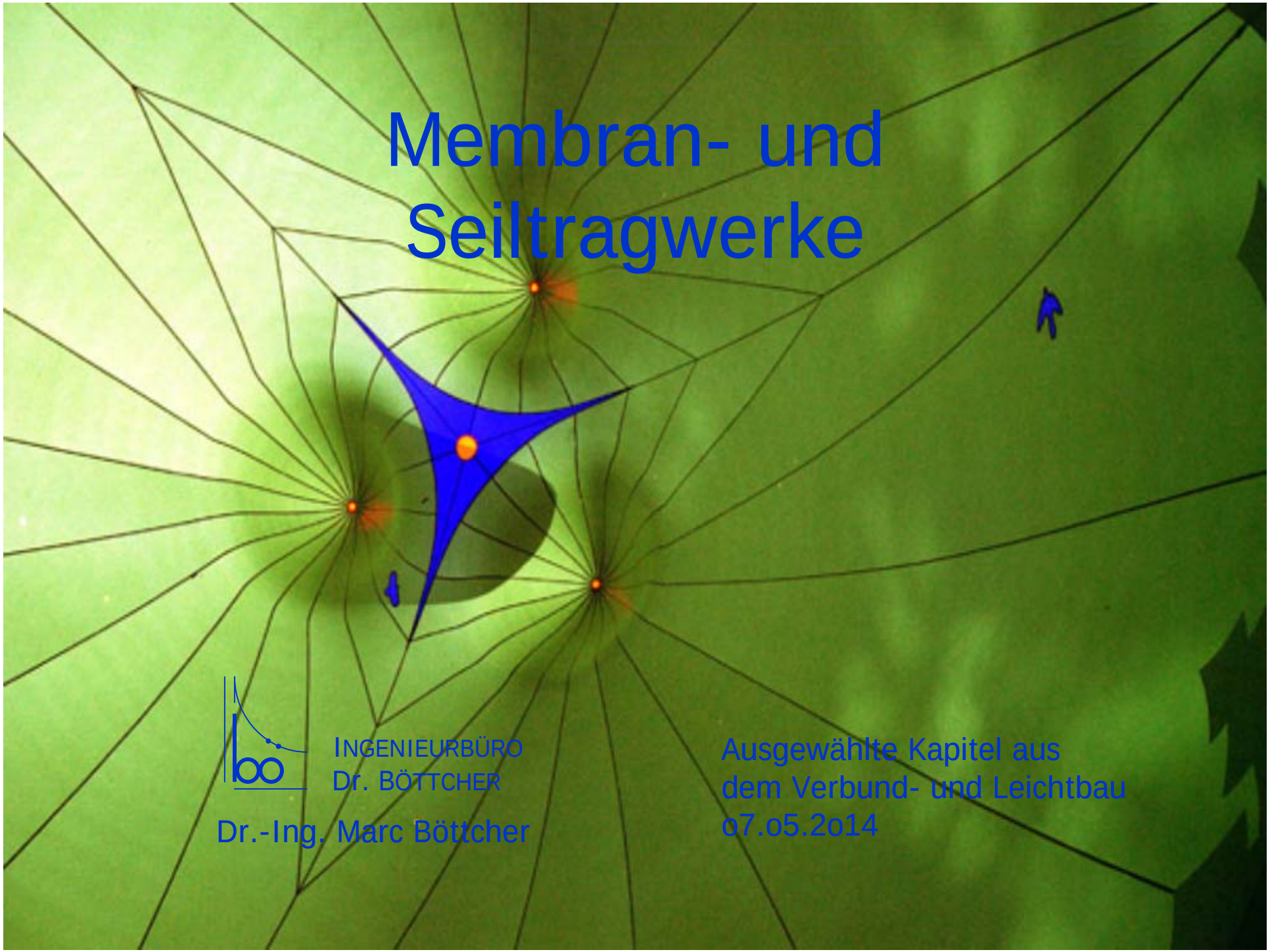
Membran- und Seiltragwerke



INGENIEURBÜRO
Dr. BÖTTCHER

Dr.-Ing. Marc Böttcher

Ausgewählte Kapitel aus
dem Verbund- und Leichtbau
07.05.2014

Vortragsziele



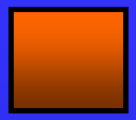
Stahlseil



Vorspannung



Formfindung



Netz- und Segelflächen

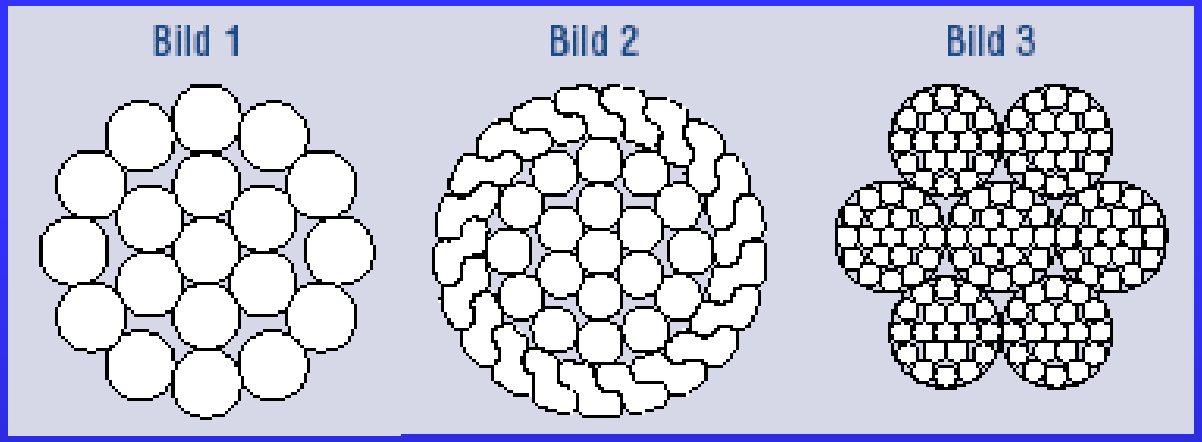


Membrane

Stahlseil

Seilarten

- offenes Spiralseil [1]
- Vollverschlossenes Spiralseil [2]
- Rundlitzenseil [3]
- Paralleldrahtbündel



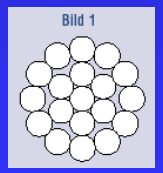
5 < ∅ < 40	20 < ∅ < 150	6 < ∅ < 40

Werte in mm

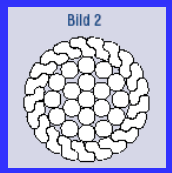
Stahlseil

Anwendung

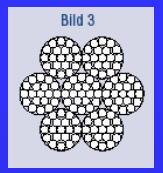
- offenes Spiralseil [1]
  Seil- und Membrannetz, Abspannungen



