen Sachverhalt deutlich zu machen, seien am Beispiel der HP-Schale die vorstehenden Gesichtspunkte aufgezeigt.

Die HP-Schale stellt in ihrer geometrischen Form (Bild 1) ein Schalentragwerk negativer Gaußscher Krümmung dar, das heißt, die Krümmungsmittelpunkte zweier durch einen Punkt geführter Axialschnitte liegen auf entgegengesetzten Seiten der Fläche. Sie ist annähernd ein Ausschnitt aus einem einschaligen Rotationshyperboloid und ist statisch dadurch charakterisiert, daß sie zwei Scharen von sich kreuzenden Geraden enthält, welche die Möglichkeit der geradlinigen Vorspannung bieten. Außerdem können ihre Krümmungsradien so gewählt werden, daß auf Randstege, wie sie sonst bei Schalen dieses Typs als unentbehrlich errichtet werden, verzichtet werden kann.

Als Dachelement verwendet, ist ihre geometrische Form nicht nur wasserführend, sondern auch selbstdrainierend. Die geometrische Form stellt also an sich bei der HP-Schale bereits das Ergebnis eines Integrationsprozesses mehrerer Funktionen in einem Element dar, nämlich der statischen Funktion als Tragwerk mit:

der anwendungstechnischen Funktion der Oberflächenentwässerung; der bauphysikalischen Funktion als



wasserdichtes Dachelement infolge der Herstellungsmöglichkeiten aus rissfreiem Spannbeton; schließlich der herstellungstechnischen Funktion der Randstegosigkeit, das heißt der Möglichkeit, in demselben Schalungsbett Elemente verschiedener Spannweiten und -längen innerhalb bestimmter Grenzen herstellen zu können.

Wesentlich für den letzteren Gesichtspunkt ist der in der geometrischen Form liegende Vorteil, die Querschnittverstärkungen im Bereich der Auflager zur Aufnahme der Querkkräfte ohne Beeinträchtigung der wasserabführenden Eigenschaften auszuführen.

Ein Vergleich hinsichtlich dieser Kriterien mit anderen Flächentragwerken zeigt, daß die Integration dieser Funktionen keineswegs selbstverständlich oder immer möglich ist. Bei einer einfach gekrümmten, also in der Regel in der Haupttragrichtung geraden Schale oder einem Faltwerk zeigt es sich, daß zwar beide ihre Funktion als wasserdichtes Dachelement aus Spannbeton mit der Tragfunktion vereinigen können, daß aber die Funktion als selbstdrainierendes Element beeinträchtigt wird oder verlorengeht, sobald Querschnittverstärkungen im Auflagebereich durch Randstege, Aufkantungen oder Endscheiben ersetzt werden müssen.

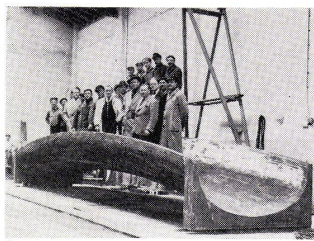
Im Gesamtbild des technisch-ökonomischen Systems beeinflussen diese Endscheiben die Stapelbarkeit und damit die wirtschaftliche Transportmöglichkeit oft sehr erheblich.

Andererseits jedoch bieten die einfach gekrümmten Schalen und geraden Faltwerke im allgemeinen den Vorteil der unbeschränkten Länge des Schalungsbettes, während der Herstellung mehrerer HP-Schalen in einem Schalungsbett durch die Größenordnung der Umlenkkräfte beim Spannvorgang engere Grenzen gesetzt sind.

