

# Der Schalenshedbau der Sphinxwerke Müller & Cie. AG. in Solothurn

Autor(en): **Keller, Oskar**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **77 (1959)**

Heft 2

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-84186>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Der Schalenshedbau der Sphinxwerke Müller & Cie. AG. in Solothurn

DK 624.074.4:624.012.47

Von Oskar Keller, dipl. Ing., in Firma Fritz Moos, Hoch- und Tiefbau AG., Biberist-Solothurn

### 1. Allgemeines

Im Frühjahr 1958 wurde für die Sphinxwerke Müller & Cie. AG. in Solothurn, ein Unternehmen der Décolletage-Industrie, ein Neubau fertiggestellt, dessen Dachkonstruktion aus weitgespannten Schalensheds in vorgespanntem Beton besteht. In diesem Aufsatz soll nun auf einige interessante Punkte des Projektes, der Berechnung, Konstruktion und der Lichtverhältnisse hingewiesen werden, ohne im übrigen im Einzelnen auf die Probleme der statischen Berechnung einzugehen, welche in letzter Zeit schon öfters Gegenstand von Veröffentlichungen in der in- und ausländischen Fachliteratur bildeten.

### 2. Projekt

Der Auftrag der Bauherrschaft lautete auf eine stützenlose Halle mit sehr guter natürlicher Belichtung, als nördliche Fortsetzung der bestehenden Fabrikbauten. Wichtig für die Präzisionsarbeit dieses Unternehmens ist dabei nicht nur die Quantität des einfallenden Lichtes, sondern auch dessen Qualität, d. h. die Gleichmässigkeit der Helligkeit. Da aber gerade diese von Anfang an beim Shedprojekt umstritten war, soll im Abschnitt 4 die Frage der Tageslichtverteilung noch eingehender behandelt werden.

Aus verschiedenen Vorprojekten wurde nach eingehenden Studien schliesslich das nun ausgeführte gewählt, das mit sechs Sheds die Halle von  $65,50 \times 24,50$  m stützenlos überdeckt und dank der leichten Bauweise eine wirtschaftliche Lösung darstellt (Bild 1). Die Längsseite der Halle weist nach Norden, so dass, um die Vorteile der Shedkonstruktion in Bezug auf die Belichtung auszunützen zu können, die Sheds parallel der Längsseite gestellt werden mussten. Die Spannweite von 65,50 m ist durch eine Dilatationsfuge, deren Lage durch den Altbau gegeben war, in zwei Hälften unterteilt, die aus Gründen der Konstruktion und Ausführung (Deformationen, Vorspannung, Ausschalen usw.) voneinander vollständig unabhängig ausgebildet sind. Die Endscheiben der Sheds bei dieser Fuge sind gleichzeitig Querscheiben zur Abstützung der Dachlasten und überbrücken die Halle in der Querrichtung stützenfrei. So war es möglich, in Hinsicht auf eine allfällige spätere Erweiterung der Halle nach Norden in der Nordfassade nur einen doppelten Mittelpfeiler auszubilden, der, da er als Pendelstütze wirkt,

sehr schlank gehalten werden konnte. Aus Gründen der Fabrik-Organisation ist die Westhälfte noch durch zwei Trennwände unterteilt, die jedoch nichttragend sind, damit man sie jederzeit, falls der Betrieb dies erfordern sollte, entfernen kann.

Die Abmessungen der Sheds gehen aus Bild 5 hervor. Die Schalen sind aussen durch Lanisolmatten isoliert und durch Welleternit abgedeckt. Die Innenseite ist mit hell gestrichenen Akustikplatten ausgekleidet, womit gleichzeitig eine gute Schall- und Wärmeisolation erreicht wird. Die Shedfenster weisen eine lichte Höhe von 2,65 m auf, sie sind doppelt verglast und mit Lüftungsflügeln versehen.

### 3. Berechnung und Konstruktion der Sheds

Mit einem Verhältnis von Länge zu Breite =  $33,68:8,00 = 4,2$  gehört der vorliegende Shed zu der statischen Gruppe der langen Schalen, die sehr gut nach der Balkentheorie berechnet werden können. Bei der Berechnung nach der Schalentheorie ist zu beachten, dass sich die Randstörungen der beiden Schalenschalenschrägen schon ziemlich stark überschneiden und dass für eine exakte Rechnung die ganze, aus drei Sheds bestehende Dachkonstruktion als ein Gebilde zu betrachten ist, mit der entsprechend hohen Zahl der zugehörigen Unbekannten<sup>1)</sup>. Diese mühsame Rechnung kann allerdings genügend genau ersetzt werden durch die Berechnung des einzelnen Sheds, indem die Abstützkräfte des oberen Randes auf die nächste Shedrinne im Iterationsverfahren in Rechnung gesetzt werden.