- Vollverschlossenes Spiralseil [2]
  Brückenbau, Netz-Randseil,

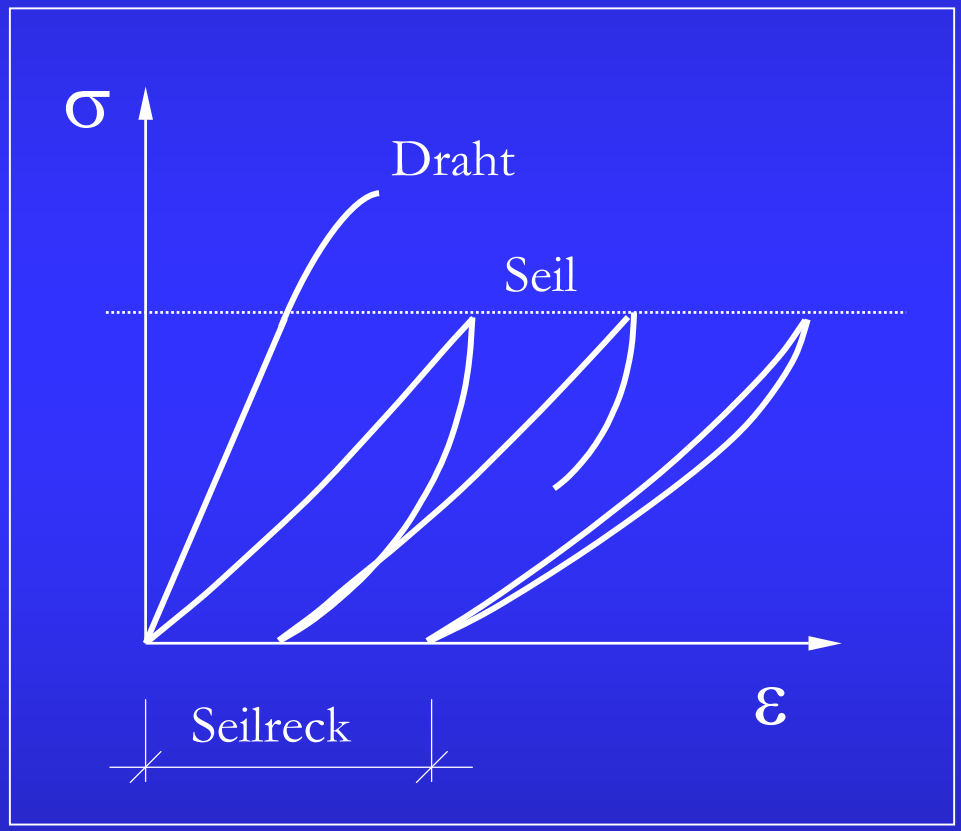


- Rundlitzenseil [3]
  Membran-Randseil



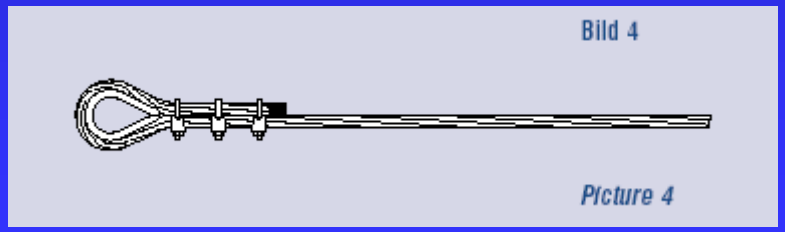
Stahlseil

Steifigkeiten

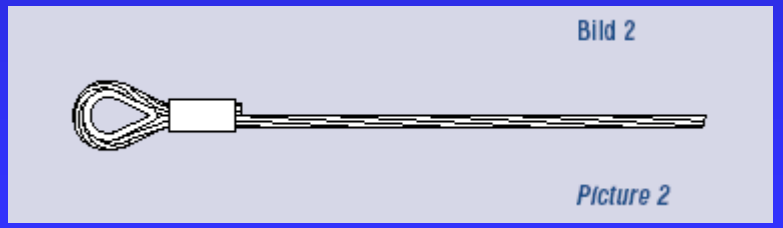


Stahlseil

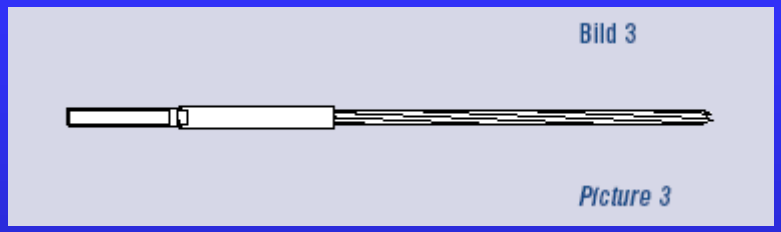
Endbeschläge



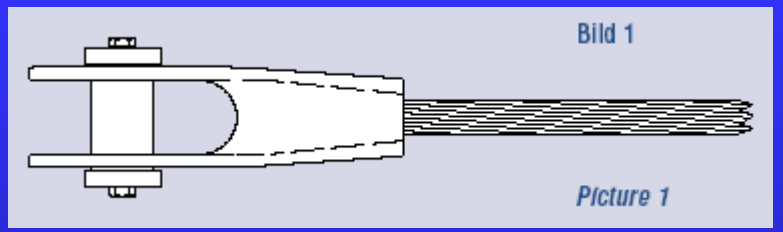
Drahtseilklemme



Alu Pressklemme



Stahl Pressklemme (Fitting)