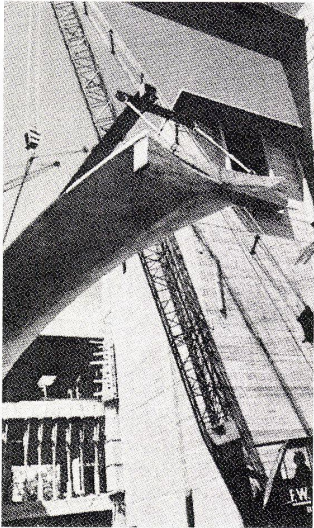
Die Integration dieser statischen, raumabschließenden und herstellungstechnischen Funktionen bei der HP-Schale ist das Ergebnis einer Entwicklung, die einer näheren Betrachtung wert sein mag, weil sie verallgemeinbare Züge aufweist. Ursprünglich, das heißt vor etwa 12 Jahren, war die HP-Schale vornehmlich als wasserführendes und -ableitendes vorgefertigtes Flächen-tragwerk für Industriedächer konzipiert. Ein Vergleich der ursprünglichen Form mit der heutigen macht dies augenscheinlich (Bild 2: erste Schalungsmatrize).

Die geometrische Form der ersten vorgespannten Schalen zeigt den Vorrang der statischen und herstellungstechnischen Funktionen vor den raumabschließenden. Man war bestrebt, die Nachteile der HP-Stegschale (Bild 3), wie sie bis dahin ausgeführt wurde, zu eliminieren, nämlich vom gekrümmten Plattenbalken mit Endscheiben zum in der Länge stufenlos herstellbaren, reinen Schalentragwerk vorzudringen.

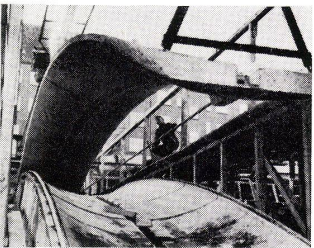
Die Stegchale hatte den Nachteil, daß infolge der Notwendigkeit von Endscheiben nur genormte Schalenlängen in verschiedenen langen Betten herstellbar waren und daß der gekrümmte Steg die geradlinige Vorspannung nur im engen Spannweitenbereich zuließ. Ein erster Schritt der Verbesserung in der geschilderten Richtung war das Weglassen



2



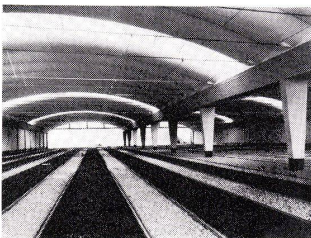
3



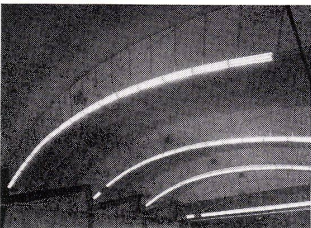
4



5



6



7



8



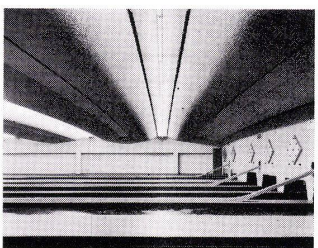
9



10



11



12

der Endscheiben und der Ersatz des Mittelsteiges durch ein Stahlzugband (Bild 4), welches die Vorspannung der Schale in beliebigem Spannweitenbereich erlaubte.

Diese Zugbandschalen, wie sie in Hunderttausenden von Quadratmetern in den Jahren 1957 bis 1961 vor allem in Italien gebaut wurden, stellen bereits einen weiteren entscheidenden Schritt auf dem Wege der Integration raumabschließender Funktion dar.

Schon damals wurden in Italien Zugbandschalen verwendet, welche auf zusätzliche Wasserdichtung durch Papplagen oder ähnliches verzichteten. Sie erlaubten darüber hinaus die Entwicklung eines übergeordneten funktionellen Systems, nämlich der variablen und flexiblen Verwendungsmöglichkeit in verschiedenen Dachsystemen, zum Beispiel Dunkeldächer (Bild 5) mit und ohne Zwischenbauteile, Oberlichtdächer (Bild 6) und Nordlichtdächer-Sheddächer (Bild 7). Dies war dadurch möglich geworden, daß die Zugbandschale besser zur Aufnahme von Randlasten und Torsionsbeanspruchung geeignet war als die Stegchale.

Die raumabschließende Funktionsgruppe der Verbindung von Innen- und Außenraum in Form von Dachfenstern und Durchbrüchen für be-

triebliche Einrichtungen war damit integriert.

