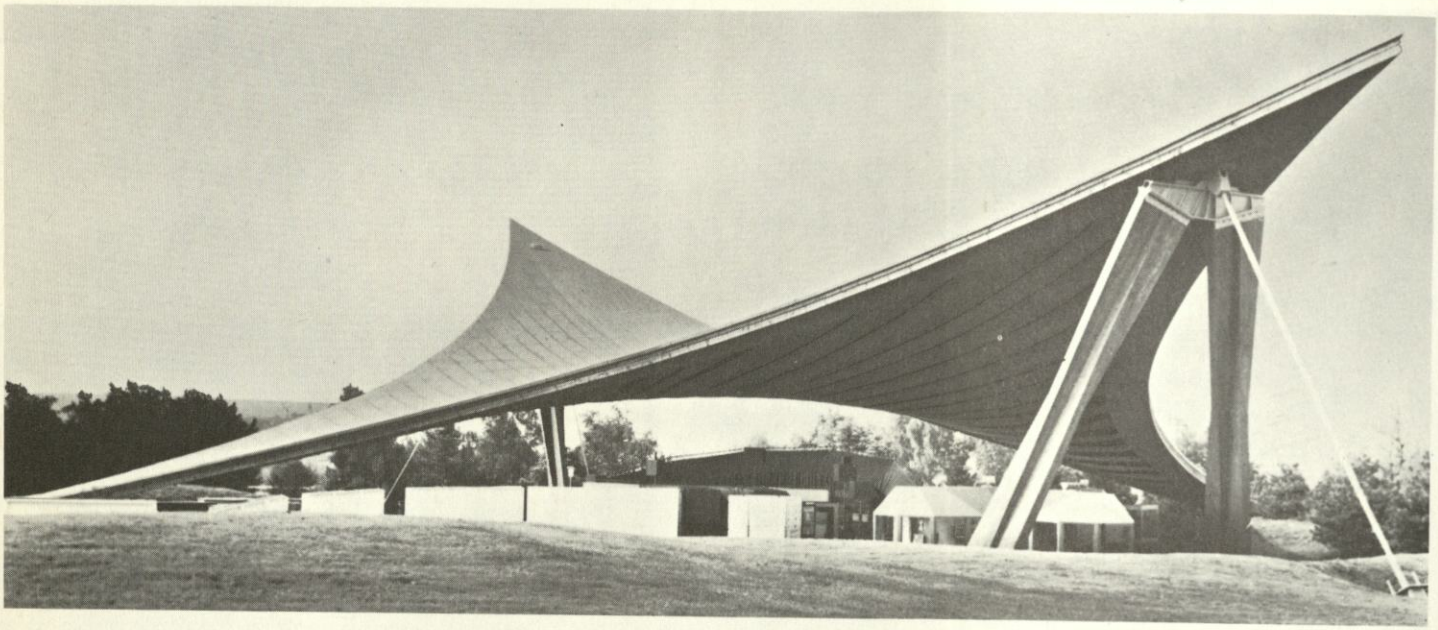
Holzbau Konstruktionen

Hölzernes Hängedach
Bundesgartenschau in Dortmund



Hölzernes Hängedach über dem Ausstellungspavillon der Bundesgartenschau in Dortmund

Dr.-Ing. Günter Scholz, München, Beratender Ingenieur VBI

Das im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Holz e.V. nach einem Entwurf der Architekten Prof. Behnisch + Partner errichtete Hängedach auf dem Gelände der Bundesgartenschau in Dortmund ist die erste vorgespannte Holzrippenschale. Sie überdeckt eine Fläche von rund 1000 m². Das Dach hat im Grundriß die Form eines Karos, bei dem zwei gegenüberliegende Ecken hochgeführt, die beiden anderen tief gehalten sind. Die parallel zur Verbindungslinie der Hochpunkte geführten Schnitte ergeben nach unten durchhängende, normal dazu verlaufende Schnitte, nach oben gewölbte Kurven. Es handelt sich also um eine Sattelfläche.

Randausbildung als »biegesteifes hölzernes Seil«

Die im Bauwesen gebräuchlichste Sattelfläche ist das hyperbolische Paraboloid. Es wurden schon vielfach Schalen dieser Flächenform in Stahlbeton und Holz konstruiert und ausgeführt. In diesen Fällen ist entweder das Randglied vertikal unverschieblich unterstützt oder derart biegesteif und damit dick ausgebildet, daß Biegeverformungen keinen Einfluß auf die Tragwirkung der Schale ausüben. Bei dem Dach in Dortmund wurde zum erstenmal der Rand als »biegesteifes hölzernes Seil« ausgebildet. Das nur 36 cm dicke und 140 cm breite Randglied trägt über eine freie Länge zwischen Hoch- und Tiefpunkt von mehr als 40 m bei einer Diagonalspannweite von rund 60 m. So ergeben sich besondere Anforderungen an Form und Konstruktion. Die wichtigsten geometrischen Angaben können aus den Zeichnungen auf der nächsten Seite entnommen werden. Aufgrund der statischen Untersuchungen wurde von Tiefpunkt zu Tiefpunkt eine Sinuskurve gelegt mit einem minimalen Krümmungsradius von 65 m. Sie ist die Leitkurve, auf der eine zweite Sinuskurve mit dem minimalen Krümmungsradius von 39 m gleitet. Wegen der verschiedenen Höhenlage der beiden Hochabstützungen erhält die zweite Sinuskurve eine Schrägneigung. Aus der so gebildeten Translationsfläche wird mit den im Grundriß parabolisch geführten Randkurven die Dachfläche herausgetrennt.

Auflagerung und Fundierung

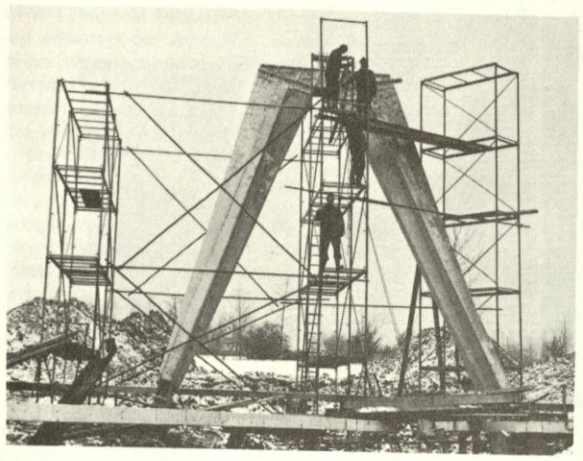
Der Aufbau des hölzernen Flächentragwerkes ist bei den Zeichnungserläuterungen auf den nächsten Seiten beschrieben. Mit Hilfe von stählernen Anschlußkonstruktionen werden die Randglieder bei den Hochpunkten auf die von den hölzernen Stützen und Spannseilen gebildeten Böcke gelagert. Bei den Tiefpunkten geben die Randglieder unmittelbar ihre Kräfte an Stahlbetonfundamente ab. Beide Stützböcke der Hochpunkte sind unterschiedlich ausgebildet. Im einen Fall wirkt eine Stütze mit zwei Spannseilen, beim anderen Hochpunkt bilden eine Doppelstütze und ein Spannseil die Stützkonstruktion.
Die von den Stützen abgegebenen vertikalen Lasten können unmittelbar in den Baugrund geleitet werden. Die Vertikalkräfte der Spannseile dagegen werden von Stahlbetonzugpfählen aufgenommen und von diesen an den Baugrund abgegeben. Die Horizontalkomponenten der Stützenlasten und der Seilkräfte werden in Stahlbetonriegel zusammengefaßt und kreuzweise von einer Hochabstützung zur gegenüberliegenden Hochabstützung und von Tiefabstützung zu Tiefabstützung geführt.

Lastabtragung · Vorspannung

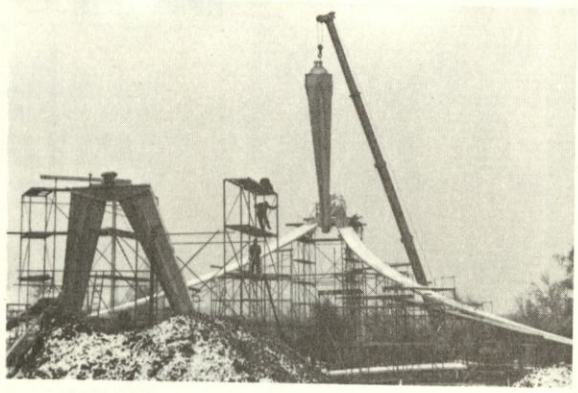
Die Belastung der Dachfläche aus Eigengewicht, Schnee und Wind wird im wesentlichen in zwei Hauptrichtungen abgetragen. Sie sind vorgegeben durch die Verbindungslinie der beiden Tiefpunkte und durch die normal dazu verlaufende Verbindungslinie der beiden Hochpunkte. In der zuletzt genannten Richtung bildet sich eine Hängetragwirkung aus, das heißt, die Lasten werden durch Zugbeanspruchung in den in dieser Richtung geführten Rippen zu den Randgliedern geleitet. Für die normal dazu vorhandene Tragwirkung bildet die Dachfläche ein Gewölbe; sie trägt die Lasten mit Druckkräften. Die dünne Schale ist aber nur in begrenztem Umfange wegen der Beulgefahr zur Aufnahme von Druckkräften befähigt. Man muß daher bedacht sein, diese Beanspruchung mit entsprechendem Sicherheitsabstand unter der kritischen Beullast zu halten. Dies kann mit künstlich eingeleiteten Zugkräften, also mit Vorspannung, erfolgen. Mit dem Grade der Vorspannung läßt sich die Größe der Druckbeanspruchung steuern. Wenn in der Gewölberichtung kein Druck auftreten darf, wie das bei reinen Seilnetzen der Fall ist, muß der Vorspanngrad erheblich größer gewählt werden.
Für den Fall, daß das Hängedach nur für einen einzigen Beanspruchungszustand zu konstruieren wäre, z. B. nur für Eigengewicht, ließe sich eine Dachfläche finden, bei der die Abtragung der Lasten fast nur mit Längskräften, sogenannten Membrankräften, möglich wäre. Auch die Randgelder könnten allein mit Zugbeanspruchung die auf sie einwirkenden Kräfte zu den Abstützungen weiterleiten. Bei Zusatzbelastungen aber, z. B. durch gleichförmig verteilte Schneelast oder gleichförmig verteilte Windbewegung, ist die Abtragung mit Membrankräf-

Fortsetzung des Textes auf der 10. Berichtsseite

Montagefolge
Bilder 1–4
(Fortsetzung
auf der
8. Berichtsseite)