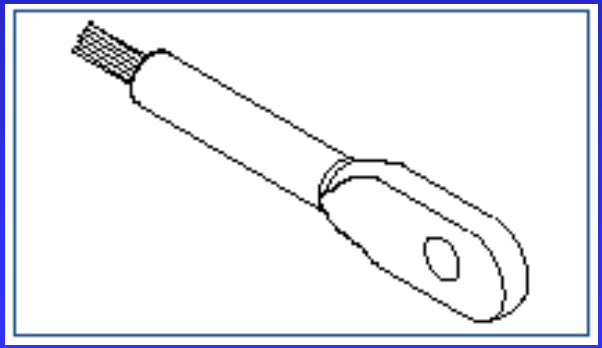


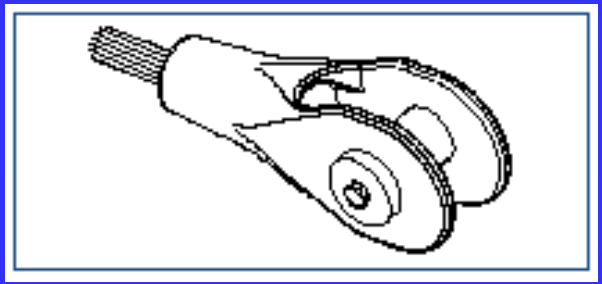
Verankerung mit Verguss

Stahlseil

Beschlagarten

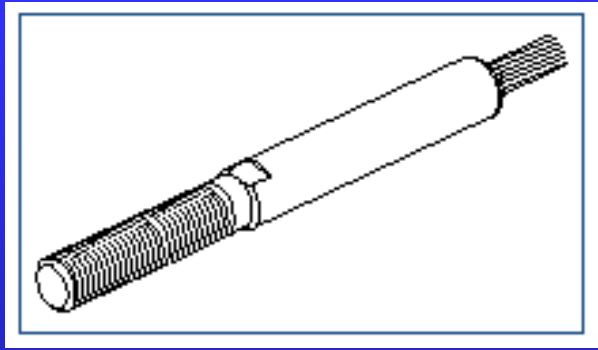
Öse





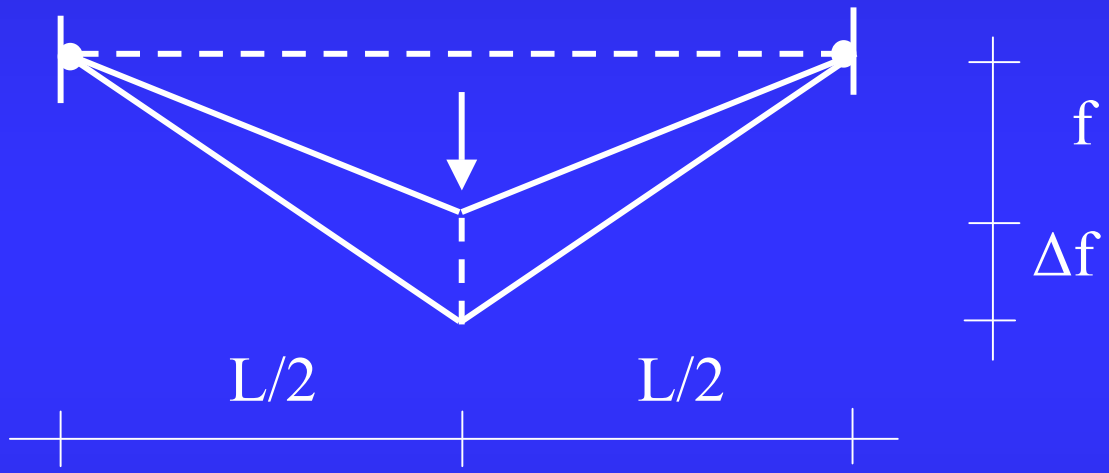
Gabel

Gewinde



Stahlseil

Seil mit großem Durchhang und Einzellast



Stahlseil

Seil mit großem Durchhang und Einzellast

Vergleich

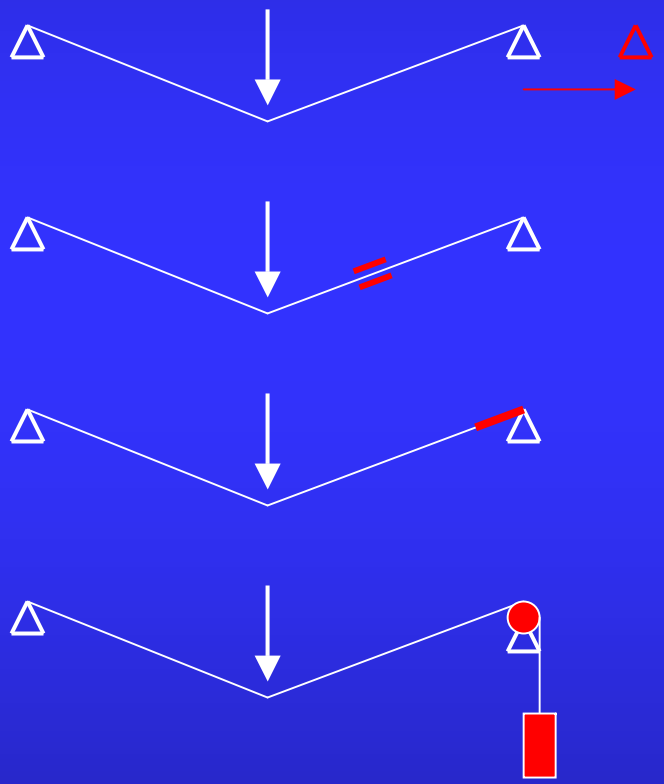
	KGV	Petersen	R-Stab
w [cm]	7,26	7,47	7,47
S [kN]	23,84	23,79	23,79

