

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 73 (1955)
Heft: 36

Artikel: Vorgespannte Schalensheds
Autor: Berger, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-61979>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 27.04.2025

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

Vorgespannte Schalensheds

Von Dipl. Ing. F. Berger in Fa. Salzmann & Emch, Solothurn, und Emch & Berger, Bern

DK 624.074.5:624.012.47

1. Allgemeine Angaben

In Langendorf bei Solothurn ist der Rohbau der Uhrenfabrik Langendorf Watch Co. («Lanco») nach zweijähriger Bauzeit beendet worden. Dieser Bau wird in der Hauptsache durch rund 15 000 m² Pilzdecken für 2 t/m² Nutzlast mit Stützweiten von 7,75 m, bzw. 6,00 m gebildet. Die Dachkonstruktion besteht aus vorgespannten Platten von 12 m und Schalensheds von 24 m Spannweite. Der Rauminhalt des Baues beträgt rund 100 000 m³. Die Berechnung der Pilzdecken erfolgte nach der üblichen, klassischen Theorie und wurde durch Modellmessungen am Institut für Baustatik und Massivbau der ETH von Prof. Dr. P. Lardy ergänzt. Diese Modellversuche erlaubten eine wirtschaftlichere Bemessung und führten zur Abklärung verschiedener Probleme.

Von besonderem Interesse am Neubau ist die Dachkonstruktion mit einer Grundrissfläche von 5800 m² (Bild 1). Den Projektverfassern wurde die Aufgabe gestellt, einen mittleren stützenfreien Raum von 2600 m² und zwei seitliche, ebenfalls stützen- und unterzugsfreie Räume von je 1300 m² Grundrissfläche zu überdecken. Die beiden Seitenhallen wurden durch vorgespannte Platten von 12 m Stützweite und 30 cm Stärke überdeckt. Die mittlere Halle dient vor allem

der Produktion und musste dementsprechend ausgebildet werden; insbesondere sollte ein vorzügliches Arbeitsklima (schattenfreie, ausgezeichnete natürliche und künstliche Beleuchtung, Klimatisierung, ansprechende Umgebungseinwirkung usw.) geschaffen werden. Am ehesten entsprach eine Shedkonstruktion den gestellten Anforderungen, und so wurden nach eingehenden Studien mit Kostenvergleichen vorgespannte Schalensheds gewählt, die sich als sehr wirtschaftlich erwiesen.

2. Projektierung der vorgespannten Schalensheds

Allgemeines. Dem Bauvorgang entsprechend mussten die Sheds einzeln und vollständig unabhängig voneinander konstruiert werden; die starken Verformungen infolge Vorspannung (zu ganz verschiedenen Zeiten) erlaubten keine Verbindung der Sheds untereinander. Daher entschlossen sich die Projektverfasser, von der traditionellen Shedbauweise abzugehen und auf Stützen in den Fensterflächen zu verzichten (Bild 6). Es dürfte sich dabei um die ersten Sheds handeln, welche mit ähnlichen Spannweiten als freitragende Zylinderschalen — unter Verzicht auf irgendwelche Abstützung des