Den entscheidenden Schritt in Richtung auf ein ganzheitliches System brachte jedoch erst die vorgespannte HP-Schale (Bild 8).

Ihre statische Idee liegt in der Vorspannung einer gekrümmten Fläche nach geraden Erzeugenden, in der Stabilisierung der Schalenlängsränder durch geeignete geometrische Formgebung und in der Aufnahmefähigkeit für Randlasten durch variable Querschnittgestaltung.

Ihre funktionelle Idee als raumabschließendes Element liegt in der Ausbildung der inneren und äußeren Oberfläche als Regelfläche und in der Herstellung aus hochwertigem Beton (B 600) mit ausreichender dampfbremsender Wirkung und vollständiger Wasserundurchlässigkeit.

Hinsichtlich des statischen Verhaltens kommt der Stabilisierung der Schalenlängsränder durch geeignete Formgebung eine besondere Bedeutung zu.

Wie rechnerische Untersuchungen und praktische Versuchsergebnisse bewiesen haben, neigen hyperbolische Schalen der in Rede stehenden Ausmaße dazu, im Bruchzustand durch Ausweichen der Schalenlängsränder zu versagen. Dies ge-

schieht in Abhängigkeit von Spannweite und Belastungsform entweder dadurch, daß die Schalenränder zusammen- oder auseinanderklappen wollen. Dazu läßt sich durch geeignete Wahl der Längs- und Querkrümmung ein Zustand an der Grenze zwischen beiden Verformungstendenzen herbeiführen, welcher einer Stabilisierung der Schalenränder gleichkommt. Diese Maßnahme, in Verbindung mit der Vergrößerung der Querschnittsdicke von der Schalenlängsachse zu den Rändern hin und auch von der Schalenmitte zu den Auflagern hin, stellt den entscheidenden Schritt dar, die vorgespannte HP-Schale in das von der Zugbandschale gesetzte System einzugliedern. In dieser Form eignet sie sich sowohl als Grundelement des HP-Zwischenraumsystems für Dunkel- und Oberlichtdächer (Bilder 9 und 10) als auch als Grundelement des HP-Shedsystems (Bild 11) in seiner vielseitigen und flexiblen Anwendungsmöglichkeit.

Neueste Belastungsversuche haben ergeben, daß sich die HP-Schale gerade beim Shedsystem, also im Falle des Auftretens von erheblichen Torsionsbeanspruchungen, infolge Querneigung der Schale bedeutend günstiger verhält, als es den theoretisch-rechnerischen Werten entspricht.

Die Bau- und Expansionsabteilung eines der größten schweizerischen Detail-Handelsunternehmen mit Hauptsitz in Zürich wird vergrößert.

Wir sind deshalb beauftragt, mit qualifizierten Herren in Kontakt zu treten, welche sich für nachstehende Positionen interessieren:

1 Innenarchitekt

als Spezialist für die Behandlung hängiger und neuer Aufgaben in bezug auf Innenausbauten und Innengestaltungen der verschiedensten Verkaufszentren.

3 Bauzeichner/ Bauführer

möglichst mit Erfahrung in der Bauausführung und Bauleitung.

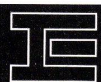
1 Innenausbau- zeichner

oder fachlich gut ausgewiesener Schreiner mit zeichnerischer Weiterbildung für die Bearbeitung allgemein anfallender Probleme in bezug auf Neumöblierungen und Umbauten.

Bewerber mit Erfahrung auf dem Gebiet der Ladenverkaufseinrichtungen erhalten den Vorzug.

Außer hervorragenden Anstellungs- und Arbeitsbedingungen bietet Ihnen das Unternehmen Fünftage-woche, modernes Personalrestaurant und Einkaufsvergünstigungen.

Interessierte Herren, welche auf eine wirklich zukunftsreiche und entwicklungsfähige Dauerstelle reflektieren, sind freundlich eingeladen, mit uns telephonisch oder schriftlich Kontakt aufzunehmen. Wir garantieren für absolute Diskretion. Eine Benachrichtigung unseres Auftraggebers oder einer Drittperson erfolgt nur mit dem ausdrücklichen Einverständnis des Bewerbers.