Verformungsreduktion

- EA erhöhen
- Durchhang erhöhen
- Vorspannung

Vorspannung

Vorspannarten



Lagersenkung

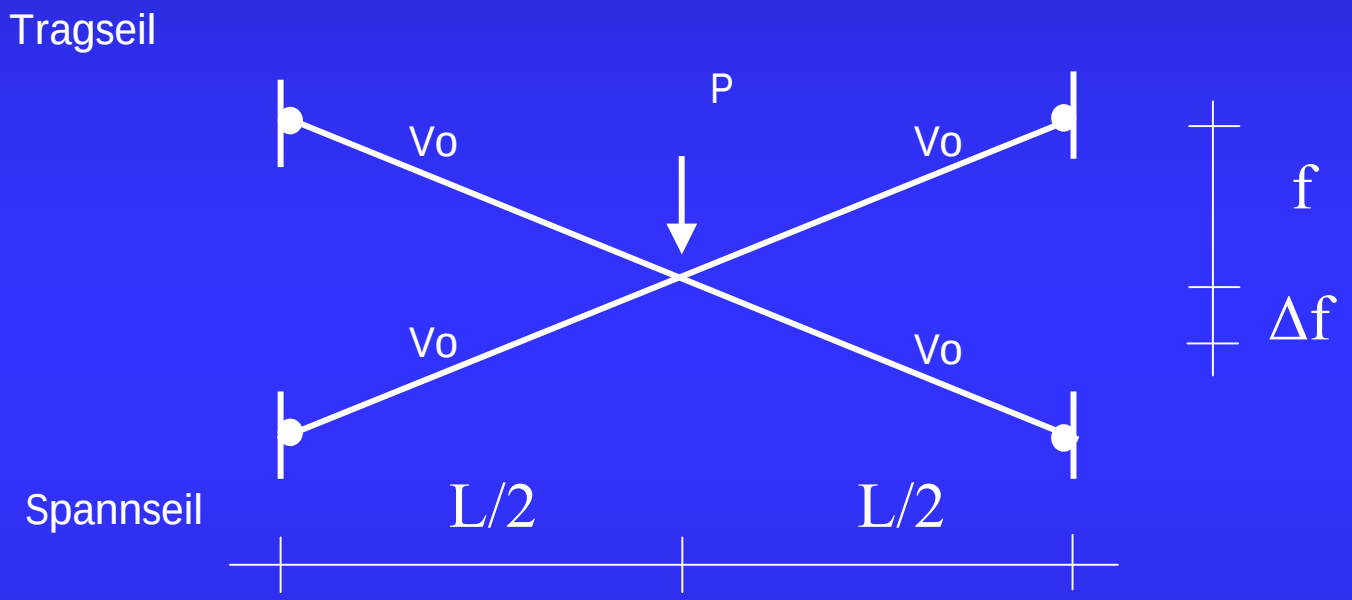
Seilverkürzung

zu kleine Fertigung

Gegengewicht

Vorspannung