Da es sich bei den Sheds der Sphinxwerke Solothurn um grosse Spannweiten handelte, wurde die statische Berechnung sowohl nach der Schalen- als auch nach der Balkentheorie durchgeführt. In den wichtigsten Punkten konnte dabei eine gute Uebereinstimmung festgestellt werden. Die Stabilitätsfrage wurde ebenfalls sorgfältig studiert.

Die maximalen Betonspannungen treten in der Rinne im Zustand nach Schwinden und Kriechen, unter Vollast durch Schnee und Kranbahn, auf. Es wurden bis  $170 \text{ kg/cm}^2$  Druck- und bis  $30 \text{ kg/cm}^2$  örtliche Betonzugspannungen zugelassen, wobei die resultierende Zugspannung vollständig durch schlaffe Armierung aufgenommen wurde. Infolge des relativ hohen Anteils des Eigengewichtes der Betonkonstruktion am Totalgewicht ist dabei der Bauzustand Vorspannung,

<sup>1)</sup> Siehe K. Buyer, Beispiele neuerer Schalensbauten, «Beton- und Stahlbetonbau», 52. Jahrgang, Januar 1957.

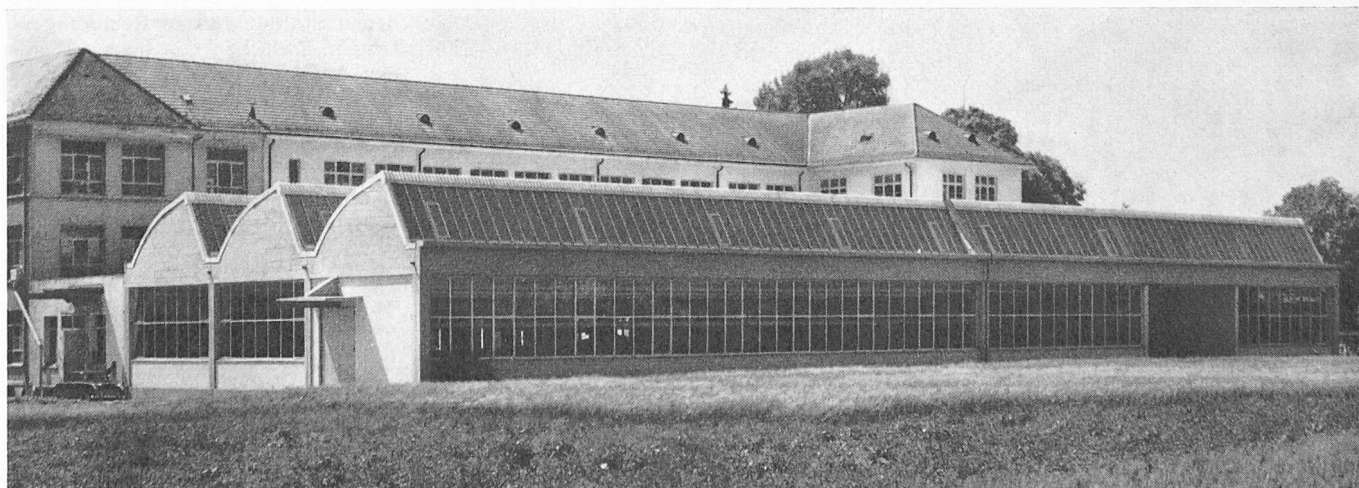
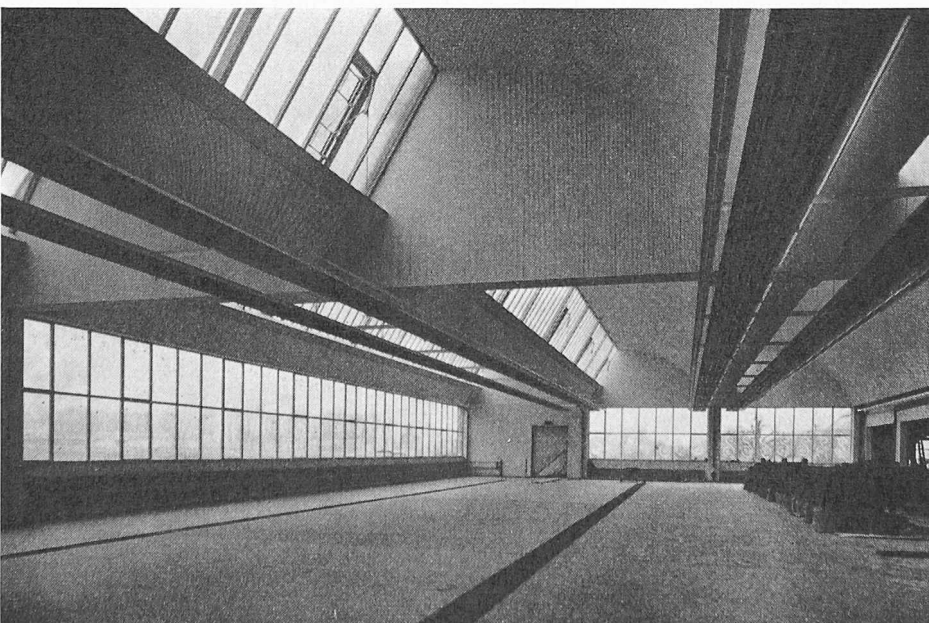
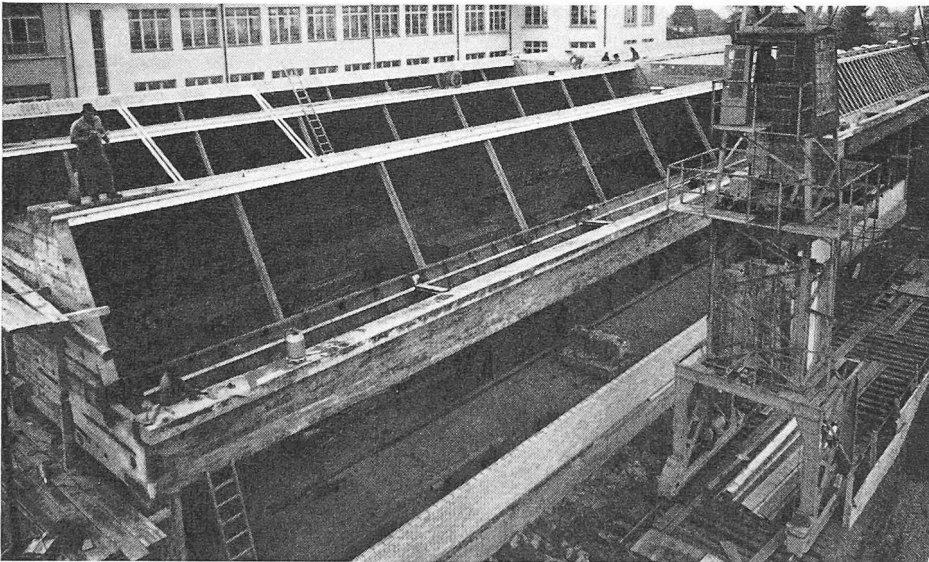
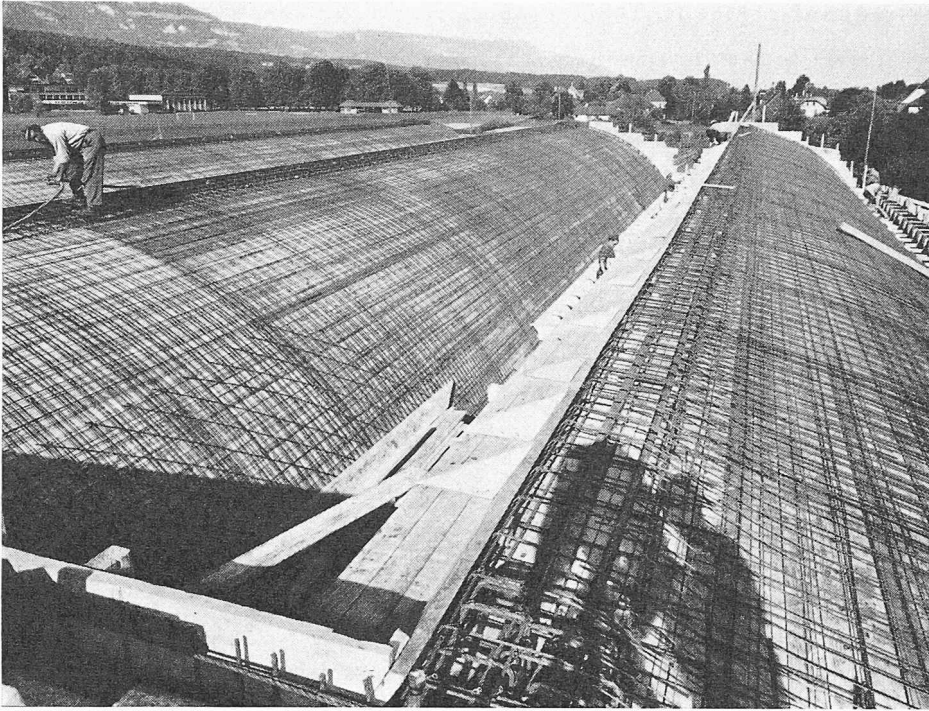