Personalanalyse — Personalberatung
Einsatz AG
Talacker 42 8001 Zürich Tel. 051 44 2177/44 24 27

Die HP-Schale in dieser Form und technischen Beschaffenheit ermöglicht es, zwei weitere Integrations-schritte zu vollziehen, wie sie als Aufgabenstellung eben nur den Flächentragwerken zukommen, und zwar die Integration der bauphysikalischen Funktionen, nämlich der Wärmeisolierung, des Feuerschutzes und der akustisch wirksamen, raumseitigen Oberfläche.

Das Ergebnis dieser Integrations-schritte ist im Falle der Forderung nach Widerstandsfähigkeit im Brandfall, die HP-Perliteschale, im Falle des Bestehens hoher isoliertechnischer Anforderungen die Polyurethanschale, kurz HP-PU-Schale genannt. Die Kombination beider Typen in einem Element ist möglich. Die HP-Perliteschale (Bild 12) ist ein Flächentragwerk, welches nach dem Sandwichgedanken aufgebaut ist. In das Schalungsbrett wird zuerst eine der geforderten Feuerwiderstandsklasse entsprechende Perlite-Beton-Schicht eingebracht. Auf diese wird dann, ohne daß der Erhärtungsprozeß abgewartet wird, die HP-Schale, also das eigentliche Flächentragwerk, aufbetoniert und noch im Werk mit einem wasserabweisenden Oberflächenanstrich versehen.

Hierbei ist bemerkenswert, daß die Haftung zwischen den beiden Betonschichten, nämlich Schwer- und Leichtbeton, durch keinerlei Verbindungsmittel, wie Anker, Haken oder ähnliches, gesichert zu werden braucht. Der Verbund zwischen den beiden Schichten wird wesentlich dadurch hergestellt, daß beim Aufbringen der Vorspannung auf die erhärtete HP-Schale eine Verformung im Sinne einer Aufwölbung der Schalenlängsachse nach oben eintritt, welche sich der Perliteschicht mitteilt und diese in einen Spannungszustand versetzt, welcher sie gleichsam als von unten belastetes Schalentragschale gegen die HP-Schale drückt.

Das Ergebnis ist ein Flächentragwerk als Dachelement, welches in vieler Hinsicht den herkömmlichen Ansichten, wie sie sich als Regel der Baukunst niedergeschlagen haben, widerspricht.

Der Grundsatz, das Tragwerk mittels Wärmedämmung vor Temperatureinflüssen zu schützen, ist fallengelassen. Die Wärmeisolierung in Form der Perliteschicht liegt an der Raumseite anstatt an der Außenseite, weil diese Schicht die Funktionen der Feuerwiderstandsfähigkeit und der Wärmedämmung in sich vereinigt.

Auch der wärme- und diffusions-technische Aufbau der einzelnen Schichten ist anders, als es den üblichen, bewährten Ausführungsformen entspricht. Sperr- und Bremsschichten ebenso wie Entlüftungsschichten fehlen.

Trotzdem hat sich der Aufbau – übrigens entgegen vielen Voraussagen – nicht nur in Hinsicht auf die Feuerwiderstandsfähigkeit, sondern auch in bauphysikalischer Hinsicht durchaus bewährt. Dies dank dem Umstande, daß es sich hier nicht um einen Aufbau handelt, bei welchem den einzelnen Schichten bestimmte, deutlich getrennte Funktionen zugewiesen werden, der Wärmedämmschicht zum Beispiel ausschließlich die Wärmedämmung, der Sperrschicht ausschließlich die diffusionsbremsende Wirkung und ähnliches, sondern um einen Auf-

bau, in dem die einzelnen Funktionen und Schichten zu einem ganzheitlichen bauphysikalischen System zusammenwirken, an welchem auch das Flächentragwerk selbst mit seinen bauphysikalischen Eigenschaften teilnimmt.