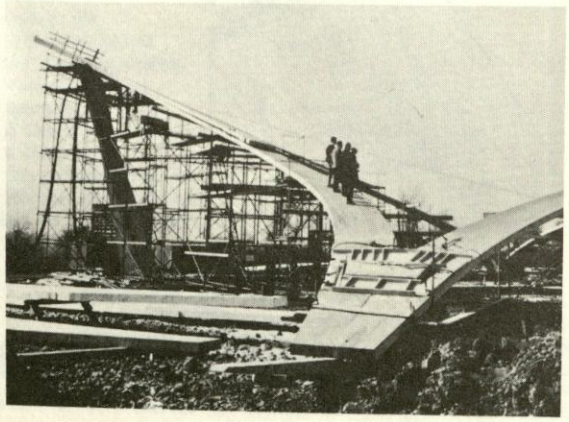


1

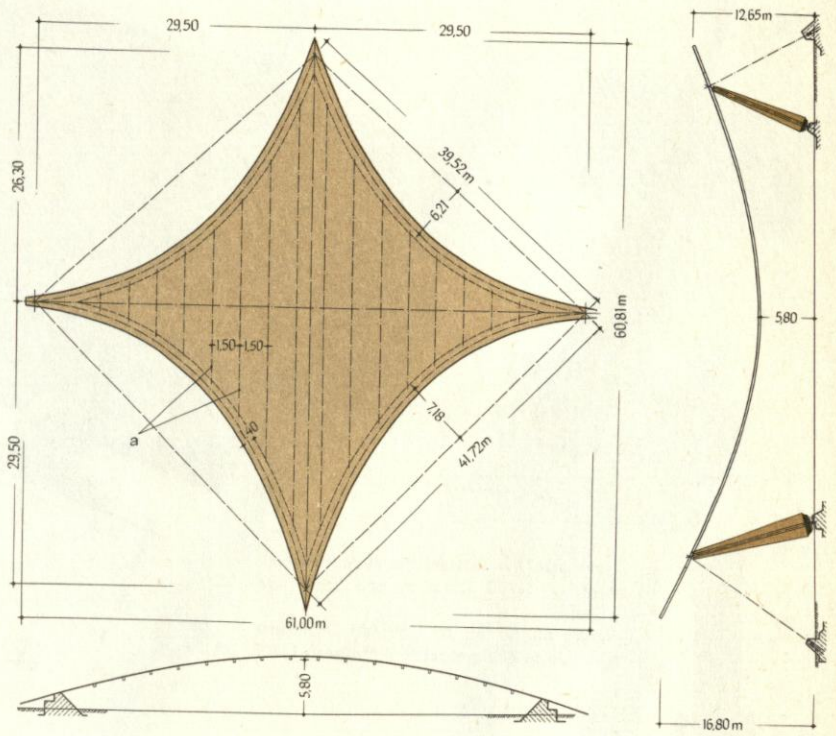


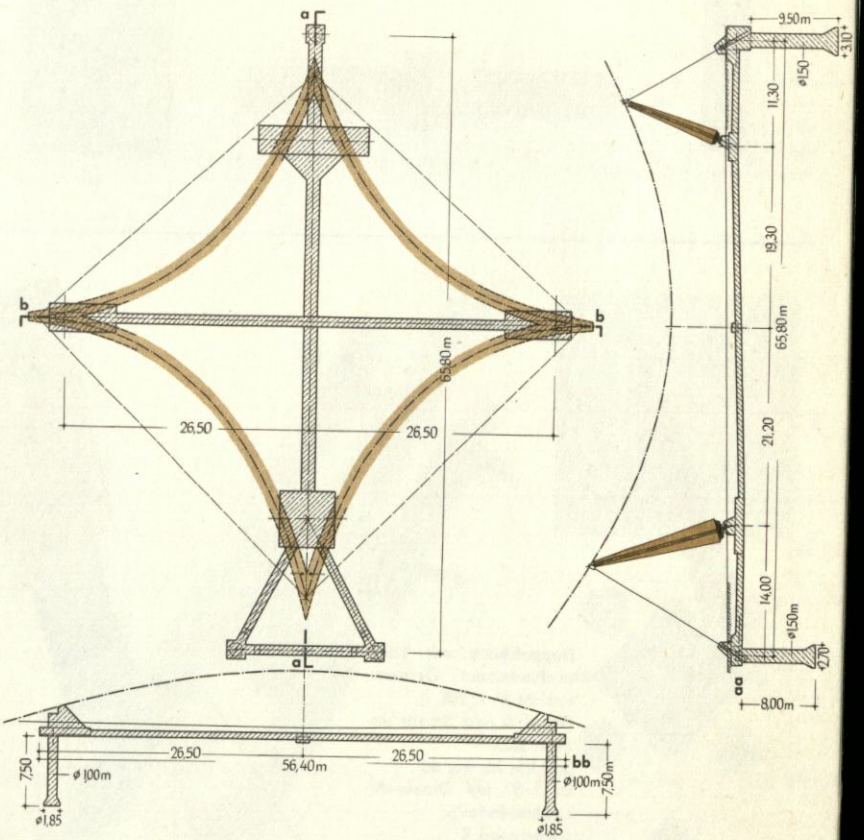
2

3



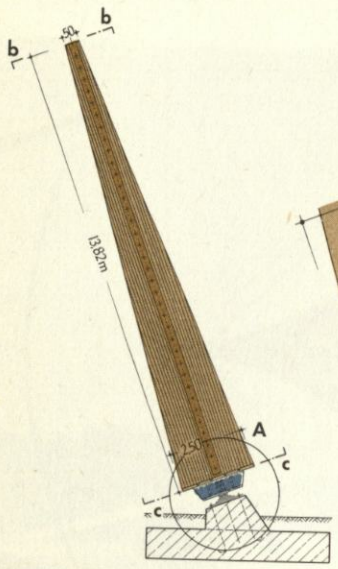
4

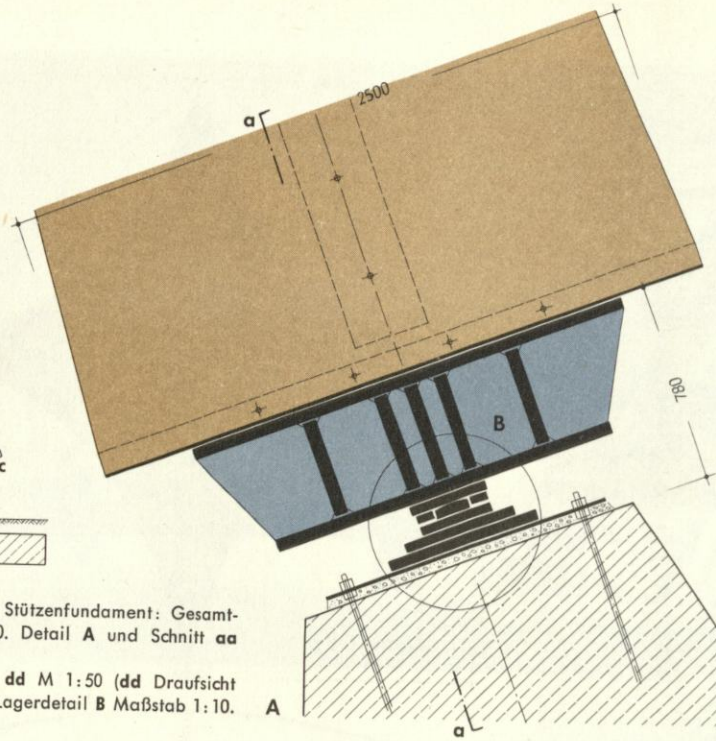


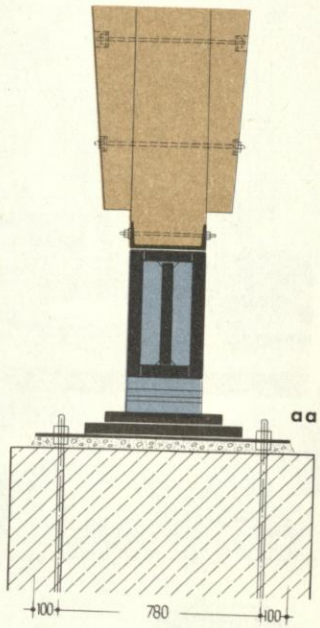


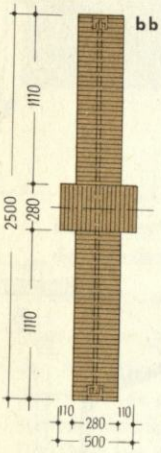
Oben: Draufsicht und Schnitte. Unten: Fundamentübersicht M 1:800. – a Achsen der Hängerippen.

Montagefolge: Bild 1 Errichten der Doppelstütze und Aufstellen des Lehrgerüstes für die Randglieder. Bild 2 Erste Teile der Randglieder sind auf das Lehrgerüst gelegt. Die große Einzelstütze wird eingehoben. Bilder 3 und 4 Die obere Randgliedhälfte ist beim Hochpunkt mit der Einzelstütze aufgelegt. Links neben der Stütze sind die schlaff herabhängenden Spannseile zu erkennen.

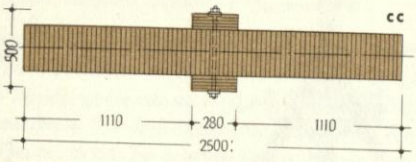


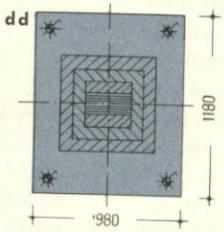


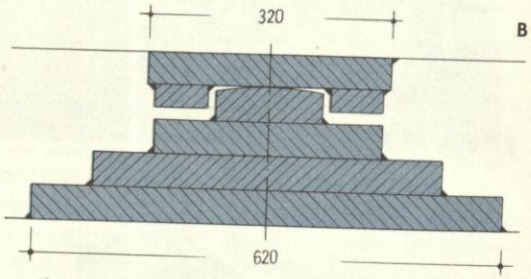


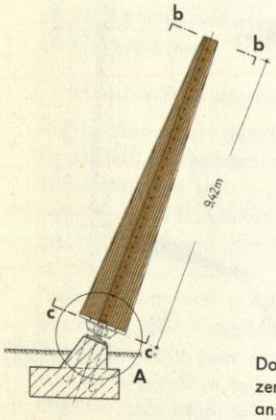


Einzelstütze mit Stützenfundament: Gesamtansicht M 1:250. Detail **A** und Schnitt **aa** M 1:33,3.
Schnitte **bb** bis **dd** M 1:50 (**dd** Draufsicht Lagerunterteil), Lagerdetail **B** Maßstab 1:10.