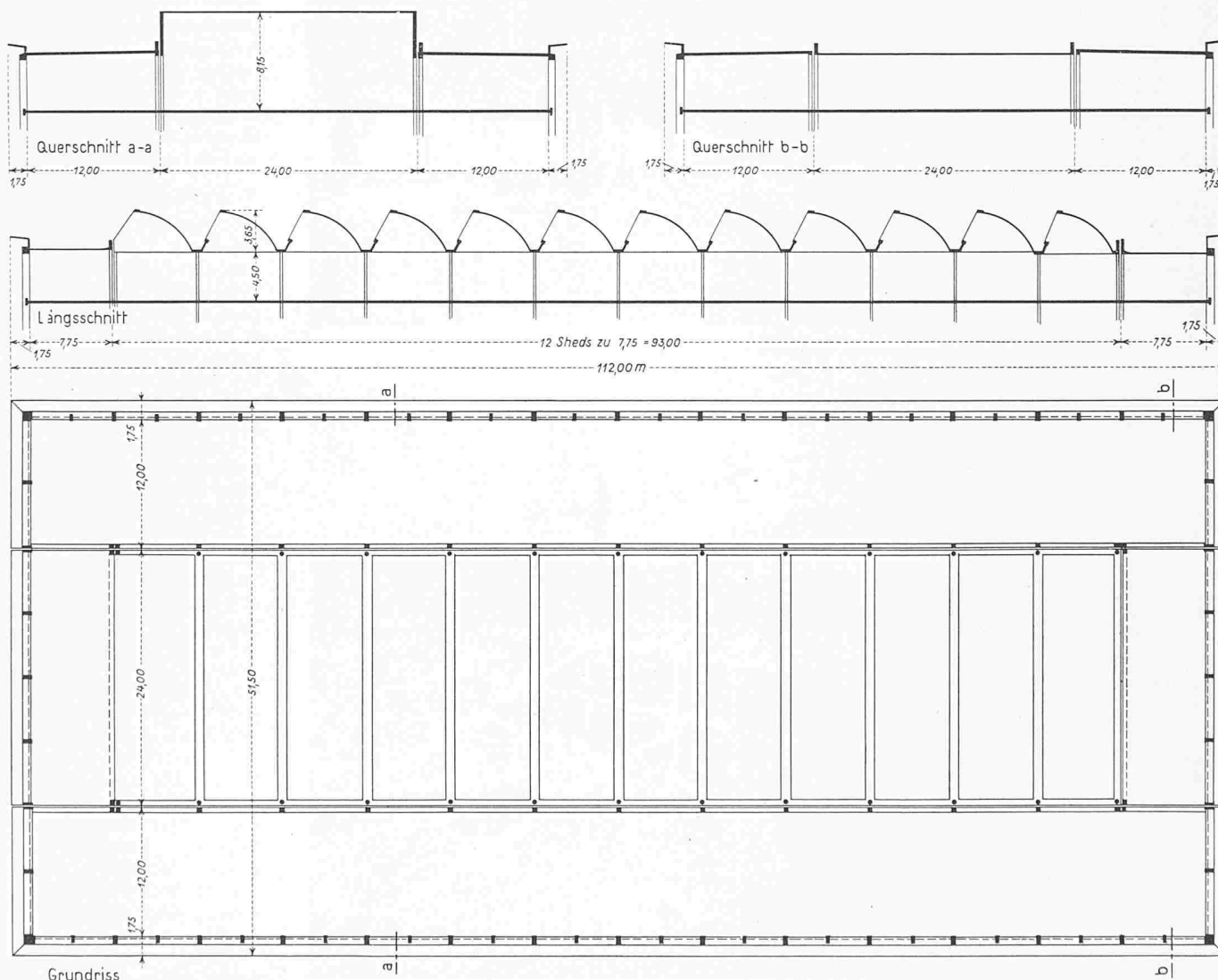


Bild 1. Die Hauptabmessungen der Dachkonstruktion der Uhrenfabrik Lanco in Solothurn; Masstab 1:600

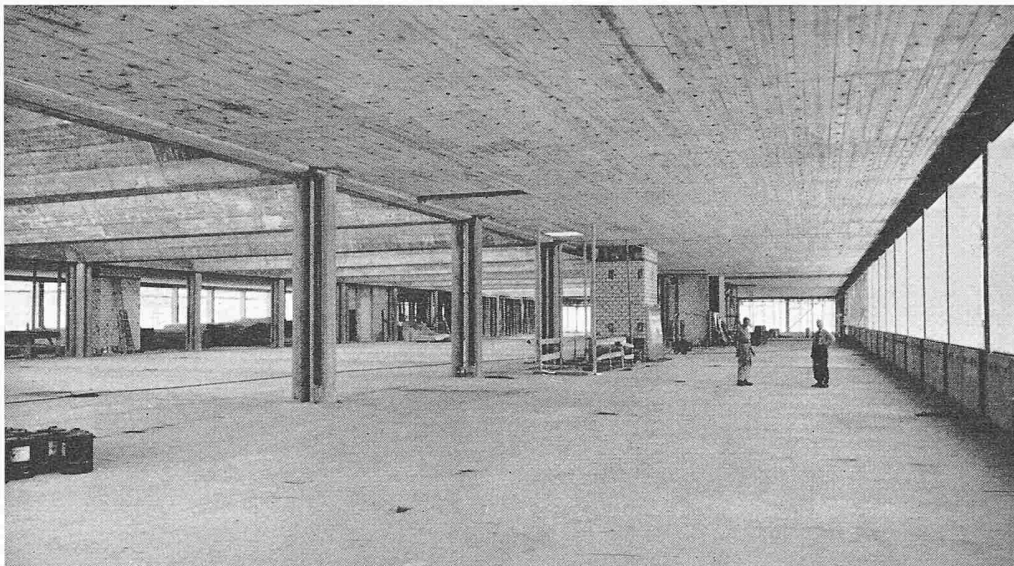
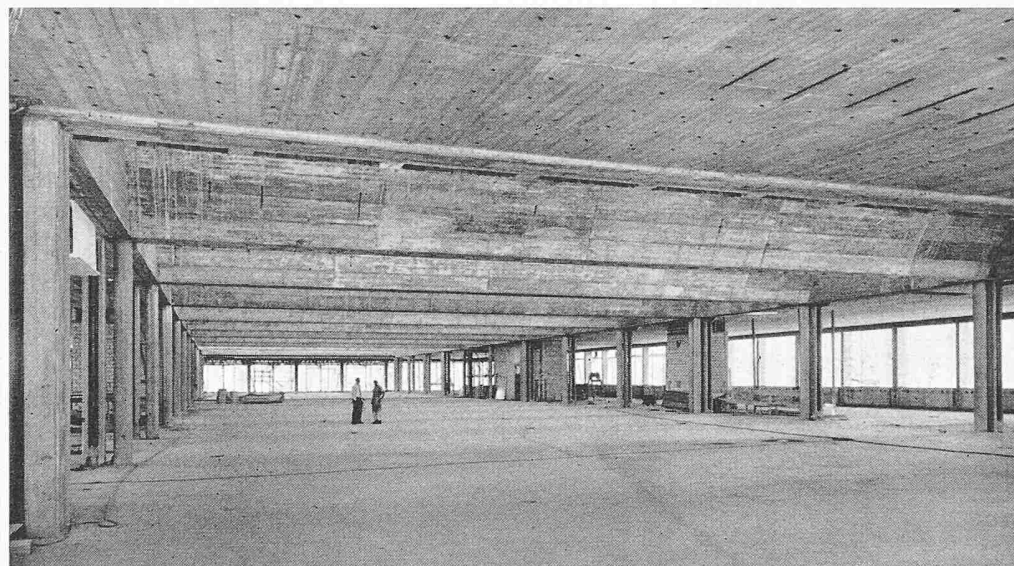
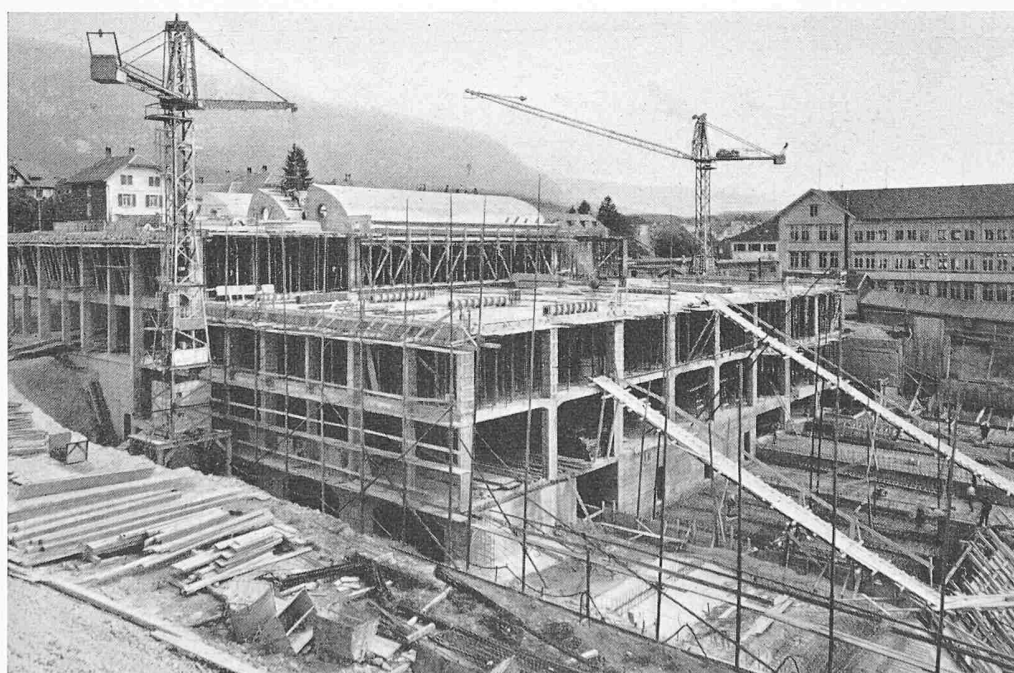
Bild 2. Innenansicht einer Seitenhalle (Grundfläche 1300 m²)Bild 3. Innenansicht der Shedhalle (Grundfläche 2600 m²)