Neben seiner tragenden und raumabschließenden Funktion hat es im bauphysikalischen System die Aufgabe der Regenhaut, der Widerstandsfähigkeit gegen Flugfeuer und strahlende Wärme, der begehbaren und ausreichend widerstandsfähigen Oberfläche übernommen, aber auch die der Dampfabführung nach außen. Dies ist möglich, weil das Tragwerk aus rißfreiem, hochwertigem Beton besteht, der zwar wasserdicht, trotzdem aber genügend diffusionsweich ist und im Schichten-aufbau dort angeordnet ist, wo das maximale Partialdruckgefälle liegt (Bild 13).

Dies hat zur Folge, daß der Schwerbeton in der Lage ist, durch genügende Diffusion nach außen (Atmung) Kondensatbildung zu verhindern oder weitgehend zu minimieren.

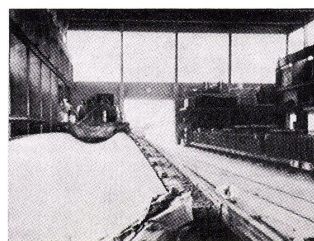
Es wäre geradezu verschlechternd, wenn man bei diesem Aufbau die Wasserdichtigkeit einer oder mehrerer oberen Papplagen zuweisen wollte, da diese eine zu große Bremswirkung im diffusionstechnischen Sinne haben und somit die Atmung erschweren oder verhindern würden.

Die HP-Perliteschale integriert somit die statischen und herstellungstechnischen Funktionen des Flächentragwerkes mit der bauphysikalischen Gruppe der raumabschließenden Funktionen in besonders sinnfälliger Weise.

Ähnliches kann von der PU-beschichteten Schale gesagt werden (Bild 14).

Stellt man die Aufgabe, die komplette Dachhaut als Beschichtung werksmäßig auf großformatige Flächentragwerke aufzubringen, so entsteht das Problem der Verzögerung oder Behinderung des Produktionsablaufes beim Tragwerk selbst, da die in Frage kommenden Schaum-systeme gegen Feuchtigkeit im Spritzgrund empfindlich sind. Beim PU-Schäumen wirkt Wasser als Treibmittel und stört die Zellstruktur in den Schichten des Schaumes, welche die Haftung zwischen Beton und Polyurethan bewerkstelligen müssen.

Das Trocknen der Betonelemente nach der Fertigung verbietet sich aber aus zwei Gründen. Einmal weil das Schalungsbett für die nächste Produktion freigemacht werden muß und weil zum andern PU-Schaum nur unter werksmäßigen Voraussetzungen (insbesondere Temperaturen), also nicht im Freien, zum Beispiel am Stapel, so verarbeitet werden kann, daß eine einheitliche,



möglichst geschlossene Zellstruktur entsteht.

Auch hier kann ähnlich wie bei der Perliteschale die Verformung der HP-Schale beim Aufbringen der Vorspannung dazu benutzt werden, das Aufspritzen des PU-Schaumes unmittelbar nach Beendigung des Bedampfungsvorganges auf die noch feuchten Betonflächen zu ermöglichen.

Der Sog, der beim Abheben der Schale vom Schalungsbett durch das Aufbringen der Vorspannung ausgeübt wird, bewirkt die Umkehr des Kapillarwasserstromes im Beton, das heißt, die an der Oberseite befindlichen Poren werden als erstes nach unten hin von Feuchtigkeit befreit.

Das Ergebnis ist auch hier ein werksmäßig in allen seinen Funktionen vorgefertigtes Flächentragwerk, welches ein ganzheitliches System darstellt.

In diesem System fällt dem Schalenträgerwerk neben der statischen Funktion und der beschriebenen herstellungstechnischen Funktion die Aufgabe der Regulierung des Partialdruckgefälles zu, nämlich in dem Sinne, daß der Diffusionswiderstand über die gesamte Querschnittsdicke der Schwerbetonschale ungefähr gleich oder größer ist als der der PU-Schicht, welche ihrerseits die Funktion der Wärmedämmung, der Wasserdichtigkeit, der Begehrbarkeit und der Widerstandsfähigkeit gegen Flugfeuer, strahlende Wärme und mechanische Einflüsse (zum Beispiel Hagelschlag) in sich vereinigt.