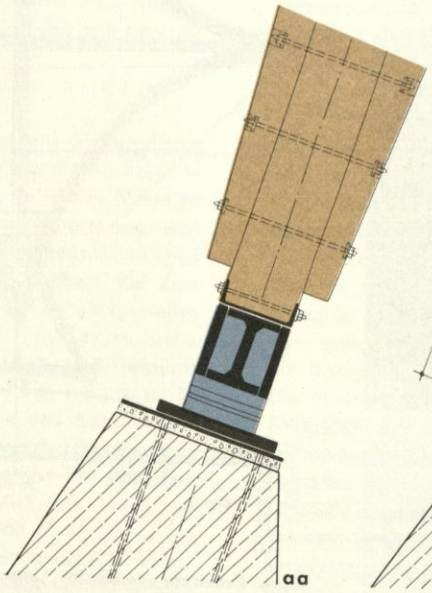


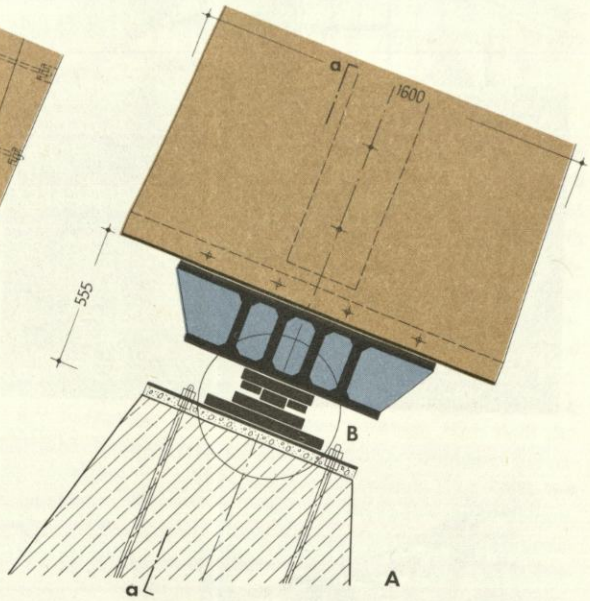


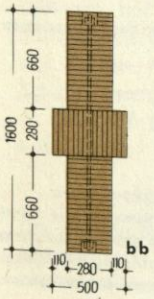


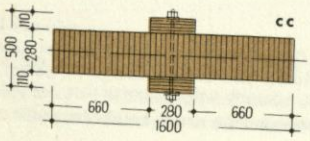


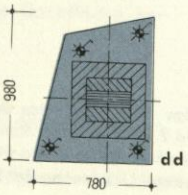
Doppelstütze mit Stützenfundament: Gesamtansicht M 1:250.
Detail **A** und Schnitt **aa** M 1:33,3.
Schnitte **bb** bis **dd** M 1:50 (**dd** Draufsicht Lagerunterteil).
Lagerdetail **B** Maßstab 1:10.

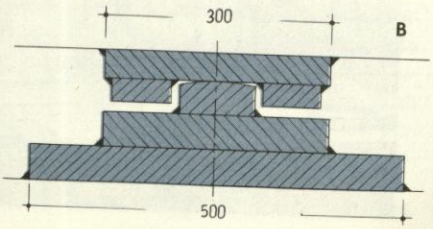




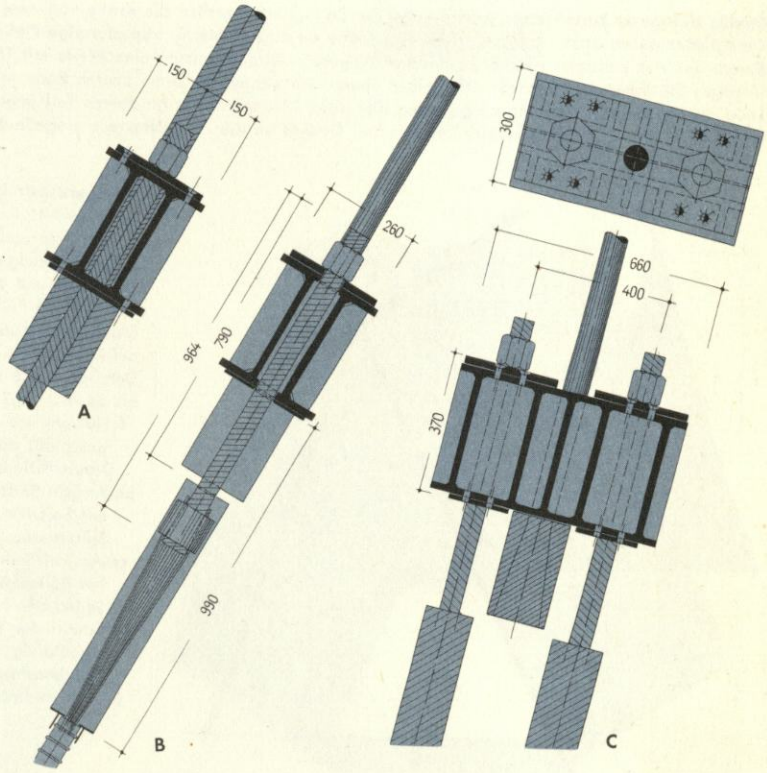


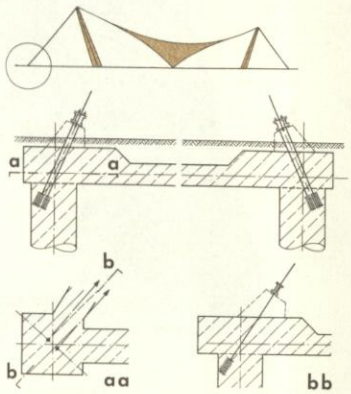






Details Fußpunkt Einzelstütze: Die Stützen haben kreuzförmigen Querschnitt mit veränderlicher Schenkellänge. Der Schenkel normal zur Fußpunktkippachse hat am Fuß seine größte Breite mit 2,50 m. Sie verringert sich gleichförmig bis zum Stützenkopf auf 0,50 m. Beim anderen Schenkel ist es umgekehrt. Mit dieser Ausbildung bleibt die Größe der Querschnittsfläche über die Länge der Stütze konstant. In Stützenmitte ist der Querschnitt zentralsymmetrisch und damit in jeder Richtung gleich biegesteif, was sich auf die Knickfestigkeit vorteilhaft auswirkt. Einer der beiden Schenkel der Kreuzstütze ist mit zwei Schnitten aus einer brettschichtverleimten 28 cm dicken rechteckigen Platte herausgetrennt. Die verbleibenden trapezförmigen Randabschnitte der Platte werden 90° um die Längsachse gedreht und auf den ersten Schenkel aufgeleimt. Mit Schraubenbolzen wird die Leimfuge zusätzlich gesichert. Die Tragkraft der Stütze beträgt 565 Mp. Am Stützenfuß wird die Säulenlast mit einer Stahlkonstruktion aufgefangen. Die hohe Last erfordert kräftige Queraussteifungen des dreistegigen Kastenträgers.

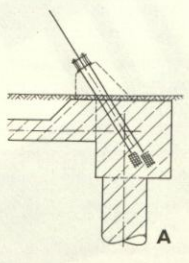




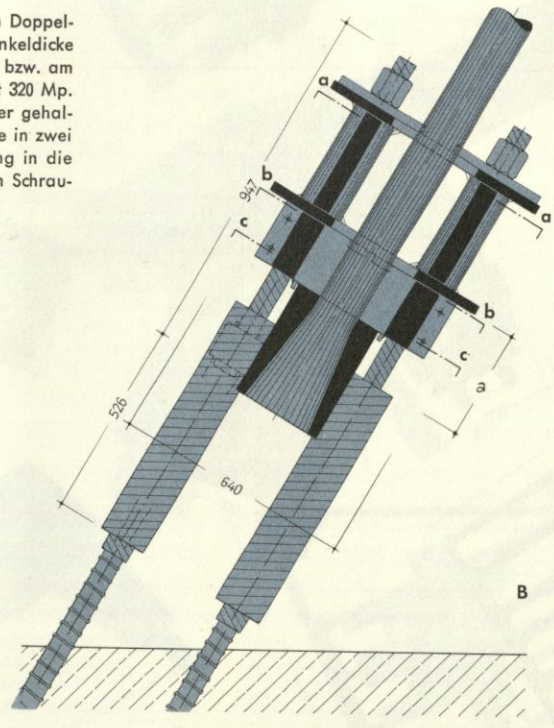
Details zur Spannkonstruktion und Verankerung bei der Einzelstütze: Schnitte durch den Verankerungspfahl M 1:250. Detailpunkte zur Spannkonstruktion M 1:20.

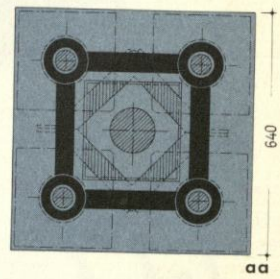
Details Spannkonstruktion Einzelstütze: Die Einzelstütze wirkt gemeinsam mit zwei Spannseilen als Lagerbock. Die Stahlseile sind Parallel-Drahtbündel aus 91 ϕ 7, St 150/170 (Neptun-Stahl) der Firma Felten + Guilleaume. An den Enden erhält jeder Einzelstab eine nietkopfartige Aufstauchung. Die Stäbe werden in einem Verankerungskörper gefaßt. Die trichterförmige Verankerungszone wird mit Feinzinkgußlegierung Zn 610 nach DIN 1743 ausgegossen. Die Tragkraft eines Seiles liegt über 500 Mp. Die zulässige Beanspruchung wird daraus mit einem Sicherheitsbeiwert $\gamma \sim 3$ bestimmt. Die Einzeldrähte sind mit einer Wachsschicht überzogen und werden mit einer Kunststoffumwicklung gegen Korrosion geschützt. In einer zweiteiligen mit oberer und unterer Platte zusammengefaßten stählernen Koppelkonstruktion wird das Seil verankert. Seine Kräfte werden von zwei Spanngliedern A 100 des Spannverfahrens Polensky + Zöllner aufgenommen. Diese sind in den Ortbetonzugpfählen verankert.

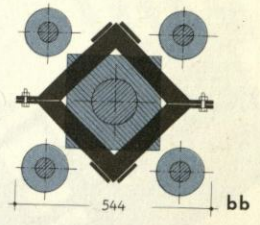
Details Fußpunkt Doppelstütze: Der konstruktive Aufbau der beiden Doppelstützen entspricht dem der Einzelstütze. Auch hier beträgt die Schenkeldicke des Kreuzquerschnittes 28 cm. Die Breite der Schenkel mißt am Kopf bzw. am Fuß 0,50 m und 1,60 m. Die zulässige Belastung jeder Stütze beträgt 320 Mp. Wegen der geringeren Belastung kann die Lagerkonstruktion leichter gehalten werden. Die Spreizung der Doppelstütze bedingt, die Lagerfläche in zwei Richtungen zu neigen, um die Stützenkraft ohne seitliche Festhaltung in die Stahlbetonfundamente zu leiten. Mit den im Fundament verankerten Schrauben wird die Lagerplatte eingerichtet.