Bild 4. Bauzustand der Uhrenfabrik Lanco im Mai 1954

oberen Schalenrandes — ausgeführt wurden. Dadurch war auch die Art der Vorspannung und Kabellage gegeben. So wurde erstmals eine praktisch gradlinige Kabelführung (am untern und obern Schalenrand) gewählt. (Bild 5, Lage der Ankerplatten.) Die Schale mit einer Stärke von 8 bis 9 cm läuft unten in den Rinnen-träger aus, der als Klimakanal und als Wasserrinne dient. Die Schale wird am oberen Rande zur Aufnahme der Vorspannkabel verstärkt, wobei diese Verstärkung nach aussen angeordnet wird, um Schattenbildung zu vermeiden und maximalen Lichteinfall zu gewähren (siehe Bild 6).

Berechnung nach der Elastizitätstheorie. Der Spannungszustand solcher Shedschalen unter den äusseren Lasten (Eigengewicht, Schnee, Wind) wurde nach der Elastizitätstheorie, sowie nach baustatischen Methoden (Balken-analogie) mit ausreichender Genauigkeit berechnet; es liegen genügend Versuche und Messungen vor, die die Zuverlässigkeit dieser Berechnungen gewährleisten.

Modellmessungen

Die Wirkung der Vorspannung jedoch lässt sich nach der Elastizitätstheorie nur ungenügend erfassen. Andererseits ist die Wirkung der Vorspannkraft für die Bemessung der Schale wesentlich, so dass sich die Projektverfasser entschlossen, die getroffenen Annahmen und Berechnungen an Hand eines Modellversuches zu überprüfen und zu ergänzen. Darüber hinaus gestattet der Modellversuch die Abklärung verschiedener anderer wichtiger Fragen, wie z. B. die Bestimmung der Formänderung des oberen Randgliedes (ohne Fenstersprossen), das Verhalten der Schale unter Einzellasten, sowie ihre Stabilität. Am Institut für Baustatik und Massivbau an der ETH ist unter der Leitung von Prof. Dr. P. Lardy und seinem Mitarbeiter Dipl. Ing. H. Hauri ein Modell gebaut und ausgemessen worden (Bilder 8 bis 11).