Das bauphysikalische Gesamtsystem ist geeignet, Kondensatbildung auch in solchen Fällen auszuschließen, wo mit üblichen Dachdeckungsmaterialien und mit üblichem Schichtaufbau der Dachhaut Kondensat nicht vermeidbar ist, wie die Vergleichsdiagramme zeigen (Bilder 15 bis 18).

Alle Diagramme beziehen sich auf $+20^{\circ}/-15^{\circ}\text{C}$ und 70/55% R.L. Stellt man die Frage, ob die beschriebene Entwicklung der HP-Schale Züge aufweist, welche auf vorgefertigte Flächentragwerke aus Stahlbeton als Dachelement schlechthin anwendbar sind, so ist die Möglichkeit zur Integration möglichst vielfältiger Funktionen in einem ganzheitlichen System das hervorstechendste Merkmal dieser Entwicklung.

Ein kurzer Blick auf das Geschehen im Teilbereich der vorgefertigten Stahlbeton-Flächentragwerke rechtfertigt diese Verallgemeinerung. Schon die bekannte Dyckerhoff-Schale, obwohl damals noch nicht generell vorfabriziert, integrierte in das Flächentragwerk die Funktion des Luftkanals für Be- und Entlüftung, indem sie mindestens einen Längsrandsteg als Hohlquerschnitt ausbildete.

Die Dreiecks-Hohlkasten-Shedträger System Emch & Berger integrieren in Form des Hohlraumes einen beachtlichen Teil der Wärmedämmung, also eine bauphysikalische Funktion, können aber auch bei Verwendung dieser Hohlräume als luftführende Querschnitte eine anwendungstechnische Funktion erfüllen.

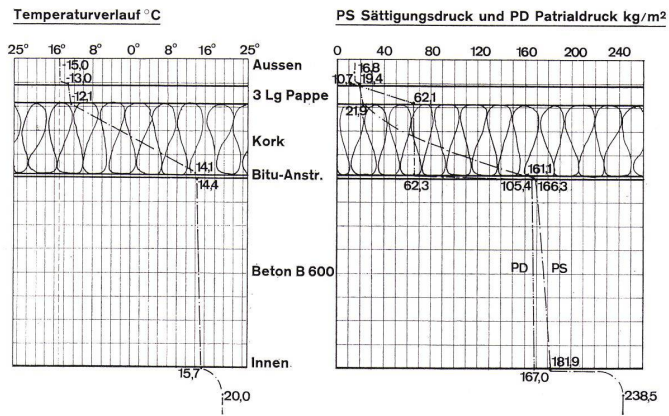
Das U-Faltwerk nach Dr.-Ing. Tihmár Koncz («Handbuch der Fertigteilbauweise») kann ähnliche Funktionen übernehmen, integriert aber auch raumabschließende Funktionen, wie die der Oberlichtöffnungen, in ansprechender Form und ist darüber hinaus ähnlich wie die HP-Schale geeignet, übergeordneten Systemen als Grundelement zu dienen, indem es sowohl bei Dunkel- und Oberlichthallen als auch bei Nordlichthallen verwendet werden kann.

Diese wenigen Beispiele mögen genügen, die Entwicklungstendenz der Flächentragwerke im Teilbereich der vorgefertigten Dachelemente aus Stahlbeton zu erkennen.