Bild 1. Ansicht der fertigen Halle aus Nordosten.



bei dem das Eigengewicht infolge Abhebens vom Lehrgerüst schon zur Wirkung kommt, nicht am ungünstigsten bezüglich der Betonspannungen.

Auf Grund dieser zugelassenen Spannungen wurde die erforderliche Würfeldruckfestigkeit nach 28 Tagen zu  $450 \text{ kg/cm}^2$  festgesetzt und daraufhin die Zusammensetzung und Zementdosierung des Betons durch Vorversuche abgeklärt, welche folgendes Resultat ergaben:

1. «Schalenbeton»: Kiessand  $0 \div 15 \text{ mm}$  in drei Komponenten,  $350 \text{ kg/m}^3$  normaler Portlandzement, 1 % Plastimentzusatz.
2. «Rinnenbeton» (alle Bauteile ausser Schale): Kiessand  $0 \div 30 \text{ mm}$  in drei Komponenten,  $325 \text{ kg/m}^3$  normaler Portlandzement, 1 % Plastimentzusatz.

Die höhere Zementdosierung beim Schalenbeton, trotz der dort auftretenden relativ kleinen Beanspruchungen, ergab sich aus der bekannten Tatsache, dass kleineres Maximalkorn bei gleicher Zementdosierung eine spürbare Abminderung der Druckfestigkeit zur Folge hat. Die erreichten Festigkeiten dieser Betone nach 28 Tagen an Probekörpern sind im Mittel folgende:

«Rinnenbeton» PC 325: Biegung  $79,0 \text{ kg/cm}^2$ , Druck  $489 \text{ kg/cm}^2$ .

«Schalenbeton» PC 350: Biegung  $79,0 \text{ kg/cm}^2$ , Druck  $500 \text{ kg/cm}^2$ .

Diese Resultate sind am fertigen Bauwerk noch mit dem Betonprüfhammer kontrolliert worden.

Die 7 cm starken Schalen sind grundsätzlich mit einem doppelten Armierungsnetz  $100 \cdot 150 \cdot 5 \cdot 3 \text{ mm}$  armiert. Diese Netze sind nicht auf das Maximalmoment bemessen, sondern es wurde ein schwächeres Netz gewählt, das man im Bereiche der Maximalmomente mit Armierungseisen aus hochwertigem Stahl verstärkte. Diese Eisen wurden auf der Baustelle auf die Netze geflochten und konnten somit mit den Drahtgeflechten auf einfache Art verlegt werden. Bei der Berechnung war dabei allerdings den verschiedenen Stahlqualitäten Rechnung zu tragen. Zwischen den beiden Lagen der Armierungsnetze liegt im Bereiche der grössten Hauptzugspannungen in der Schale die Trajektorienarmierung.

Die Shedschalen sind in den oberen und unteren Randgliedern mit Kabeln Typ BBRV vorgespannt. Da

Bild 2 (oben). Die Shedschalen des Ostteiles vor dem Betonieren.

Bild 3 (Mitte). Halle im Rohbau. Isolation der Shedrinnen, Montage der Shedfenster und der Welleternit-Dachabdeckung.

Bild 4 (unten). Innenansicht der fertigen Shedhalle (noch ohne Kranbahnaufhängung).