Als Modellbaustoff wurde auf Grund früherer Erfahrungen Plexiglas

(Perspex) gewählt, das im vorliegenden Spannungsbereich elastisch ist. Ausserdem lässt sich das Material sägen, bohren, biegen und vollkommen fest verleimen, so dass Modelle jeglicher Formgestaltung hergestellt werden können. Der Elastizitätsmodul beträgt rd. 32 000 kg/cm² und wird in jedem Falle durch Vorversuche bestimmt. Die Querdehnungszahl ν beträgt rd. 3,5; sie ist also grösser als beim Beton ($\nu = 0,16$). Die daraus herrührenden Abweichungen in der Spannungsverteilung können im vorliegenden Fall als klein abgeschätzt werden. Für das Modell wurde der Massstab 1:30 gewählt. Die gewölbte Schale wurde zwischen zwei genau gekrümmten Stahlblechen bei hoher Temperatur zu- rechtgebogen. Alle andern Teile bestehen aus zusammengeleimten ebenen Platten und Stäben.

Die Belastung des Modells wurde in 64 Einzellasten aufgelöst und die auf die dünne Schale wirkenden Kräfte durch Verteilplatten mit Gummizwischenlagen auf grössere Flächen verteilt. Je 8 dieser Lasten wurden durch genau gearbeitete Hebelsysteme mit Kugel- und Walzenauflagern in eine Einzellast von 3,24 kg, bzw. 4,2 kg zusammengefasst. Zur Aufbringung der Vorspannung wurde ein Hebelsystem entwickelt, das die Einführung einer genau bestimmten Druckkraft in das Modell erlaubte.

Zur Messung der Dehnungen wurden 62 Dehnungsmessstreifen Philips GM 4474 aufgeklebt. Im Mittelschnitt wurden diese über den ganzen Querschnitt so verteilt, dass die Längsspannungen und die Querbiegemomente daraus bestimmt werden konnten, während in den äusseren Achtels- bzw. Viertelpunkten der Schale die Messstreifen in der Form von Sternen (drei Streifen unter 120°) zur Bestimmung der Hauptspannungen angeordnet wurden. Die Messung der Widerstandsänderungen erfolgte mit der direkt anzeigenden elektrischen Messbrücke Philips GM 5536 unter Vorschaltung der notwendigen Verteileinrichtungen. Zur Kompensation der Temperatureinflüsse hat man 16 Kompensations-Messstreifen, die ebenfalls auf Plexiglas aufgeklebt wurden, verwendet.

Die Modellversuche zeigen deutlich, dass die bekannten Theorien über Zylinderschalen in Bezug auf die äusseren Lasten genügend genau zutreffen. Die Ergebnisse der Versuche weichen nirgends mehr als 10 % von den errechneten Werten ab. Aus der Messung folgt, dass sich die Vorspannkraft auf die Randglieder konzentrieren (siehe Timoshenko: «Theorie of Plates and Shells») und die Hauptzugspannungen wesentlich herabmindern, so dass diese nur noch im äussersten Achtel der Spannweite von Bedeutung sind.

3. Belastungsprobe

Nachdem eingehende Berechnungen und Modellmessungen vorgenommen worden waren, bot ein Vergleich mit dem wirklichen Bauwerk auf Grund umfangreicher Belastungsproben ausgezeichnetes Interesse. Diese Belastungsproben hat die Eidg. Materialprüfungsanstalt durchgeführt.

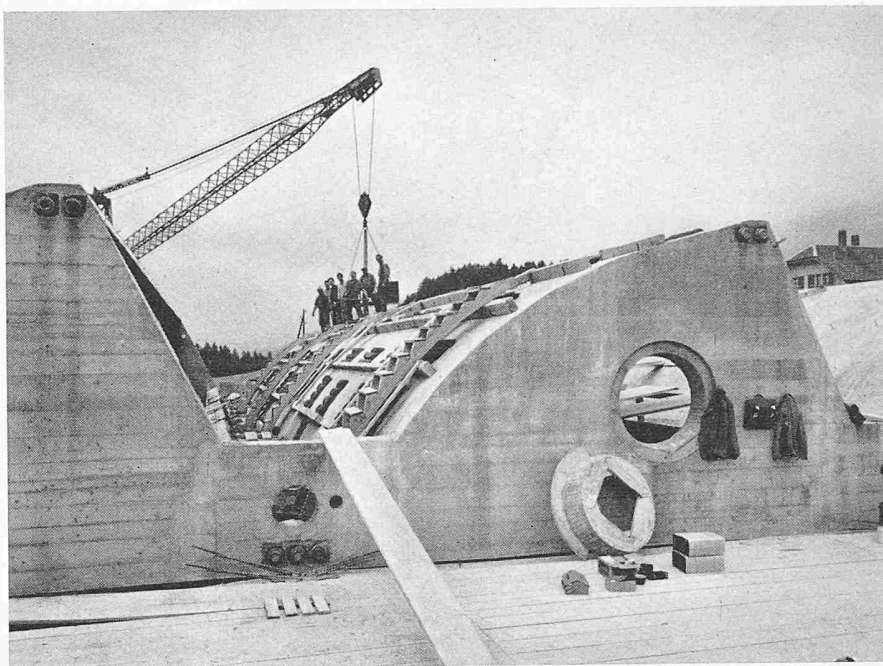


Bild 5. Lage der Ankerplatten der Vorspannkabel. Am oberen Schalenrand 2 Ankerköpfe (Kabel Typ BBRV B 80 der Stahlton AG. Zürich), für 160 t und am unteren Rand 3 Ankerköpfe für 240 t Vorspannkraft