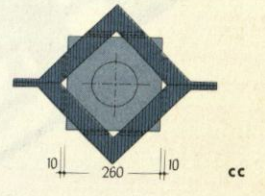


Details zur Spannkonstruktion bei der Doppelstütze, Verankerung und Spannvorrichtung: **A** Übersicht M 1:250, **B** Detailpunkt der Spannkonstruktion mit Horizontalschnitten **aa** bis **dd** M 1:20. a maximal zu erwartender Dehnweg



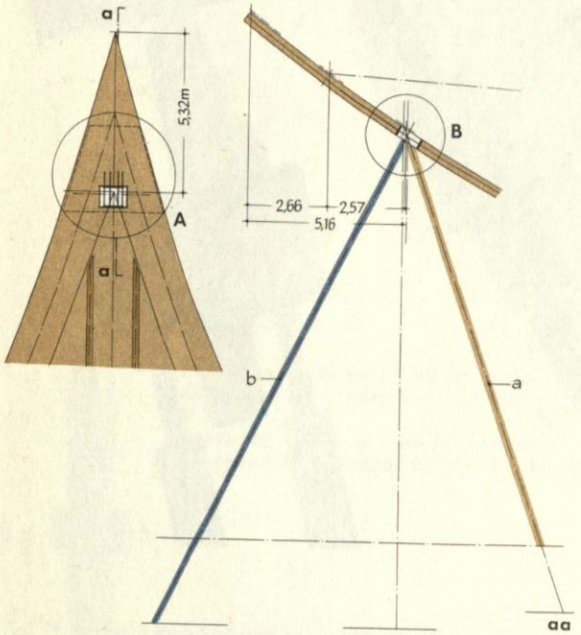






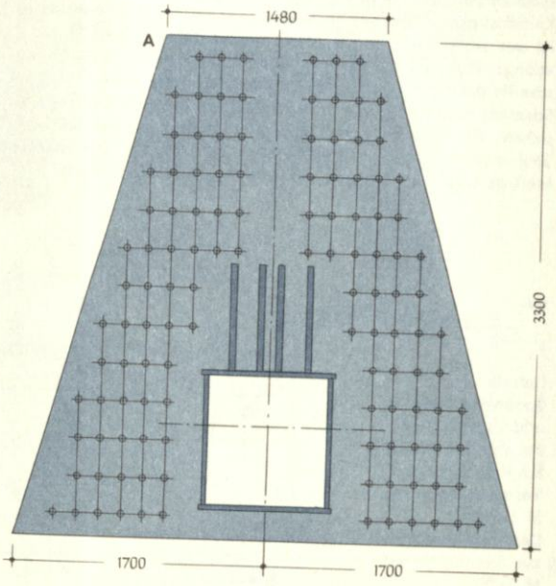
Details Spannkonstruktion Doppelstütze: Zu der Doppelstütze gehört als drittes Tragelement ein Spannseil. Es besteht aus 217 ϕ 7, St 150/170. Die Tragkraft des Seiles liegt über 1000 Mp; seine Ausnutzung wird mit dem Sicherheitsbeiwert $\gamma \sim 3$ begrenzt. Ein stählerner quadratischer Kasten bildet die Koppelkonstruktion, durch den der Verankerungskörper des Spannseiles geführt wird. Mit Verdrehen des Ankerkörpers um 45° wird die Koppelung vorgenommen. Durch die an den Ecken angeschweißten Stahlrohre werden vier Spannglieder A 100 der Firma Polensky + Zöllner geführt und in das Fundament bzw. in den Stahlbetonzugpfahl eingebunden. Beide Koppelkonstruktionen sind für das Ansetzen der Spannpressen beim Aufbringen der Vorspannkräfte ausgebildet (siehe die Bilder auf der 8. Berichtsseite).

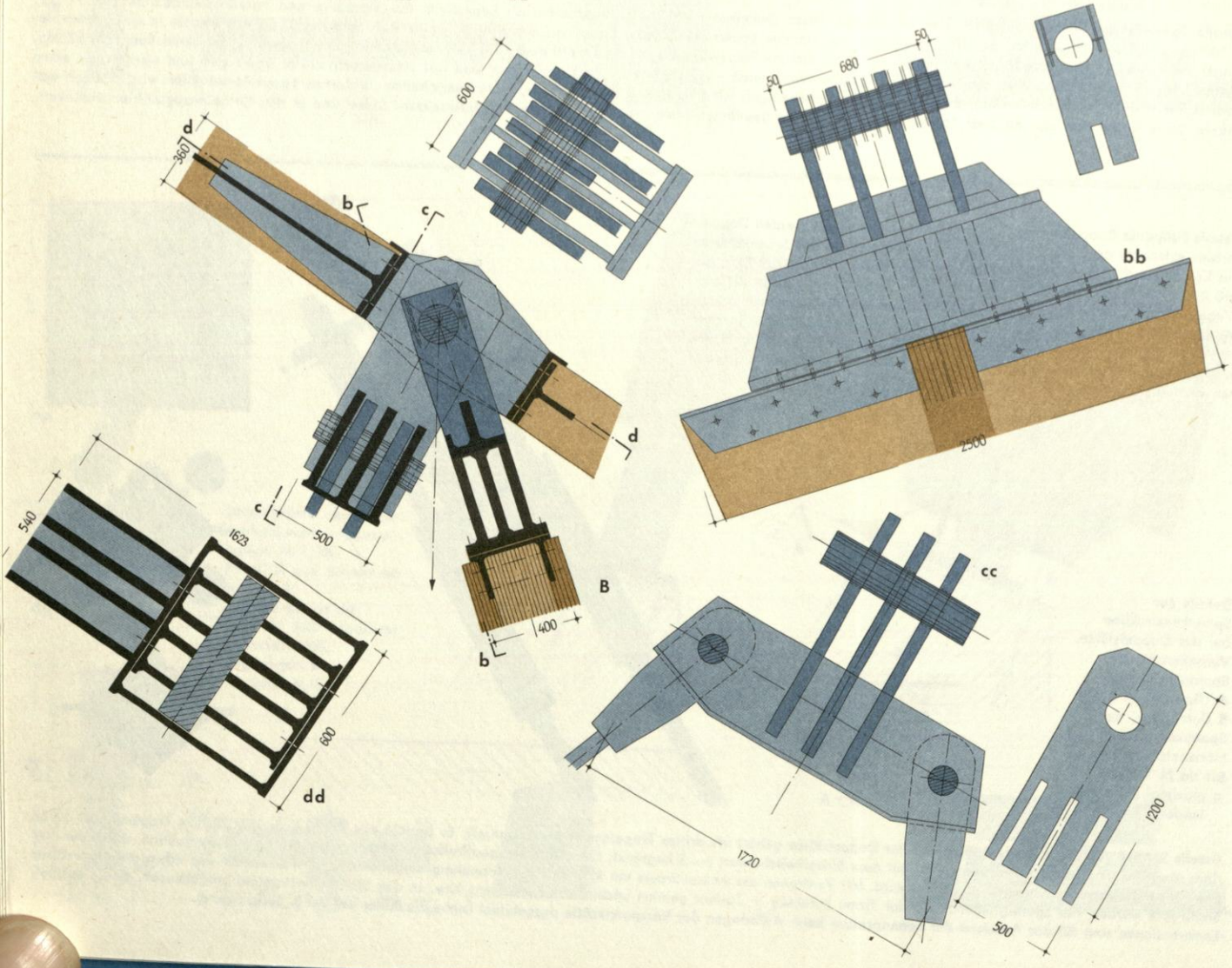
Details Hochpunkt Einzelstütze: In der Achse der Randglieder werden die Kräfte von zwei Spannseilen, der Stütze und der beiden Randglieder zusammengeführt. Die Randglieder geben über Stabdübel ⌀ 30 ihre Kräfte an eine stählerne trapezförmige Platte ab. In ihr ist eine rechteckige Öffnung vorgesehen, in welcher ein stählerner Kasten mit vier kräftigen Aussteifungsblechen eingesetzt wird. Er nimmt eine Welle mit 180 mm Durchmesser auf, an welche der stählerne Stützenkopf mit vier gabelförmigen Stützblechen anschließt. Die beiden Spannseile werden an ihrem oberen Ende in trichterförmigen Verankerungskörpern gefaßt. Sie werden wie am unteren Ende mit Feinzinkgußlegierung ausgegossen. Der Verankerungskopf ist im oberen Teil gegabelt und mit einer Bohrung ⌀ 150 mm versehen. Beide Seilkräfte werden in einem dreiteiligen Querjoch vereint und mit drei Blechen an die im Kräftekreuz eingebaute Welle ⌀ 180 mm angeschlossen.

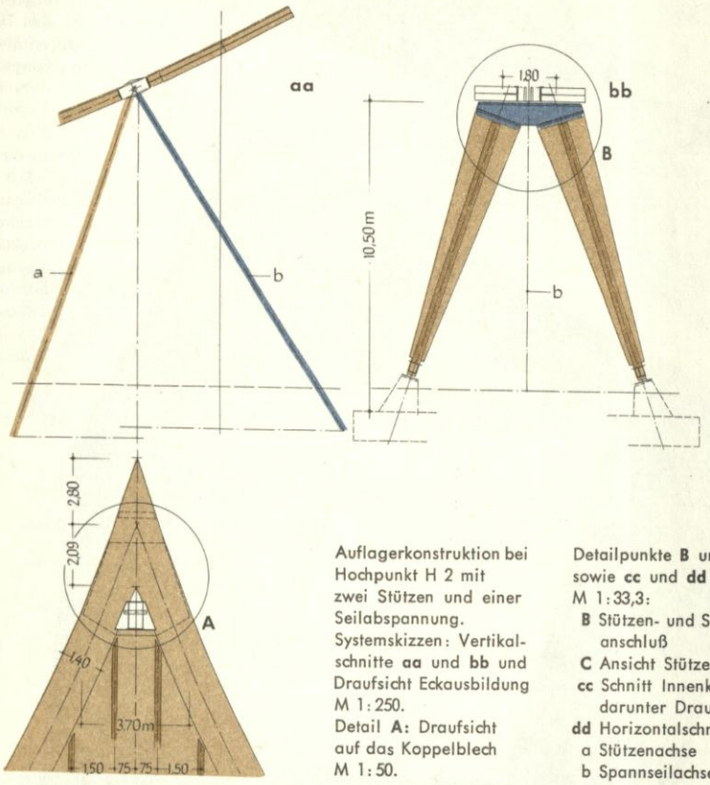


Auflagerkonstruktion bei Hochpunkt H 1 mit einer Stütze und zwei Seilabspannungen. Draufsicht und Vertikalschnitt **aa** M 1:250. Detail **A**: Draufsicht auf Koppelblech M 1:50. Detailpunkte **B** und **bb** bis **dd** M 1:33,3.