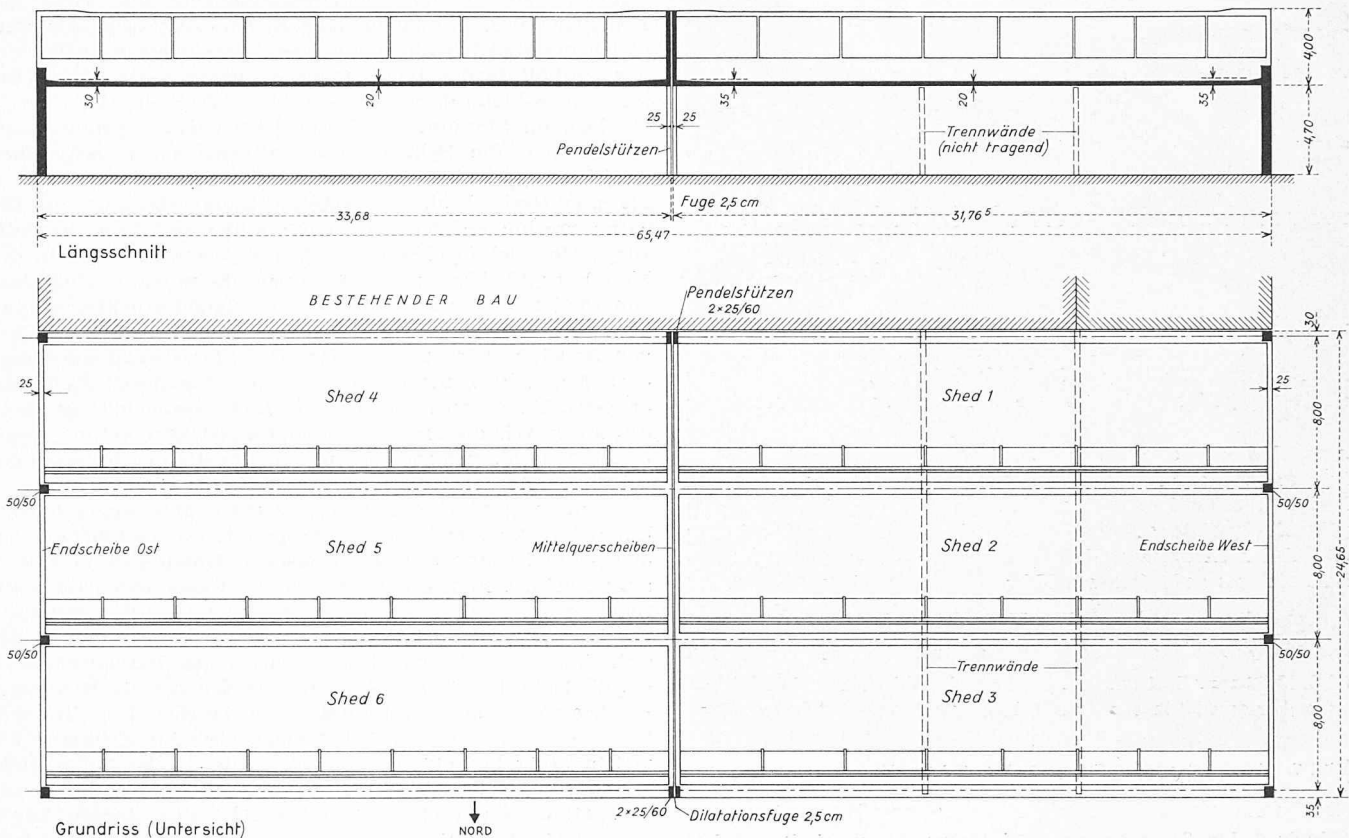


Bild 5. Schalenshed der Sphinxwerke Müller in Solothurn, Grundriss und Längsschnitt 1:400.

es wünschenswert wäre, die Spannglieder gegen die Endscheiben in die Schalen hochzuziehen, dies aber infolge des Durchmessers der Kabel nicht ohne weiteres möglich ist, sind die Schalen an den Enden auf 20 bis 30 cm verstärkt; dies erlaubt eine gewisse Verschiebung der Kabelverankerung gegen das Schaleninnere zu. Ebenso sind die Spannglieder auf der Brüstungsseite der Rinne aufgebogen. Dies bewirkt bereits, dass in den Randgliedern gegen die Auflager keine hohen Schubkräfte und damit keine ausserordentlichen Hauptzugspannungen auftreten, so dass neben der Bügelarmierung auf eine zusätzliche Bewehrung infolge der sonst an dieser Stelle auftretenden Spannungsspitzen überhaupt verzichtet werden konnte.