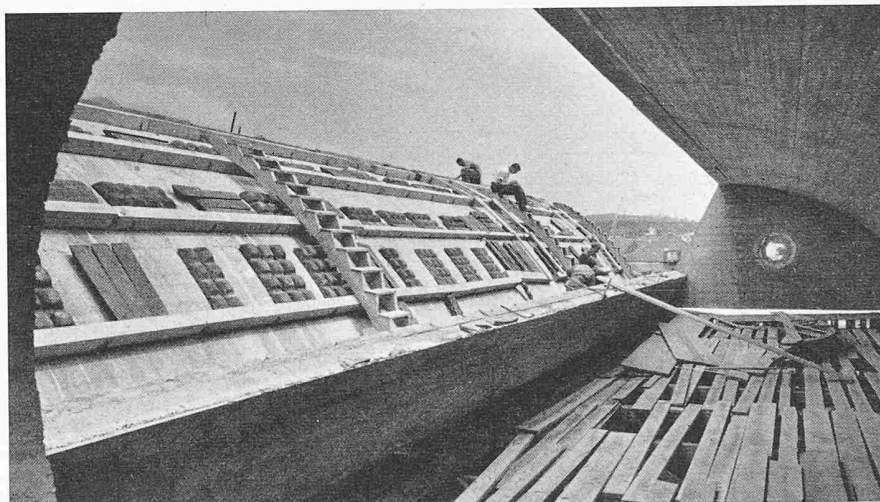


Bild 6. Probelastung von Shed Nr. 2 mit einer verteilten Last von total 24 t

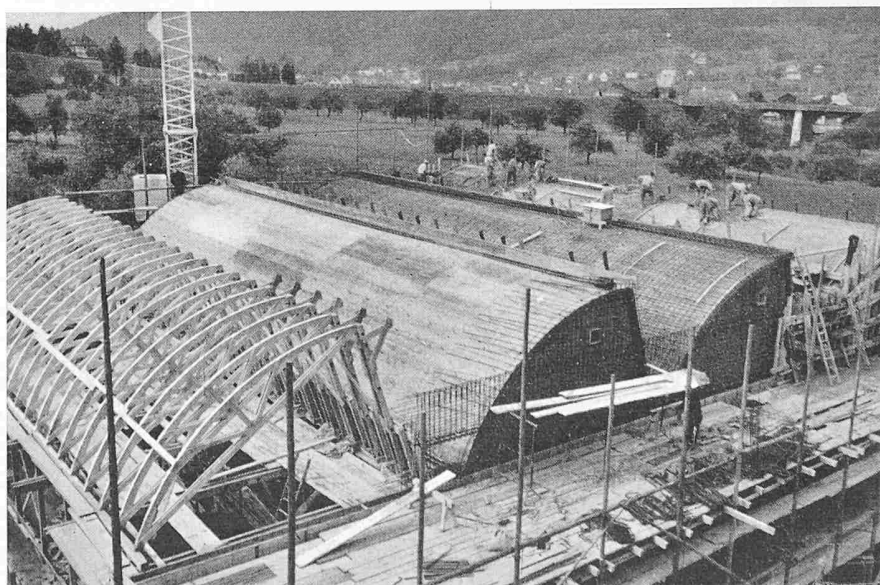


Bild 7. Schalen und Armieren. Links sind die Lehren sichtbar, auf welche die Schalungstafeln verlegt werden. (Textilwerk Hanro in Liestal, Ausführung Preiswerk & Co., Basel)

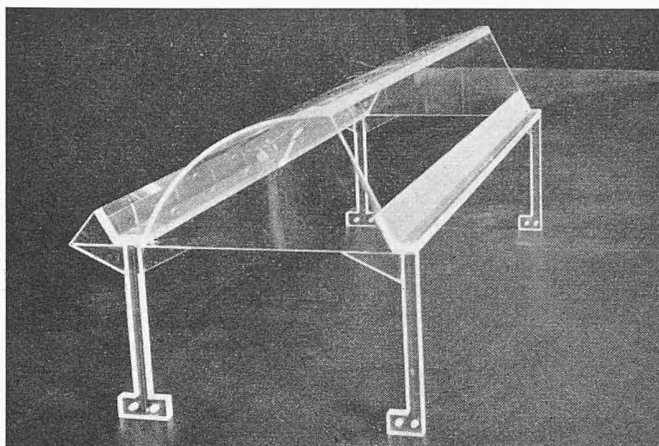


Bild 8. Modell in Plexiglas, Masstab 1:30

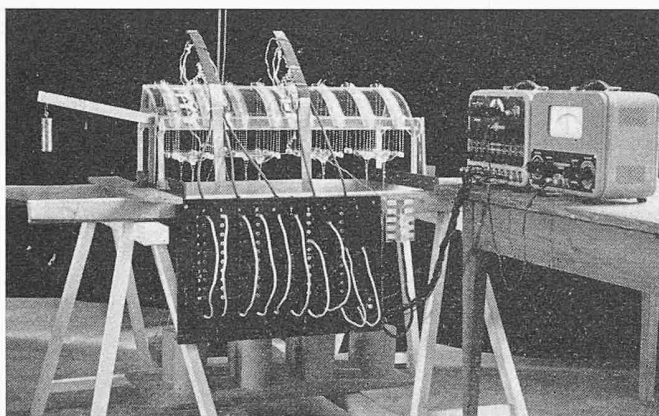


Bild 9. Versuchsanlage (Durchführung der Versuche Januar bis März 1954)

