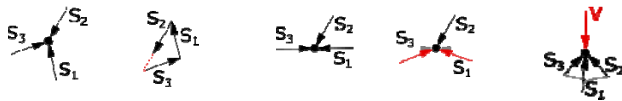


Formfindung von Bogen- und Gewölbe- tragwerken

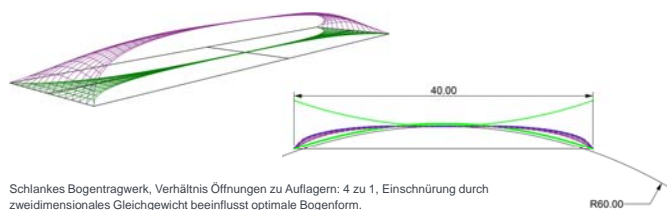
Thrust-Netzwerk-Analyse

Thrust-Netzwerk-Analyse (TNA), oder auch Stützlinien-Netzwerk-Analyse, basiert auf einem Netzwerk gelenkig verbundener Pendelstäbe. Alle Stäbe bzw. Stabkräfte werden durch Vektoren mit entsprechender Richtung und Betrag repräsentiert. Um ein statisches Gleichgewicht für das gesamte Netzwerk zu ermitteln müssen alle, an einem Knoten angreifenden, Vektoren ein geschlossenes Kraffleck ergeben. Hierzu werden wahlweise Richtung und Betrag der Vektoren variiert. Eine spezielle Eigenschaft von Tragwerken unter Eigengewicht ist, dass ausschließlich vertikale Lasten zu berücksichtigen sind, wodurch das horizontale Vektoren-Gleichgewicht unabhängig vom vertikalen Gleichgewicht der Struktur ermittelt werden kann.

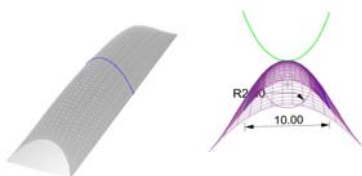


RhinoVault

RhinoVault (RV) ist ein Plug-In des 3D-CAD-Programms Rhinoceros und baut auf TNA auf. Als Basis wird eine zweidimensionale Grundfläche festgelegt. Anschließend generiert RV ein Netzwerk aus Pendelstäben in die vorgegebene Grundgeometrie. Zur Formfindung setzt RV ausschließlich, ein auf die Maschenfläche bezogenes, repräsentatives Eigengewicht an. Daher kann mit TNA das horizontale und das vertikale Gleichgewicht getrennt berechnet werden. Im Allgemeinen wird jedoch ein valides horizontales Gleichgewicht, im Rahmen der Toleranzgrenzen, für die Ermittlung des vertikalen Gleichgewichts vorausgesetzt.



Schlanke Bogentragwerk, Verhältnis Öffnungen zu Auflagern: 4 zu 1, Einschnürung durch zweidimensionales Gleichgewicht beeinflusst optimale Bogenform.

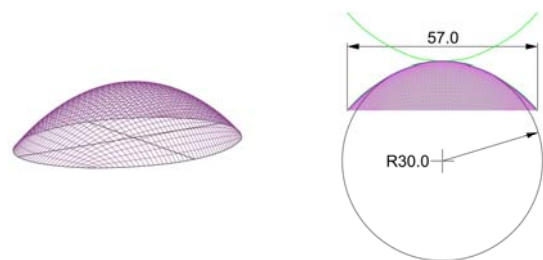
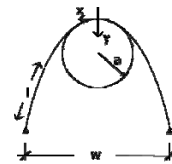


Einzelne Bogenfasere aus Tragwerksmitte, Vergleich mit cosh zeigt gute Annäherung.

Optimale Bogenform unter Eigengewicht

Robert Hooke (1635-1703), ein britischer Ingenieur und Naturwissenschaftler, entdeckte im 17. Jhd., dass die optimale Form eines Bogens unter Eigengewicht, einer gespiegelten Kettenlinie und somit dem Kosinus Hyperbolicus folgt. Die analytisch exakte Lösung eines optimalen zweidimensionalen Bogens errechnet sich durch:

- $y(x) = a \cdot \cosh\left(\frac{x}{a}\right)$
- $l = 2a \cdot \sinh\left(\frac{w}{2a}\right)$



Kuppelform setzt zweidimensionale Bogentragwirkung voraus, sehr gute Annäherung an die analytische Lösung.

Anwendungsbeispiele

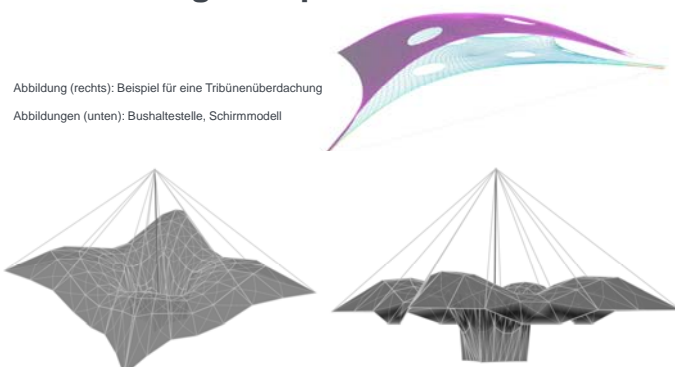


Abbildung (rechts): Beispiel für eine Tribünenüberdachung

Abbildungen (unten): Bushaltestelle, Schirmmodell