Total beträgt die Initialvorspannung  $V_0$  im unteren Randglied eines Mittelsheds rd. 600 t, im oberen Randglied 146 t. Die Vorspannung erfolgte in drei Etappen, und zwar nur je von einer Shed-Aussenseite, wo Ankerköpfe Typ J angeordnet sind. Die zweite Etappe war derart berechnet, dass der zuerst erstellte Bauteil

Tabelle 1. Lichtmessungen in der Halle

	1. Messung	2. Messung	3. Messung
Datum der Messung	11. 12. 1957	11. 2. 1958	14. 3. 1958
Tageszeit	11.00—12.00 h	11.00—12.00 h	16.00—17.00 h
Wetterlage	Bedeckt, Nebel	Bedeckt, Nebel	Bedeckter Himmel
Bauzustand	Rohbau: Dach und Shedfenster fertig, Fassaden offen	Fassadenfenster abgeschalt, Shedschalen weiss ausgekleidet, sonst Halle nicht gestrichen	Halle fertig, Durchbruch zu alter Halle beendet
Horizontale Beleuchtungsstärke im Freien	rd. 7000 Lux	rd. 8000 Lux	rd. 8500 Lux
Tageslichtkoeffizient	Max. 15,7 % Min. 8,2 % Mittel 12,4 %	15,6 % 7,8 % 12,0 %	19,8 % 11,7 % 15,8 %
Ungleichförmigkeit $u =$	1:1,92	1:2,0	1:1,69
Messhöhe in der Halle	1,30 m	1,30 m	1,30 m

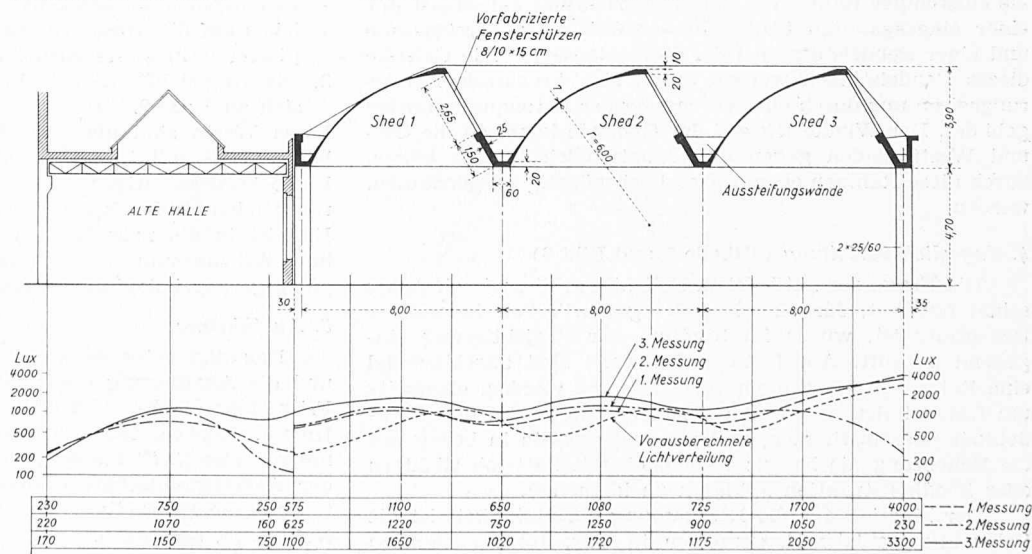


Bild 6. Querschnitt 1:300 und Lichtverteilung.