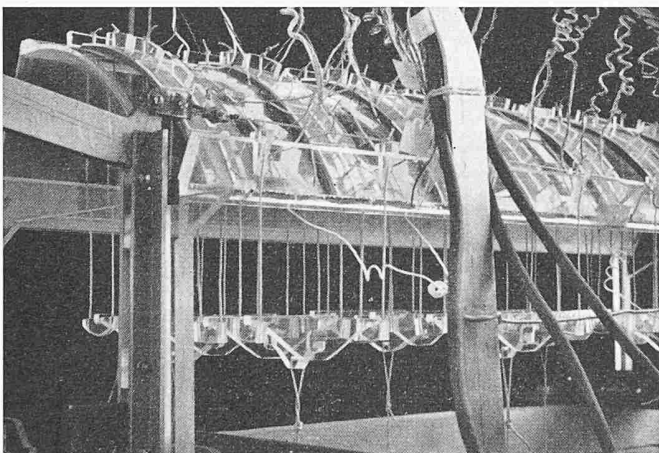


Bild 10. Anordnung der Dehnungsmessstreifen

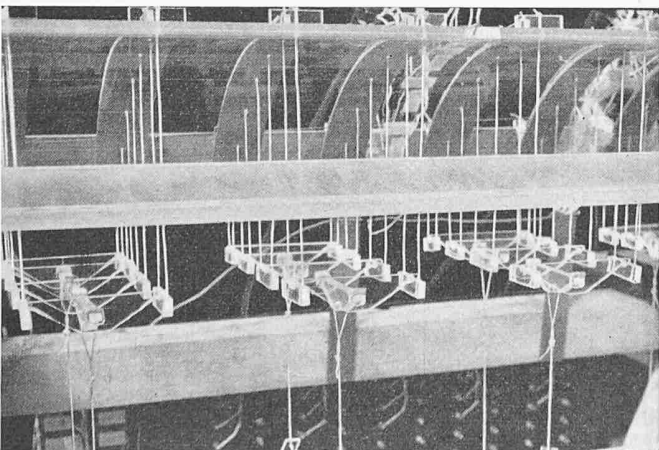


Bild 11. Detail der Belastungs-Einrichtung

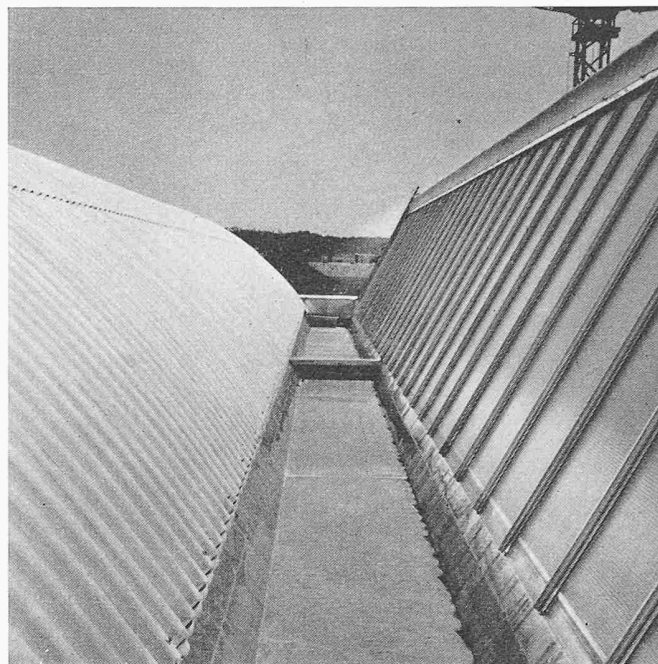


Bild 12. Die fertige Shedrinne

Vorspannung. An drei Sheds wurde der Einfluss der Vorspannung durch wiederholtes Aufbringen der Vorspannkraft von 400 t geprüft. Erwartungsgemäss konzentrierte sich die Vorspannung stark auf die Randglieder und bewirkte eine «Hebung» der Schale in Feldmitte von mehr als 5 mm, so dass sie sich vom Lehrgerüst löste und sich somit selbst «auschaltete». Durch die gewählte einfache Art der Vorspannung (geradlinige Kabelführung) gelingt es, mit Ausnahme von geringen Hauptzugspannungen am Rande, *Zugspannungen vollständig auszuschliessen*, so dass mit rissfreiem Beton gerechnet werden kann.

Verteilte Last. Mit 24 Tonnen Gussmasseln wurde auf Shed Nr. 2 eine gleichmässig verteilte Last von 1 t/m aufgebracht (Bild 6). Die Durchbiegungen des unteren Randgliedes erreichten nicht ganz 1,5 mm, d. h. nicht einmal 1/16 000 der Spannweite. Die gemessenen Dehnungen und Durchbiegungen entsprachen sowohl den errechneten Werten wie auch den Modellmessungen.

Einzellast. Um das Verhalten der Schale unter einer Einzellast zu prüfen, wurde in Feldmitte eine Last von 4,5 t aufgebracht, die eine Durchbiegung des unteren Rinnenträgers von rd. 1 mm bewirkte (1/24 000 der Spannweite).