B Stützen- und Seilanschluß, darüber Draufsicht Innenkasten
bb Ansicht Stützenkopf mit Seitenansicht Stützenschotte
cc Ansicht Seiltraverse mit Seitenansicht Seilschotte
dd Schnitt der Kastenausbildung,
a Stützenachse
b Spannseilachse

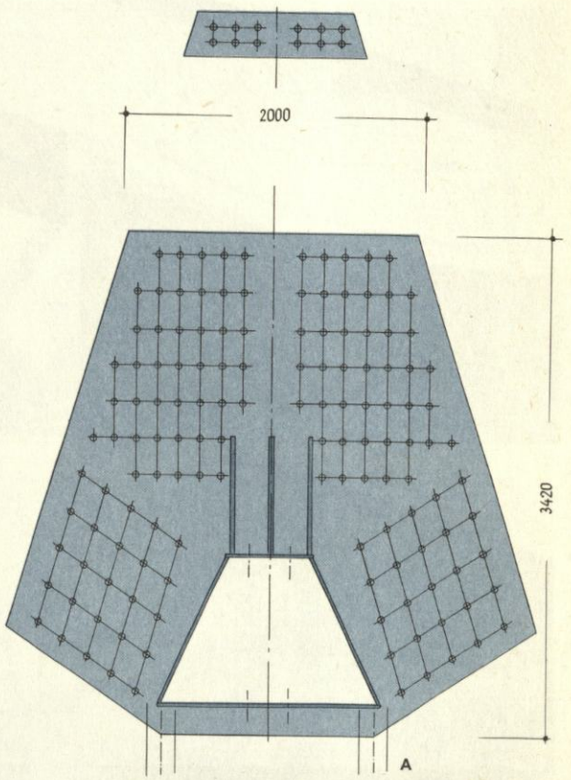


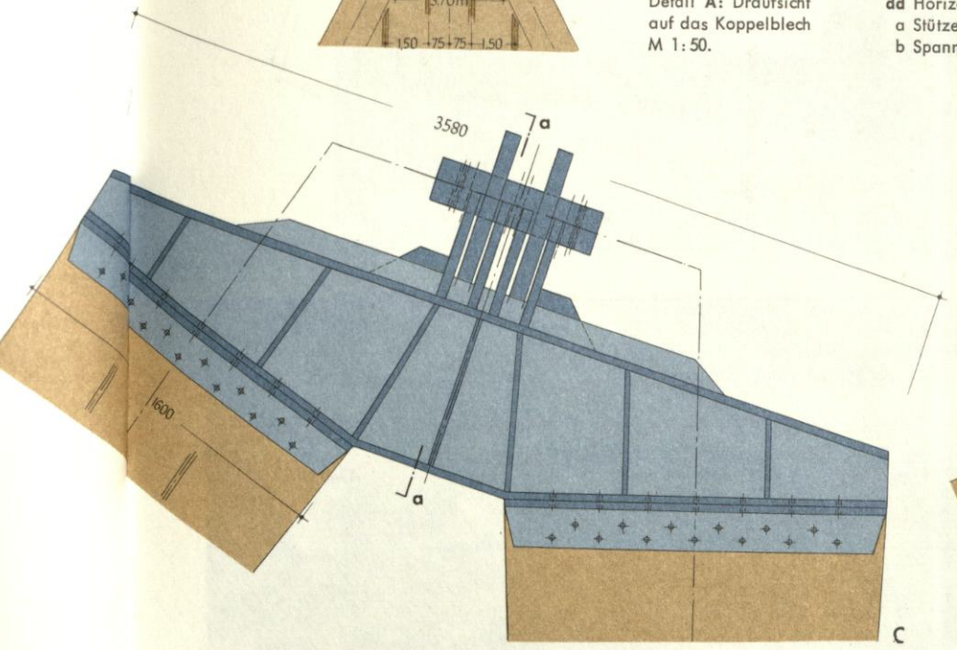


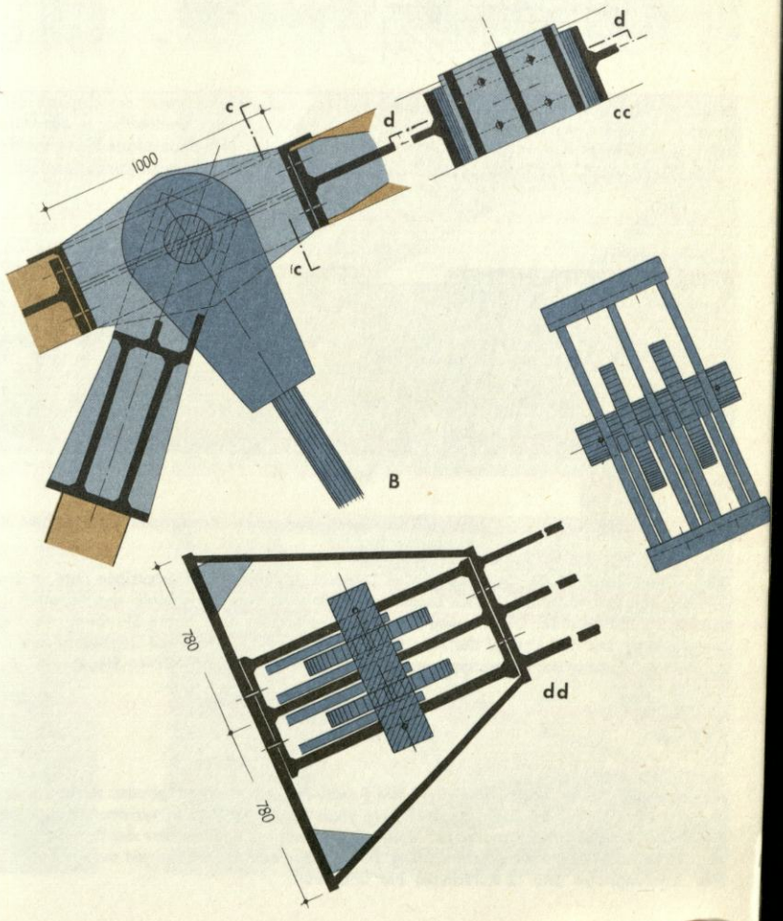


Auflagerkonstruktion bei Hochpunkt H 2 mit zwei Stützen und einer Seilabspannung.
Systemskizzen: Vertikalschnitte **aa** und **bb** und Draufsicht Eckausbildung M 1:250.
Detail **A**: Draufsicht auf das Koppelblech M 1:50.

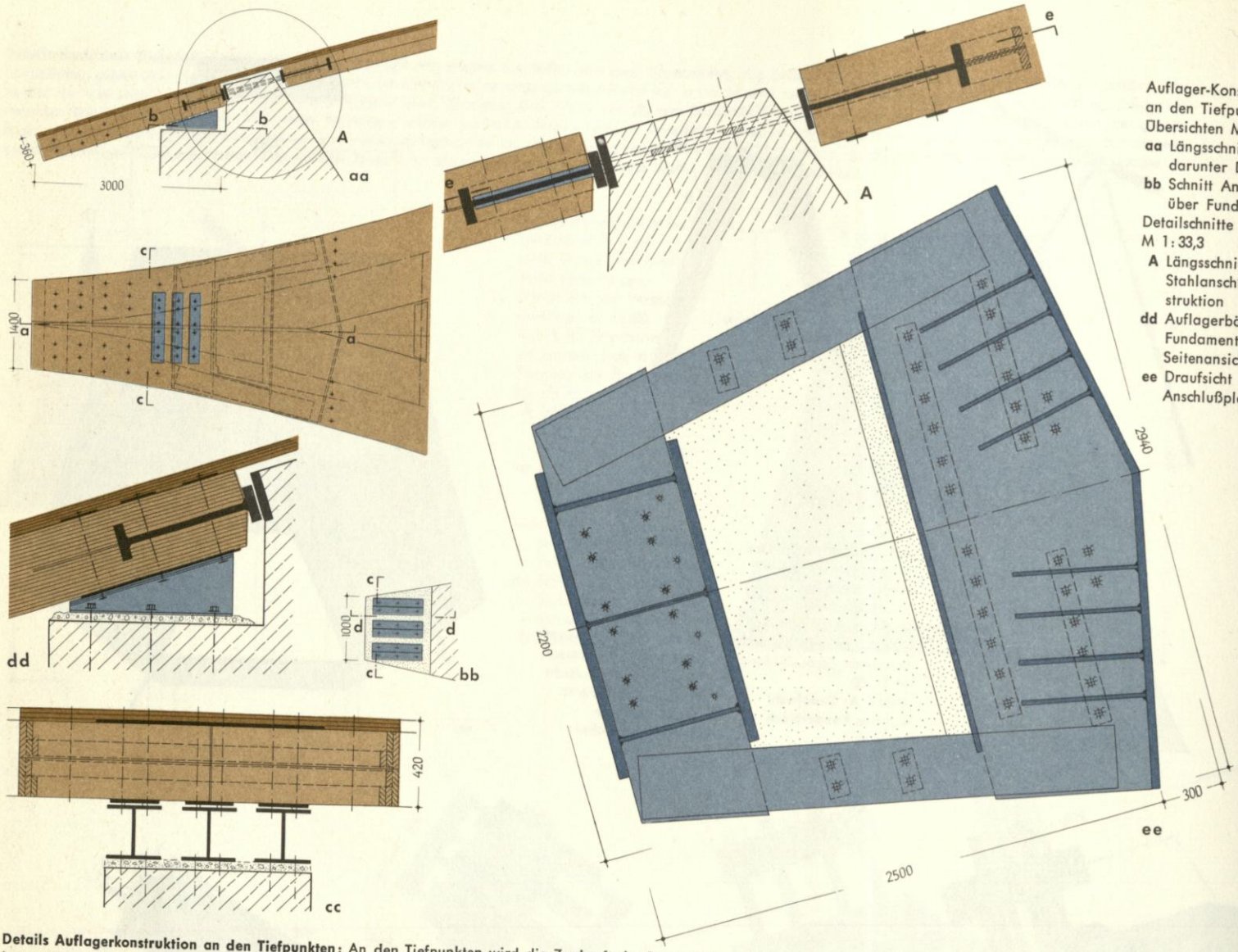
Detailpunkte **B** und **C** sowie **cc** und **dd** M 1:33,3:
B Stützen- und Seilanschluß
C Ansicht Stützenkopf
cc Schnitt Innenkasten, darunter Draufsicht
dd Horizontalschnitt
a Stützenachse
b Spannseilachse





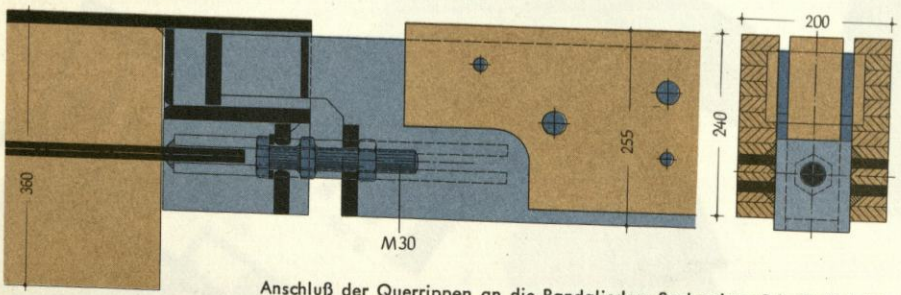


Details Hochpunkt Doppelstütze: Die Zusammenführung der Kräfte beim Hochpunkt mit der Doppelstütze erfolgt nach den gleichen Grundsätzen wie beim anderen Hochpunkt. Die Randglieder geben wieder ihre Kräfte mittels Stabdübel an die zwischen oberer und unterer Randgliedhälfte angeordnete stählerne Platte ab. Hier ist eine trapezförmige Öffnung zur Aufnahme des Anschlußkastens ausgespart. Die Kräfte der beiden hölzernen Stützen werden in einer biegesteifen Stahlkonstruktion zusammengeführt und mit vier gabelförmig angeordneten Stützblechen an die Welle des Kräfteknotens abgegeben. Das Spannseil wird mit dem am oberen Ende als zweiteiliger Augenstab ausgebildeten Verankerungskopf gefaßt und an die Welle angeschlossen.