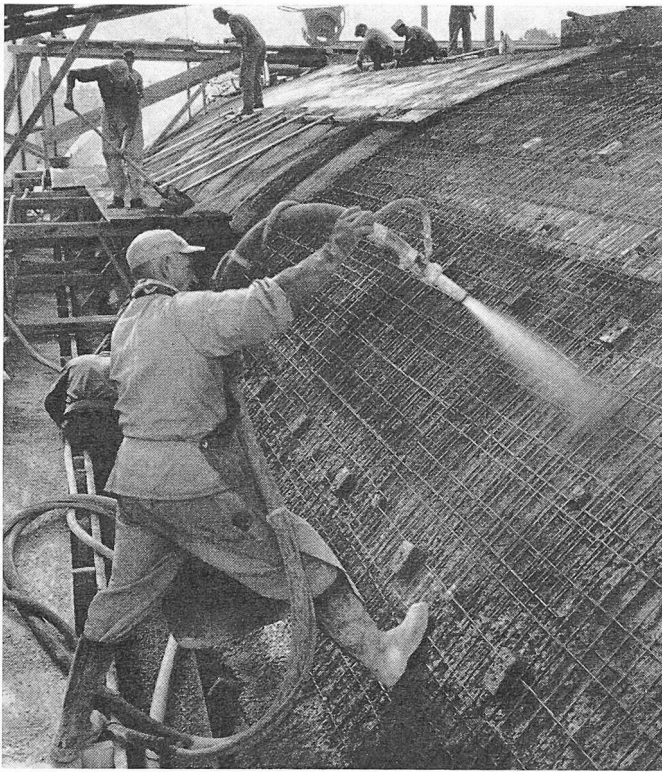


Bild 7. Ausführung der 7 cm starken Schalen im Spritzverfahren.

(Sheds 1 bis 3) nach etwa 14 Tagen ausgeschalt werden konnte, um die Schalung für den zweiten Bauteil verwenden zu können. Die dritte Etappe der Vorspannung wurde darauf nach etwa 28 Tagen Erhärtungsdauer aufgebracht.

Der obere Rand der Schale ist mit auf der Baustelle vorfabrizierten Fensterstützen, welche im Abstand von rd. 4 m angeordnet sind, auf die nächste Shedrinne abgestützt. Eine Ausführung ohne Fensterstützen, wie dies bei kürzeren Sheds schon einige Male ausgeführt wurde, kommt bei dieser Spannweite und bei den gewählten Abmessungen kaum noch in Frage. Neben der erheblichen Verbesserung der Stabilität der Schale durch diese Stützen fällt damit auch die für die Shedfenster unerwünschte Deformation des oberen Randes dahin. Die Sicherheit der vorliegenden Schalen gegen Ausbeulen beträgt im Minimum 2,4 (nach Lundgren).

Den zu erwartenden Deformationen des ganzen Bauwerkes infolge elastischer Verkürzung bei der Vorspannung, sowie durch Schwinden, Kriechen und Temperaturschwankungen wurde bei der Abstützung der Dachkonstruktion besondere Beachtung geschenkt. Je eine Gebäudehälfte wird als einstielliger Rahmen in der Längsrichtung aufgefasst mit einer eingespannten Stütze in der Ost- bzw. Westfassade und einer Pendelstütze bei der Dilatationsfuge. Die Gelenke dieser Pendelstützen werden durch sich kreuzende Armierungseisen und durch eine Verengung des Betonquerschnittes gebildet. Der Winddruck auf das Gebäude kann, da die Ost- und Westfassaden gegen die Hauptwindrichtungen liegen, durch diese Rahmen ebenfalls statisch günstig aufgenommen werden.

#### 4. Tageslichtverteilung (Tabelle 1 und Bild 6)

Die Frage der natürlichen Belichtung, die, wie eingangs schon erwähnt, für eine Décolletagefabrik von besonderer Bedeutung ist, wurde im Stadium der Projektierung eingehend geprüft. Am fertigen Bauwerk sind anschliessend eine Reihe von Messungen vorgenommen worden, einerseits um festzustellen, wie weit die Berechnungen mit der Wirklichkeit übereinstimmen, und um andererseits in bezug auf die Belichtung die Frage: Flachdach mit Satteloberlichtern oder Shedkonstruktion abklären zu können<sup>2)</sup>.

Der Masstab für die Bestimmung der Helligkeit ist die Beleuchtungsstärke  $E$ , gemessen in Lux. Im vorliegenden

<sup>2)</sup> Siehe auch A. Staub, Schalensheddach der Schweiz, Bindfadefabrik Schaffhausen, SEZ Band 115, Nr. 1 vom 6. Januar 1940.

Falle wurde nur die Vertikalkomponente und zwar auf Arbeitshöhe, d. h. 1,30 m über Boden, gemessen. Als Vergleichsmaßstab berechnet man den Tageslichtfaktor  $TF$ , der das Verhältnis der inneren zur äusseren horizontalen Beleuchtungsstärke darstellt, also  $TF = E_i/E_a$  in %.