4. Diskussion der Ergebnisse

Die Belastungsproben bestätigten die Modellmessungen und die Berechnungen weitgehend. Für gleichmässig verteilte Lasten geben die bekannten Näherungstheorien praktisch genaue Werte. Für die Vorspannung und die Einzellasten lassen sich die auftretenden Schnittkräfte auf Grund der Modellmessungen und der Belastungsproben genau abschätzen. Die Ergebnisse zeigen die bemerkenswerte Steifigkeit und Tragfähigkeit dieser Shedschalen, die sich zur Ueberdeckung grosser Flächen vorzüglich eignen.

5. Bauausführung

Lehrgerüst und Schalungen. Entsprechend dem Bauvorgang wurden jeweils drei Sheds eingeschalt, so dass Spriesung und Schalung viermal verwendet werden konnten. Um die Kosten der Schalung möglichst niedrig zu halten, wurde die Zylinderform durch ein Faltwerk (Polygon) angeglichen. Dies erlaubte die Verwendung von gewöhnlichen Schalungstafeln, welche auf Lehren verlegt wurden (Bild 7). Da jeder Shed von den übrigen völlig unabhängig ausgebildet ist, genügt grundsätzlich eine Schalung, die mehrmals verwendet werden kann.

Vorspannung und Armierung. Das verwendete System BBRV der Stahlton AG in Zürich bewährte sich ausgezeichnet. Die Kabel wurden gradlinig geführt und unmittelbar auf die schlaffe Armierung verlegt, so dass keine besonderen

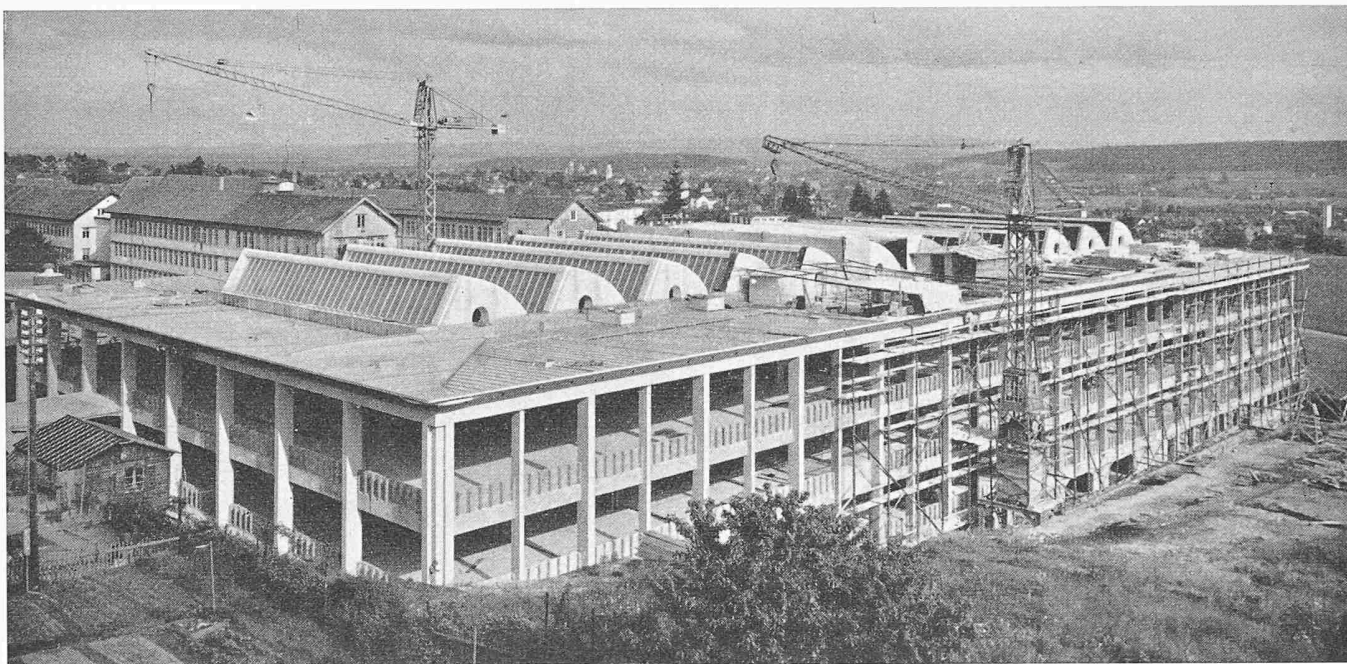


Bild 13. Bauzustand im Mai 1955. Architektur: K. Hirschbühl. Bauausführung: Arbeitsgemeinschaft R. Bannwart & Cie., Solothurn/
Uhrenfabrik Lanco in Solothurn C. von Arx AG., Olten

Massnahmen zu deren Befestigung notwendig waren. Die Vorspannkraft von 400 t pro Shed wurde in zwei Etappen aufgebracht. Schwindrisse der dünnen Schale wurden dadurch vermieden, dass nach 3 bis 5 Tagen (je nach Würfeldruckproben) ein Drittel (133 t), nach 20 bis 28 Tagen jeweils voll vorgespannt und ausgeschalt wurde. Um das Verhalten der Spanndrähte und des Betons genau prüfen zu können, hat man vor dem Injizieren (nach 35 bis 40 Tagen) nochmals jeden Spannkopf abgehoben, die Kraft kontrolliert und sofern nötig nachgespannt, wodurch Verluste infolge Kriechen des Stahls und des Betons sowie Schwindverluste ausgeglichen werden konnten. Als schlaffe Armierung ist Caronstahl der L. von Roll'schen Eisenwerke Gerlafingen gewählt worden, der sich dank seiner besonderen Eigenschaften (Steifigkeit, keine Endhaken usw.) sehr gut eignet. Als Grundelement wurde ein unteres und oberes, an den Randzonen verstärktes, orthogonales Netz mit einer Maschenweite von 20 cm gewählt.