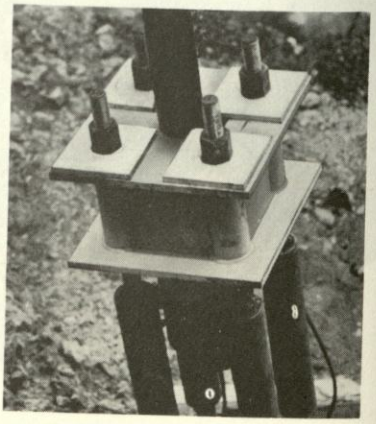


Auflager-Konstruktion an den Tiefpunkten: Übersichten M 1:100.
aa Längsschnitt, darunter Draufsicht
bb Schnitt Ankerböcke über Fundament
Detailschnitte M 1:33,3
A Längsschnitt durch die Stahlanschlußkonstruktion
dd Auflagerböcke über Fundament in Seitenansicht
ee Draufsicht der Anschlußplatte

Details Auflagerkonstruktion an den Tiefpunkten: An den Tiefpunkten wird die Zugkraft der Randglieder mit einer stählernen Anschlußkonstruktion, die sich wie ein Bügel um die Fundamentkonsole legt, unmittelbar in den Unterbau geleitet. Zur gleichförmigen Verteilung der in den Stahlbeton einzuleitenden Kräfte wird eine stählerne Auflagerplatte zwischengeschaltet. Eine zusätzliche Verankerung für die Vertikalkräfte erfolgt mit Profilträgern, die mit Schrauben an die hölzernen Randglieder und das Fundament angeschlossen werden.

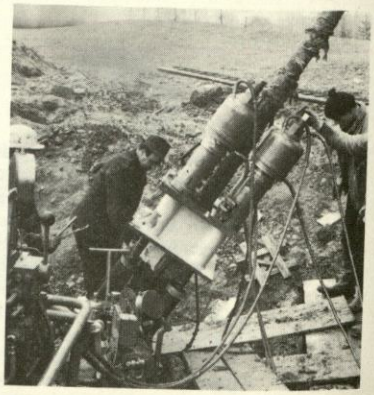


Anschluß der Querrippen an die Randglieder: Senkrechter Schnitt M 1:10.



Bilder rechts: Verankerungskonstruktion des Spannseiles bei der Doppelstütze, Kopplung mit vier Spanngliedern. Darunter: Aufbringung der Vorspannung.

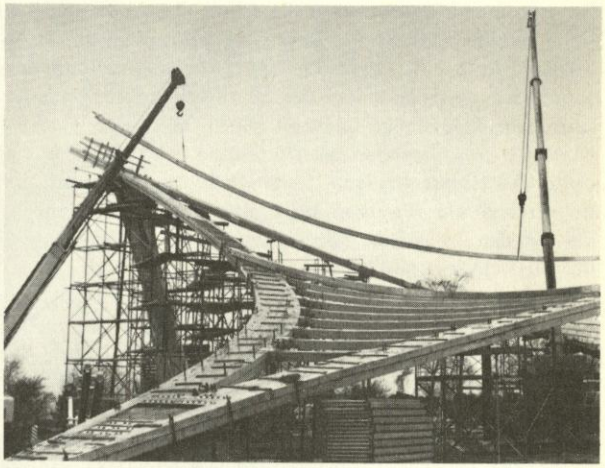
Detailschnitt Anschluß der Querrippen: Die Zugkraft der hölzernen Hängerippe wird in zwei vertikal gestellte Stahlbleche geleitet, die am vorderen Ende mit Stirnblechen zusammengefaßt sind. Das obere bildet den Abschluß des konsolartig vorspringenden Teiles der Vertikalbleche und dient zur Übertragung von vertikalen Kräften. Das untere Stirnblech weist eine Bohrung auf, in die eine Schraube M 30 eingeführt ist. Mit ihr wird bei der Montage die Rippe an das Randglied angehängt und justiert. Die Weiterleitung der im Endzustand wirksamen Zugkräfte der Hängerippe erfolgt mit vier seitlich angeschweißten Stegen.



Montagefolge (Bilder 5–12 rechte Seite): Bild 5 Restliche Teile der Randglieder werden eingehoben. Bild 6 Vorbereitung zur Ausführung des Keilzinkenstoßes. Ein Zelt ist zum Schutz gegen Regen und Kälte errichtet. Bild 7 Stählerne Anschlußkonstruktion beim Tiefpunkt. Bild 8 und 9 Einbau der Hängerippen symmetrisch zur Verbindungsachse der Hochpunkte. Bild 10 Hängerippenanschluß beim Hochpunkt mit der Doppelstütze. – Zur Verminderung der Rutschgefahr sind Trittleisten auf die Randglieder aufgenagelt. Bild 11 Montage der untersten Schalungslage. Bild 12 Aufbringen der Dachhaut.

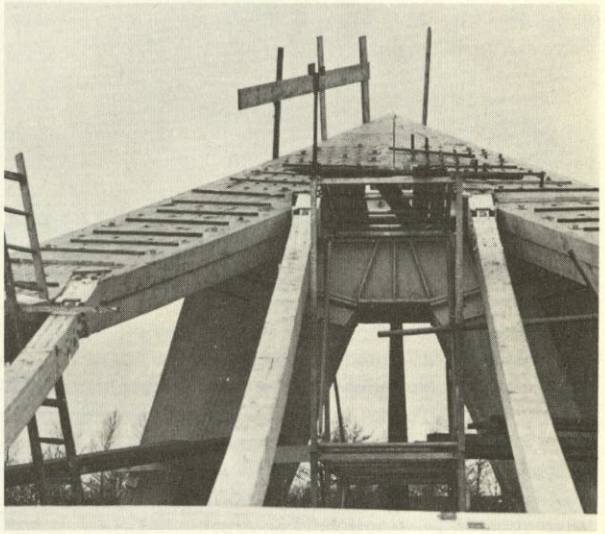
Montagefolge Bilder 5–12 (Fortsetzung von der 3. Berichtsseite)

5

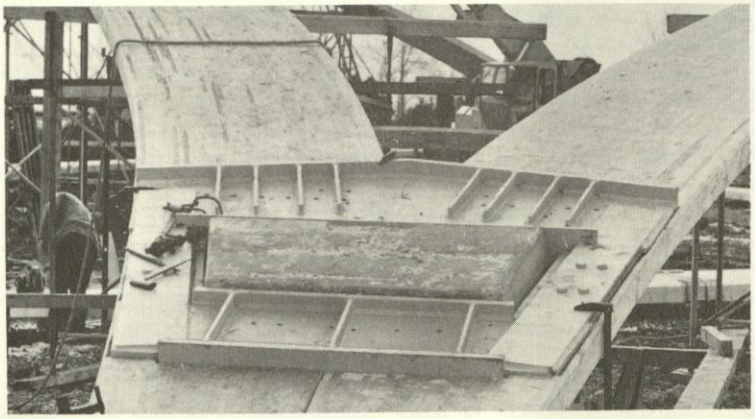


9

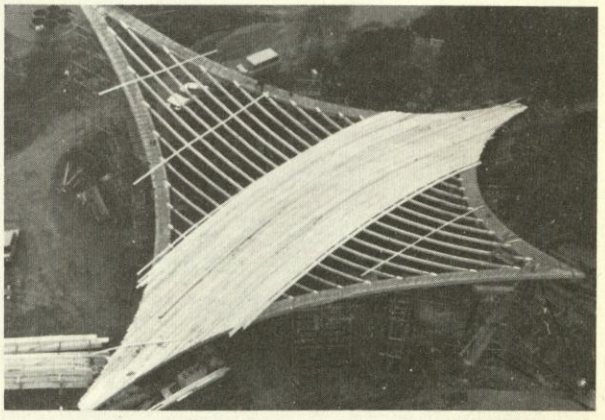
6



10

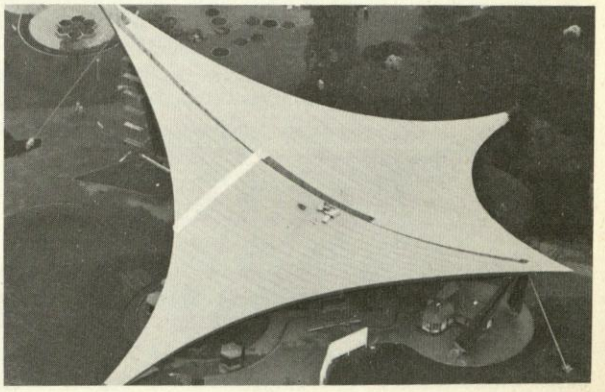


7



11

8



12

Fortsetzung von der 2. Berichtsseite

ten nur dann möglich, wenn die Fläche ihre Form der neuen Belastung anpaßt. Dies ist bei Seilnetzen leicht möglich, oft aber unerwünscht. Auch aus diesem Grunde wird in solchen Fällen der Vorspanngrad relativ hoch gewählt, damit Lastveränderungen nur untergeordnete Bedeutung zukommt. Beim hölzernen Flächentragwerk können Formänderungen der Dachfläche nur gegen den Biegewiderstand des Holzes erfolgen. Damit stellt sich eine zusätzliche Biegetragwirkung ein. Sie muß aber innerhalb jener Grenzen bleiben, die mit den zulässigen Beanspruchungen des Holzes gesteckt sind. Da wir nicht nur gleichförmigen Lastzuwachs durch Winddruck und Schneelast, sondern auch noch in umgekehrter Richtung wirkende Kräfte aus Windsog und örtliche Lastkonzentrationen aus Windbeanspruchung und Schneesackbildungen abzutragen haben, ist die optimale Fläche durch Untersuchung von Grenzbelastungen herauszufinden. Dies erfolgt auf interativem Berechnungswege. Dabei muß in mehreren Rechengängen die Gestalt der Translationsfläche durch entsprechende Wahl von Leitkurve und Gleitkurve ermittelt werden. In diese Berechnung ist auch noch einzubeziehen die Grundrißberandung, womit die Raumkurve der Randglieder festgelegt wird, und der Grad der Vorspannung.

Berechnung der Schale

Bei der Durchführung der statischen Berechnung wird auf die Anwendung der Schalentheorie verzichtet, da derzeitig noch keine ausreichenden Kenntnisse über die Verformungseigenschaften von mehrlagig aufgebauten Holzflächentragwerken vorliegen. Auch die Nachgiebigkeiten der verschiedenen zum Einsatz kommenden Verbindungsmittel erfüllen nicht die strengen Forderungen der Elastizitätstheorie. Es wird deshalb ein Berechnungsweg eingeschlagen, der die Gleichgewichtsbedingungen streng erfüllt und bei dem die Einhaltung der Verträglichkeit der Verformungen näherungsweise überprüft werden kann. Der Einfluß der Nachgiebigkeit von Nagelverbindungen wird bei Untersuchungen mit Federn verschiedener Grenzsteifigkeiten nachgeahmt. Unter Berücksichtigung der Verformungen wird die Tragwirkung der Hängerippe nach Theorie II. Ordnung erfaßt. Besondere Bedeutung erfordert die zutreffende Beurteilung von Größe und Verteilung der Windlasten. In einer ausführlichen Arbeit gibt Beutler (J. Beutler, Bauakademie Berlin, »Beitrag zur statischen Windbelastung von Seilnetzwerken – Ergebnisse von Windkanaluntersuchungen«) Beiwerte c an, mit welcher der Staudruck bei Hyparflächen zu vervielfältigen ist. Die Untersuchungen werden für verschiedene Strömungsrichtungen angegeben, so daß mit hoher Zuverlässigkeit die ungünstigsten Beanspruchungen für den hier vorliegenden Fall entnommen werden können. Aus den in den beiden Haupttragrichtungen wirkenden Schalenkräften ergeben sich noch bedeutende Zusatzwirkungen, weil der Anschluß von Hängerippe und Schalung an das Randglied erfolgt in zwei verschiedenen Ebenen. Da das Randglied relativ torsionsweich ist, muß die Zentrierung der Schalenkräfte in der Schale selbst erfolgen. Dies führt zu beachtlichen Momentenbeanspruchungen in der Hängerippe im Bereich des Anschlusses an die Randglieder. Daraus folgen entsprechende Anforderungen an die Größe des Hängerippenquerschnittes und der zugehörigen Anschlußkonstruktion.