Das im Stadium der Vorprojektierung eingeholte Gutachten über die Belichtungsverhältnisse bei verschiedenen Projekten gab für das Schalenshedprojekt die in Bild 6 als punktierte Linie dargestellte Lichtverteilung an. Die dafür errechneten Werte betragen: Mittlerer  $TF$  für die Halle 10 %, Ungleichförmigkeit (= Verhältnis  $E_{min} : E_{max}$  in der Halle) 1 : 2,8 bis 1 : 3,0. Während die mittlere Helligkeit von 10 % noch als einigermassen genügend erachtet werden kann, ist die errechnete Ungleichförmigkeit für diese Art von Arbeit sicher zu hoch. Das Gutachten weist allerdings darauf hin, dass bei der Berechnung das durch Reflexion an den Schalen zurückgeworfene Licht vernachlässigt werden muss. Wie die Messungen zeigten, ist aber gerade dieser Anteil ausschlaggebend für die sehr günstige Lichtverteilung bei dieser Konstruktionsart.

Am ausgeführten Bauwerk wurden Messungen mittels Luxmetern zu verschiedenen Zeitpunkten ausgeführt<sup>3)</sup>, von denen die Resultate dreier typischer Messungen in Bild 6 aufgezeichnet sind. Da im Winter die Fassadenfenster während zwei Monaten mit Holz abgeschalt werden mussten, um in der Halle gleichwohl weiterarbeiten zu können, bot sich eine gute Gelegenheit, den Einfluss der Fassadenfenster auf die Helligkeit in der Halle zu erfassen (zweite Messung).

Die Messungen erfolgten ausnahmslos bei diffusem Licht, d. h. im Winter bei Nebelwetter, im Frühjahr bei gleichmässig bedecktem Himmel. Trotzdem ist bei solchen Messungen zu beachten, dass sich die Aussenhelligkeit in 10 Minuten um einige 100 bis 1000 Lux ändern kann. Diesem Umstande kann nur dadurch begegnet werden, dass zu jedem Messwert in der Halle gleichzeitig eine Messung im Freien erfolgt. Die Aufzeichnung der Resultate erfolgte nicht nach absoluten Werten, sondern in einem logarithmischen Masstab, um die Helligkeitsunterschiede ungefähr so darzustellen, wie sie vom menschlichen Auge wahrgenommen werden. Sogar die in Bild 6 noch verzeichneten Wellen der Helligkeitskurven konnten von blossem Auge kaum noch festgestellt werden, obwohl die Unterschiede bis 1000 Lux betragen.

Für die Berechnung der Mittelwerte in der Halle wurden jeweils, entsprechend den Vorberechnungen im Gutachten, die Verhältnisse unter Shed 3 infolge des Einflusses der Fassadenfenster nicht berücksichtigt. Sie beziehen sich deshalb stets auf die zehn Messresultate unter Shed 1 und 2. Die Auswertung ergibt zusammengefasst folgendes:

1. Der mittlere Tageslichtfaktor beträgt im fertigen Bauwerk 15,8 %.
2. Die Zunahme des  $TF$  vom Rohbau zur fertigen Halle beträgt 12,4 zu 15,8 %, d. h. 3,4 % oder rd. 250 Lux bei den vorhandenen Aussenhelligkeiten. Diese Zunahme ist zweifellos auf die grosse rückstrahlende Wirkung der weissen Plattenverkleidung zurückzuführen.
3. Die Ungleichförmigkeit in der fertigen Halle errechnet sich zu 1 : 1,69.

Diese Werte sind als sehr günstig anzusehen und widerlegen die Resultate der Rechnung, welche nur das direkte Licht berücksichtigen kann. Sie werden durch den überraschenden Eindruck der Helligkeit bestätigt, den man beim Eintritt in die neue Halle gewinnt. Sicher wird der neue, helle Arbeitsraum auch in Bezug auf das Arbeitsklima seine günstige psychologische Auswirkung haben.

#### 5. Ausführung

Das allgemeine Bauprojekt, die statischen Berechnungen und die Ausführung der Rohbauarbeiten waren der Firma Fritz Moos, Hoch- und Tiefbau AG., Biberist-Solothurn, übertragen. Experte für die Kontrolle der statischen Berechnungen war G. Steinmann, dipl. Ing., Chef des Studienbüros der Aktiengesellschaft Conrad Zschokke, Genf. Die architektonische Bearbeitung lag in den Händen von Arch. Carl Neukomm, Solothurn.

<sup>3)</sup> Unter verdankenswerter Mitwirkung des Elektrizitätswerkes Solothurn.