Beton. Der Kornaufbau des verwendeten Kies-Sand-Materials entsprach weitgehend der EMPA-Kurve und wurde in zwei Komponenten ($0 \div 7$ mm und $7 \div 15$ mm) angeliefert. Bei einer Dosierung von 350 kg/m^3 Beton hat man mittlere Druckfestigkeiten von 500 kg/cm^2 erreicht. Plastiment der Firma Kaspar Winkler verbesserte die Verarbeitbarkeit des Betons, sowie seine Dichtigkeit durch Herabsetzung des erforderlichen Wasserzusatzes.

6. Bisheriges Verhalten der Schalen

Die ersten drei Sheds blieben über ein Jahr ohne Eindeckung, so dass ihr Verhalten genau überprüft werden konnte. Trotzdem sie jeder Witterung ausgesetzt waren, konnte keine Rissbildung festgestellt werden. Dieser Umstand ist von Bedeutung im Hinblick auf mögliche Ausführungen ohne Eindeckung (wasserdichter Verputz).

Adresse des Verfassers: Dipl. Ing. F. Berger, Pavillonweg 14, Bern

Vom Europäischen Treffen für Chemische Technik in Frankfurt 1955

DK 061.3:66

Die diesjährigeACHEMA XI, Ausstellungstagung für chemisches Apparatewesen, wurde vom 14. bis 22. Mai 1955 in Frankfurt a. M. im Rahmen eines europäischen Treffens für chemische Technik und in Verbindung mit dem Kongress der Europäischen Föderation für Chemie-Ingenieur-Wesen durchgeführt. Der 1953 gegründeten Föderation gehören schweizerischerseits an: der Schweizerische Ingenieur- und Architekten-Verein, die Schweizerische Gesellschaft für chemische Industrie und der Schweizerische Chemiker-Verband.

DieACHEMA XI beherbergte rund 850 Aussteller aus Deutschland und zwölf anderen Ländern. Die Schweiz war durch 25 Aussteller vertreten. Für die gesamte Tagung waren 12 500 Teilnehmer gemeldet, dazu kamen 59 200 Besucher für kürzere Zeit, die nicht namentlich erfasst wurden. Von den namentlich Gemeldeten waren 49 % Ausländer aus 52 Ländern. Die stärkste Besuchergruppe aus europäischen Ländern stellte die Schweiz, die stärkste aus Uebersee die USA. Bei diesen Angaben sind Studenten nicht gezählt, die aus elf europäischen und vier überseeischen Ländern in einer Stärke von mehr als 3500 Personen unter der Führung ihrer Professoren am europäischen Treffen für chemische Technik und amACHEMA XI-Studentenvorlesungszyklus teilnahmen.

Rund 2000 Persönlichkeiten der Wissenschaft und Technik, der Wirtschaft und Verwaltung aus europäischen und aussereuropäischen Ländern wohnten der Eröffnung derACHEMA XI bei. Prof. Dr. K. Winnacker, Vorsitzender der DECHEMA, Deutsche Gesellschaft für chemisches Apparate-

wesen, wies in seiner Begrüssungsansprache darauf hin, dass dieACHEMA XI-Tagung keine Messe oder Ausstellung im üblichen Sinne sei, sondern ein technisch-wissenschaftlicher Kongress eigener Prägung, der zur Erreichung seines Zieles, die Entwicklung des chemischen Apparatewesens durch Einzeldiskussionen am Objekt selbst zu fördern, sich lediglich der Technik der Ausstellung bedient.

Am 19. Mai 1955 versammelten sich anlässlich des europäischen Treffens für chemische Technik in Frankfurt a. M. 33 technisch-wissenschaftliche Vereine aus acht europäischen Ländern (Deutschland, Frankreich, Italien, Luxemburg, Oesterreich, Schweden, Schweiz, Spanien), die sich mit den Erscheinungen und Ursachen der Korrosion befassen, und gründeten die «Europäische Föderation Korrosion» (s. SBZ 1955, S. 453). Die neue Föderation hat sich zum Ziel gesetzt, die europäische Zusammenarbeit auf den Gebieten der Erforschung und Bekämpfung der Korrosion sowie des Werkstoffschutzes auf gemeinnütziger Grundlage zu fördern.

Am Kongress wurden 21 Plenarvorträge von Sachverständigen aus 14 Ländern gehalten. Ausserdem wurden in 62 Diskussionsvorträgen die Fortschritte und neuen Erkenntnisse auf verschiedenen Gebieten des chemischen Apparatewesens erörtert. Die Schweiz stellte drei Plenarvortragende. Dr. E. Wiedemann, Sandoz AG, Basel, sprach über die Entwicklung und Anwendung neuartiger Laboratoriumszentrifugen und einer neuen Ultrazentrifuge.

Fortsetzung S. 539