

Berechnung der Biegungsspannungen und Stabkräfte in Schwedlerkuppeln nach Theorie und Modellversuch

VON DER

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN
HOCHSCHULE IN ZÜRICH

ZUR ERLANGUNG

DER WÜRDE EINES DOKTORS DER
TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

GENEHMIGTE

PROMOTIONSARBEIT

VORGELEGT VON

EL-SAYED EL-SCHASLY

Dipl. Bauingenieur Kairo u. E.T.H.
aus Kairo (Aegypten)

Referent: Herr Prof. Dr. F. Stüssi

Korreferent: Herr Prof. Dr. M. Ritter



ZÜRICH 1942

Diss.-Druckerei A.-G. Gebr. Leemann & Co.
Stockerstr. 64.

Schlußfolgerung

Bei der Konstruktion von Schwedlerkuppeln werden die Sparren und Ringe in den Knotenpunkten durch Nietung oder Schweißung steif miteinander verbunden. Es liegen keine reibungslosen Gelenke vor, wie Schwedler in seinem Berechnungsverfahren voraussetzt. Die Sparren und Ringe werden aus I-Profilen oder ähnlichen für große Spannweiten geeigneten Trägern hergestellt.

Die Steifheit der Knoten wirkt sich einmal dahin aus, daß in den Stäben der belasteten Kuppel auch Biegemomente entstehen. Sodann werden bei einer Einzellast alle Stäbe der Kuppel beansprucht, während nach Schwedler nur eine beschränkte Zahl beanspruchter Stäbe gefunden wird.

Die Berechnung der Sparren- und Ringbiegemomente und deren Einflüsse auf die Stabkräfte der Kuppel ist für die Praxis sehr wichtig. Durch die genaue Erfassung der tatsächlichen Beanspruchungen und Verformungen wird ein sicheres und wirtschaftliches Konstruieren ermöglicht. Der Rechnungsgang muß aber unkompliziert, übersichtlich und wenig fehlerempfindlich sein, um in die Praxis Eingang zu finden.

Eine genaue Berechnung unter Berücksichtigung aller Einflüsse ist für ein solches vielfach statisch unbestimmtes System unter unsymmetrischer Last recht verwickelt. Es ist eine große Zahl von Elastizitätsgleichungen aufzustellen, deren Lösung sich sehr umständlich und zeitraubend gestaltet.

Durch zweckmäßige Vereinfachungen, Berücksichtigung der wichtigeren Einflüsse und Vernachlässigung oder Schätzung der untergeordneten wurde hier ein für die Praxis brauchbares Verfahren gewonnen. Die Genauigkeit dieses Verfahrens ist an Hand eines Modellversuches nachgewiesen worden.

Als Zahlenbeispiel wurde eine Kuppel behandelt, so wie sie in der Praxis ausgeführt würde. Die nach Theorie und Versuch ermittelten Stabkräfte und Biegemomente lassen die Wirkung der steifen Knoten deutlich erkennen. Die Stabkräfte sind viel kleiner und gleichmäßiger über die Kuppel verteilt als dies beim Schwedlerschen System der Fall ist. Hier wurden für eine Einzelast P_1 nur 40 Stäbe beansprucht gefunden, während tatsächlich sämtliche 120 Stäbe Spannungen erfahren.

Aus dem Zahlenbeispiel ergab sich weiter, daß die Mehrzahl der Stäbe tatsächlich mit einer entgegengesetzten Längskraft beansprucht wird, verglichen mit der ideellen Schwedlerschen Kuppel.

Eine nach dem gelenkigen System dimensionierte Kuppel weist folgende Mängel auf:

Die aus der Rechnung sich ergebenden Druckstäbe werden tatsächlich überdimensioniert. Die auf Zug dimensionierten Stäbe weisen tatsächlich zu geringe Sicherheit auf, indem sie effektiv gedrückt werden können.

Die Berechnung wird zweckmäßigerweise mit Einzellasten oder Lastgruppen vorgenommen. Ein allgemeiner Lastfall kann daraus durch Superposition gewonnen werden.

Der Rechnungsgang zeigt folgende drei Stufen:

1. Berechnung der statisch bestimmten Kuppel (z. B. nach dem hier ausführlich behandelten Konjugationsverfahren). Erste Dimensionierung.
2. Berücksichtigung der steifen Verbindungen der Sparrenstäbe. Die Ringstäbe und die Streben werden als gelenkig angeschlossen betrachtet. Die Sparren stellen durchlaufende Träger auf frei senkbaren Stützen dar. Nach Abschnitt II ergeben sich Sparrenbiegemomente und damit neue Stabkräfte.
3. Zusätzliche Berücksichtigung des steifen Schlußrings unter Benützung des Systems 2 als statisch unbestimmtes Grundsystem. Die Streben und die übrigen Ringstäbe werden als gelenkig angeschlossen betrachtet, ohne daß dadurch nennenswerte Abweichungen vom tatsächlichen Verhalten zu erwarten

sind. Die berechneten Biegemomente und Stabkräfte werden für die endgültige Dimensionierung der Kuppel verwendet. Die in den Zwischenringstäben zufolge ihrer steifen Anschlüsse entstehenden Biegemomente $M_{ij}^r = M_{ij}^l = \mu_r' \cdot M_{ij}^o$ müssen für den Spannungsnachweis nachgerechnet werden.

In der vorliegenden Arbeit wurde versucht, für die genaue Berechnung von Schwedlerkuppeln einen für die Praxis übersichtlicheren Rechnungsgang zu entwickeln und an Hand eines Zahlenbeispiels durch den Modellversuch zu prüfen.

Ich hoffe, damit dem vor bald einem halben Jahrhundert von A. Föppl ausgesprochenen Wunsch nachgekommen zu sein. Föppl äußert sich in seinem Buch „Das Fachwerk im Raume“ folgendermaßen: „Man kann lebhaft wünschen, daß für eine Schwedlerkuppel einmal eine Experimentaluntersuchung mit ähnlicher Sorgfalt für den Fall der Belastung eines einzelnen Knotenpunktes durchgeführt würde. Aus den Ergebnissen einer solchen Untersuchung können wir die Änderungen in der Spannungsverteilung zwischen der Berechnung für reibungslose Knoten und den tatsächlich steifen Knoten ermitteln. Diese ließen weiter sicherere und für die Anwendung wertvollere Folgerungen ableiten, als aus der Auflösung der Gleichungen der Theorie der Nebenspannungen.“