Mit der nach den beschriebenen Wegen ermittelten Dachfläche und den anzusetzenden Belastungen ist es möglich, mit einer Vorspannung von rund 130 Mp in Richtung der Verbindungslinie der beiden Tiefpunkte in allen Konstruktionsteilen die Beanspruchungen in den zulässigen Grenzen zu halten. Die aus der Vorspannung herrührenden Längskräfte in der Schalung erreichen im mittleren Bereich den Maximalwert von rund 4 Mp/m; in den Randbereichen fällt dieser Wert auf 1,6 Mp/m ab.

Konstruktion des Flächentragwerks

Das Flächentragwerk wird gebildet mit drei Lagen Schalung und mit hölzernen Rippen (Querschnitt 20/24 cm), die im Abstand von 1,50 m angeordnet sind. Die unterste, 24 mm dicke Schalungslage verläuft normal zu den Rippen. Die zweite und dritte Schalungslage sind nur 18 mm dick und gegenüber der ersten um +45° bzw. –45° verschwenkt. Es werden mit Keilzinkenstößen zusammengefügte Bretter eingebaut (bis zu 60 m Länge). Die unterste Schalung läuft ohne Baustellenstoß von Randglied zu Randglied, für die zweite und dritte Lage genügen 15 m lange Bretter, die in versetzter Anordnung stumpf gestoßen werden. Die parallel zur Verbindungslinie der Hochpunkte verlaufenden Rippen sind brettschichtverleimt. Bereits beim Verleimen erhalten sie die plangemäße Krümmung. Aus Transportgründen werden die vier längsten Rippen erst auf der Baustelle aus zwei Teilen mit einem versetzten Keilzinkenstoß zusammengebaut. Aus verschiedenen Gründen wird jedes der vier 36 cm dicken und 140 cm breiten Randglieder in vier werksgefertigten, brettschichtverleimten, plangerecht gekrümmten und verwundenen Teilen von je 18 cm Dicke und 140 cm Breite zur Baustelle geliefert. Mit versetzt angeordneten Keilzinkenstößen, mit Stabdübeln ∅ 30 mm und mit Schraubenbolzen wird die gemeinsame Wirkung des gesamten Randgliedquerschnittes sichergestellt.

Bei der konstruktiven Ausbildung der Anschlüsse der einzelnen Tragelemente wurde peinlich auf mittige Lasteintragung geachtet. Jede Abweichung davon führt bei den hier vorliegenden hohen Kräften zu außerordentlich großen Biegebeanspruchungen, wie es in dem einen Fall der Einleitung der Schalenkräfte in die Randglieder als einzige Abweichung beschrieben ist. Die Konstruktionszeichnungen mit Erläuterungen und die Bilder zeigen alle Besonderheiten der Details.

Montage

In die Montagearbeiten wird mit 14 Fotos ein Einblick gegeben. Es sei noch hervorgehoben, daß nur eine relativ leichte Rüstung für die Randglieder erforderlich ist. Sie muß aber sorgfältig auf die Form der Dachfläche ausgerichtet werden.

Nach der Montage der Hängerippen erfolgt die Feinkorrektur ihrer Höhenlage mit Hilfe der in der Verbindungskonstruktion vorgesehenen Schrauben M 30. Die Schalung wird mit Schraubnägeln an Hängerippen und Randgliedern befestigt. Eine zusätzliche Vernagelung verbindet alle drei Lagen untereinander.

Sobald die Dachfläche mit allen drei Schalungszweigen geschlossen ist, kann die Vorspannung aufgebracht werden. Hierfür sind die drei Abspannseile an den beiden Hochpunkten vorgesehen. Mit vier Spannpressen wird abwechselnd an beiden Hochpunkten gespannt, so daß unsymmetrische Eintragung von Kräften vermieden werden kann. Die Vorspannstufen werden am Anfang klein gewählt, also zu 15 % beim ersten Hochpunkt, dann 15 % am zweiten Hochpunkt und schließlich Steigerung auf 30 % auf beiden Seiten. Der nächste Schritt sieht eine gesamte Erhöhung der Vorspannung auf 70 % vor. Bei diesem Vorspanngrad haben sich schon einzelne Teile der Randglieder vom Lehrgerüst abgehoben. In den restlichen Bereichen wird das Lehrgerüst abgesenkt, so daß bei diesem Vorspanngrad das Dach vollständig frei trägt.

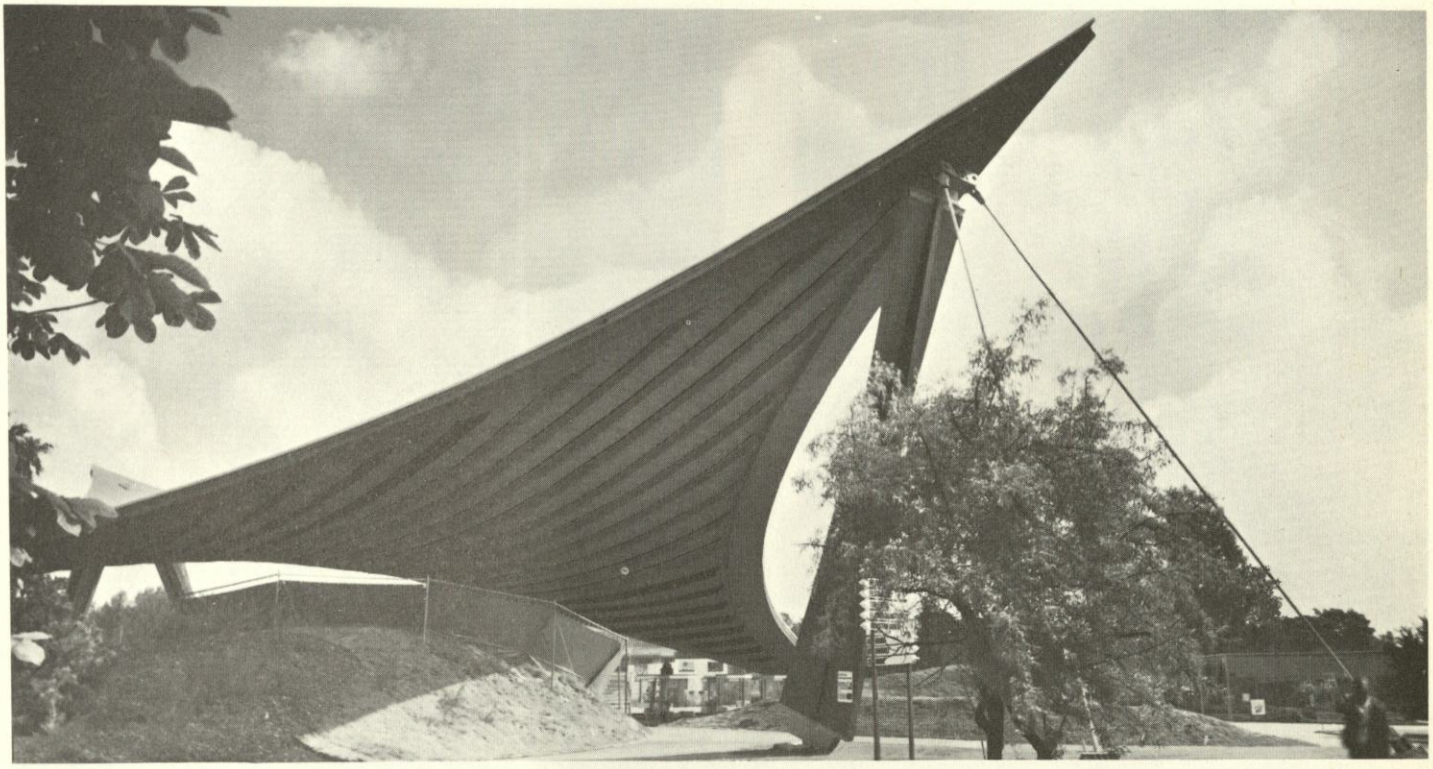
In zwei weiteren Spanngängen werden die endgültigen Spannkräfte erreicht. Zur Überprüfung eines eventuellen Spannkraftabfalles infolge plastischer Verformungen bei den Verbindungsmitteln werden drei Stunden nach Abschluß der Spannarbeiten die Spannpressen noch einmal angesetzt.

Erfahrungen

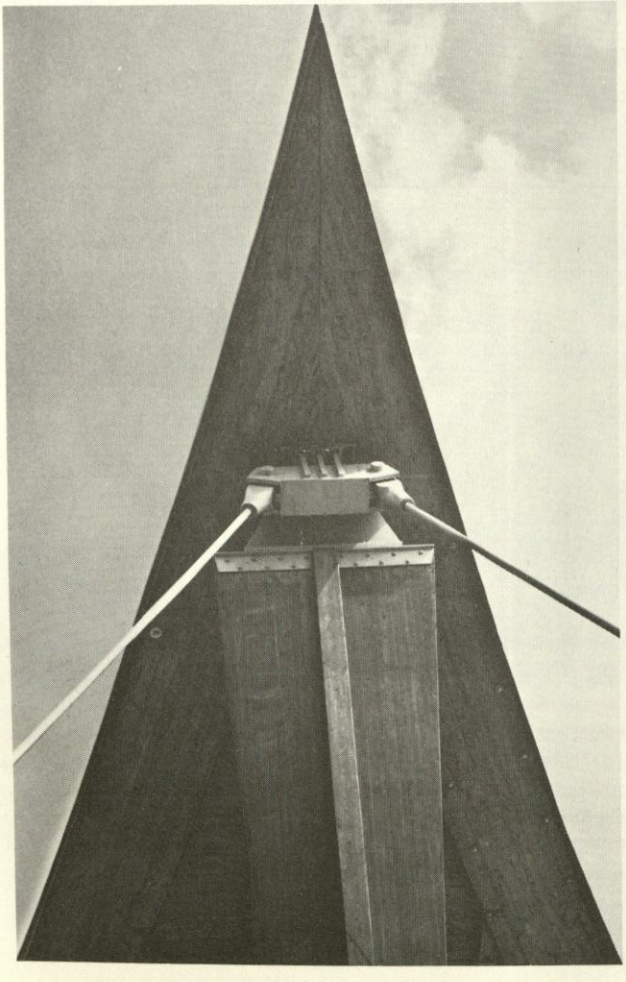
Aus den Arbeiten an diesem Objekt können Erfahrungen für Weiterentwicklungen nutzbar gemacht werden. Bei der Konstruktion bietet sich vor allem eine Änderung an beim Anschluß der Schalung an die Randglieder. Wie bereits ausgeführt, stellt deren exzentrische Krafteinleitung besondere Anforderungen an die Hängerippen. Man wird deshalb auch hier den Grundsatz von momentenfreiem Anschluß zu verwirklichen suchen.