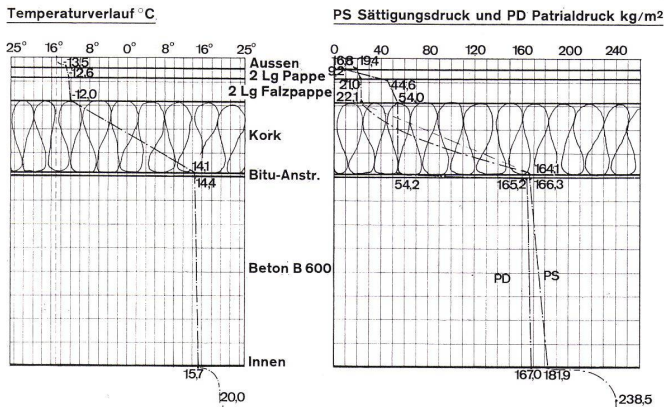
Wie alle Betonfertigteile gehören auch die Flächentragwerke zwei übergeordneten technisch-ökonomischen Systemen an, nämlich dem Produktionssystem, soweit ihre Herstellung in Betracht gezogen wird, und dem Bausystem, soweit ihre Anwendungsmöglichkeit in Betracht gezogen wird.

In beiden Systemen nehmen sie unterschiedliche Stellungen ein. Im Produktionssystem sollen sie definativen Charakter haben; im Bausystem sollen sie in ihrer Kombinationsfähigkeit variabel sein. Ihre optimale Nutzbarmachung für das Baugeschehen setzt die Integration möglichst aller Funktionen in einem Herstellungsprozeß und in einem Element voraus.

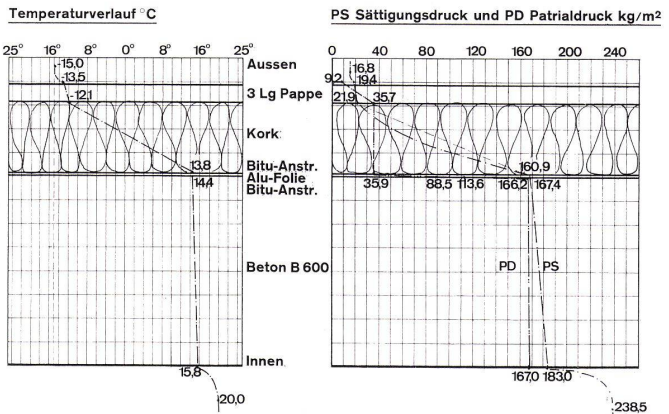
Das Flächentragwerk bietet diese Integrationsmöglichkeiten, deren der Skelettbau nicht im gleichen Maße fähig ist.



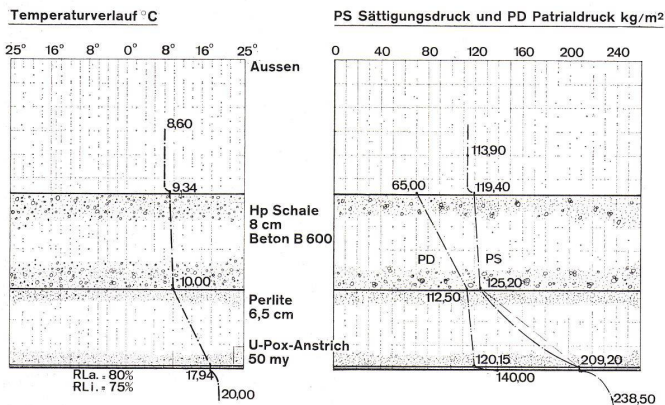
15



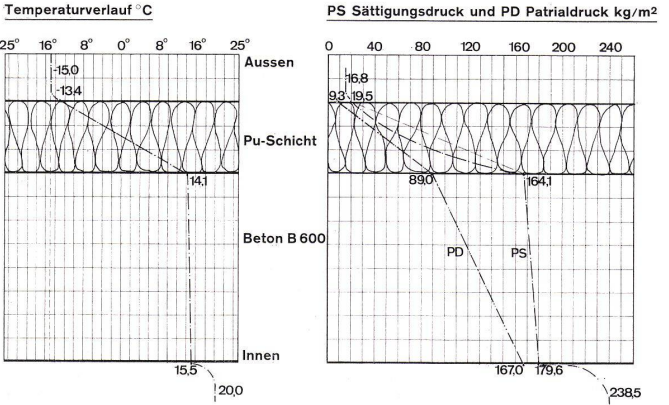
16



17



13



18