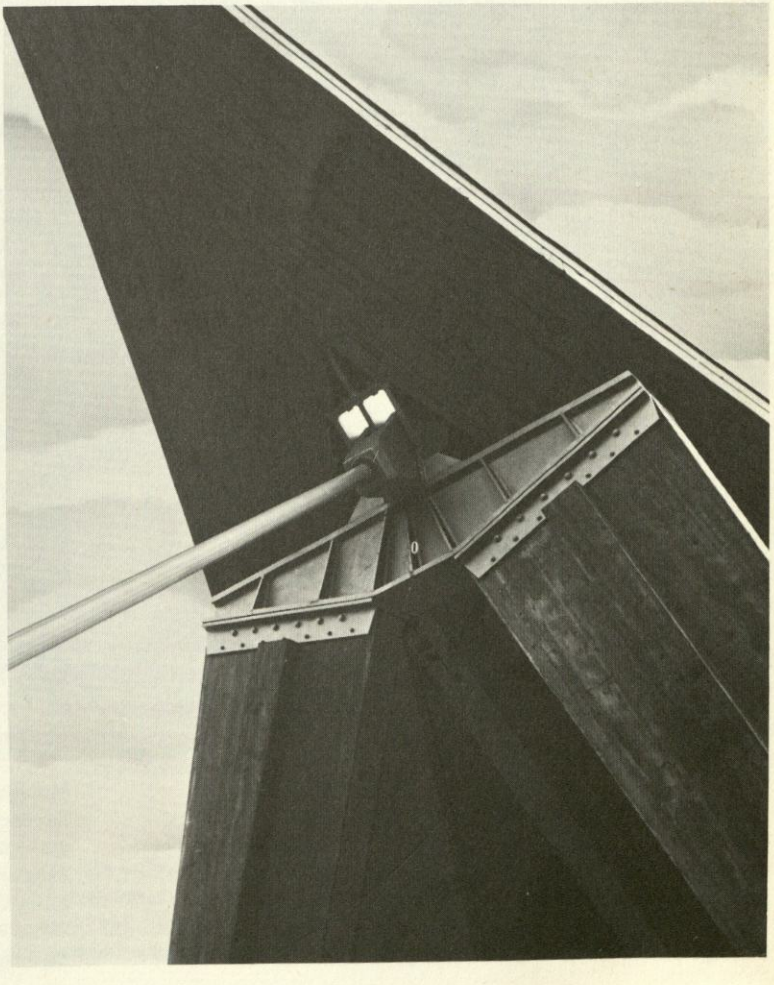
In einer Studie des Verfassers zur Ausbildung des Zeltdaches der XX. Olympischen Sommerspiele in München als Holzrippenschale ist vorgesehen, auch die Hängerippen zweiteilig auszubilden und die Schalung dazwischenzulegen. Damit würde der erwünschte zentrische Anschluß erreicht. Weiter ist daran gedacht, bei sehr großen Spannweiten die Holzrippenschale an stählerne Randseile zu hängen.

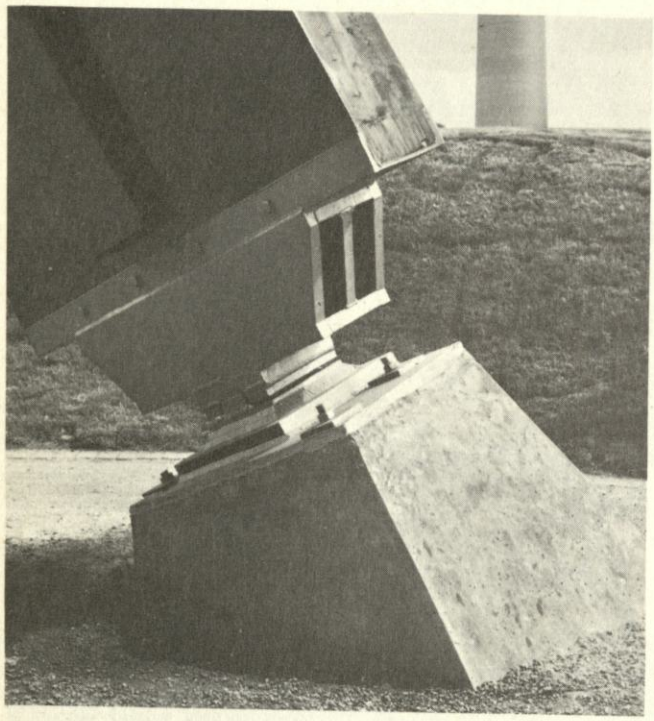
Mit dem hier gezeigten Hängedach wurde ein Weg beschritten, der interessante und wirtschaftliche Möglichkeiten zur Überdachung großer Flächen mit leichten, weitgespannten Holzkonstruktionen bietet.



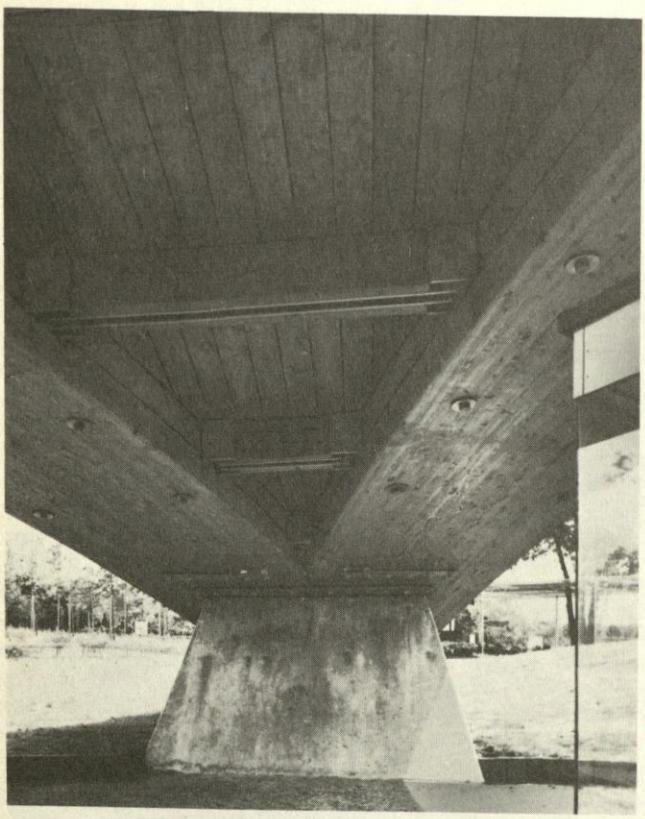
Zu den Bildern dieser Seite: An der Ausbildung der Anschlußkonstruktionen beider Hochpunkte läßt sich das Kräftespiel der dort zusammengeführten Kräfte klar ablesen.

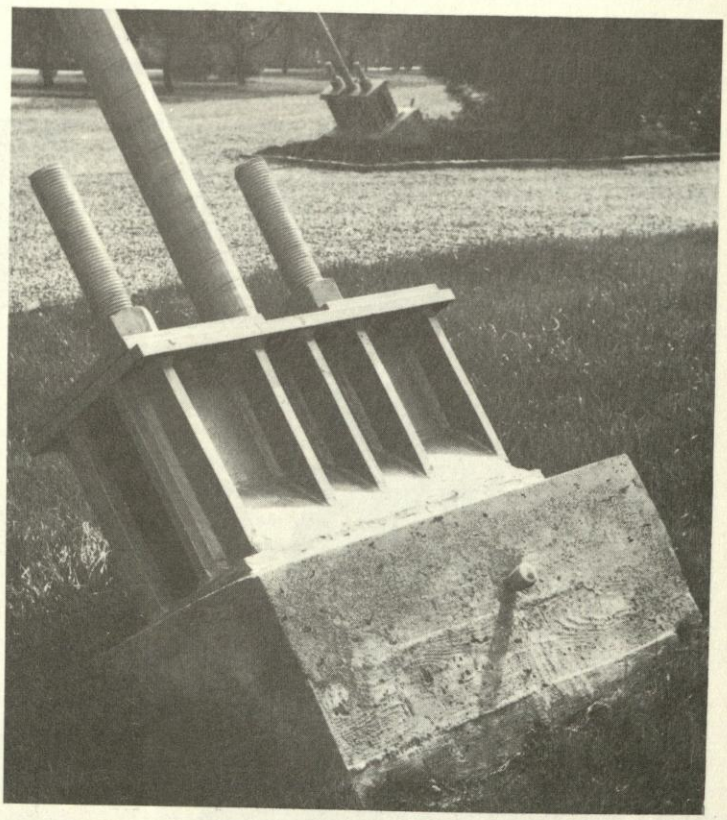






Auch bei den Tiefpunkten ist sowohl bei den Seilkopplungen als auch bei der Auflagerung an den Stützenfüßen und bei der direkten Einmündung der Randglieder in das Tiefpunktfundament die Tragwirkung erkennbar. Die Bilder zeigen oben: Einen Stützenfußpunkt und den Spannseilfußpunkt der Doppelstütze. Unten: Auflagerpunkt der Randglieder und die Spannseilfußpunkte der Einzelstütze.





Projektrealisierung

Bauherr: Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., Düsseldorf.
Entwurf: Prof. Behnisch + Partner, Freie Architekten, Stuttgart.
Beratung beim Entwurf: Dipl.-Ing. J. Natterer, München.
Statik und Konstruktion: Ing.-Büro Dr.-Ing. Günter Scholz und Dipl.-Ing. Berndt Hauser, München.
Prüfingenieur: Prof. Dr.-Ing. H. Kupfer, München.

Bauausführung: Arbeitsgemeinschaft der Firmen Kirschner, Dülmen, und Hüttemann, Olsberg.
Montage der Holzkonstruktion: Holzbau Koch, Bochum.
Stahlbetonzugpfähle: Firma Pollems, Essen.
Stahlkonstruktion: Firma Pohlig, Hechel + Bleichert, Köln.
Abspannseile: Firma Felten + Guilleaume, Köln.
Lieferung der Spannglieder und Ausführung der Vorspannarbeiten: Firma Polensky + Zöllner, Frankfurt.
Dachhaut: Deta-Dachfolie (Fa. Dörken, Herdecke/Ruhr).

ZY2
1 B 7943 F
72

DETAIL

ZY2
UNIV.-BIBL.
DORTMUND
K

20. AUG.
UNIV.-BIBL.
DORTMUND

4
JULI – AUGUST
SERIE 1969