Seil mit großem Durchhang und Unterspannung



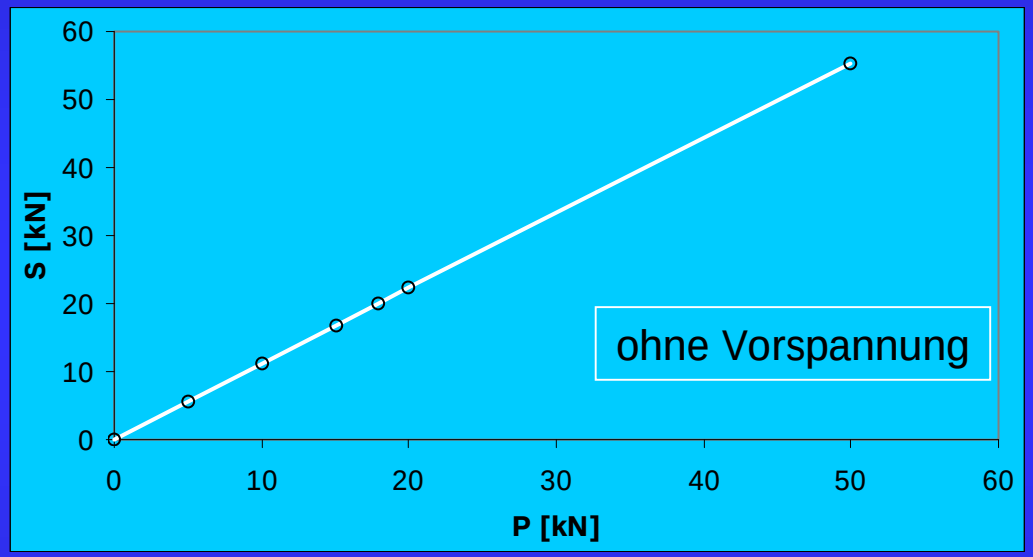
Vorteile:

Aufnahme negativer Belastungen

Reduktion der Verformung

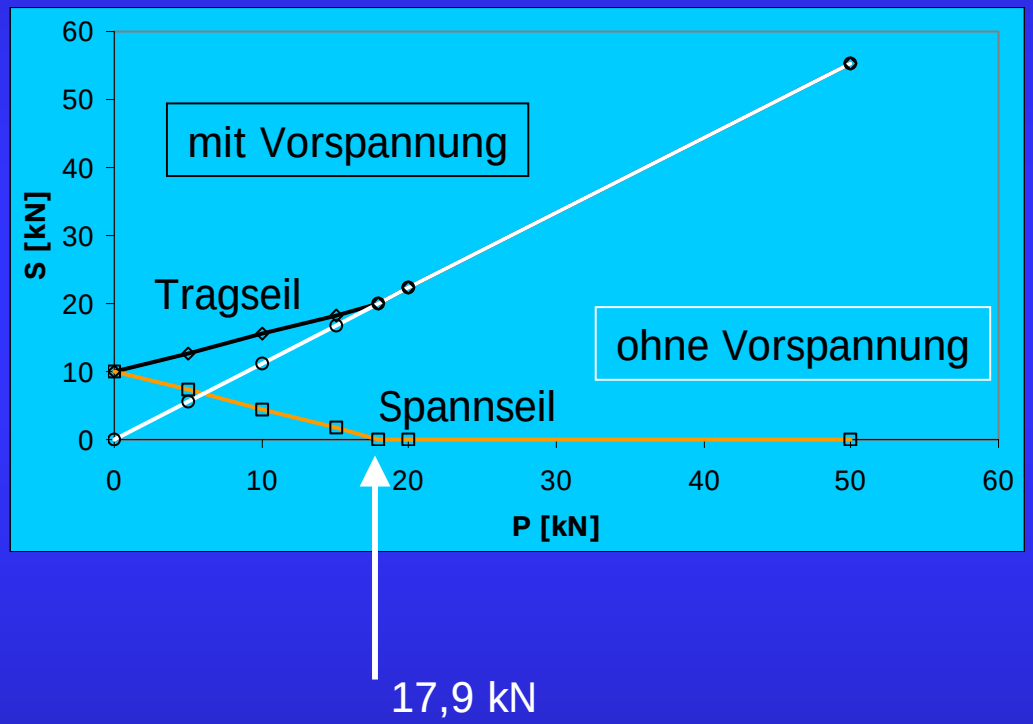
Vorspannung

Seilkraft S - ohne Vorspannung



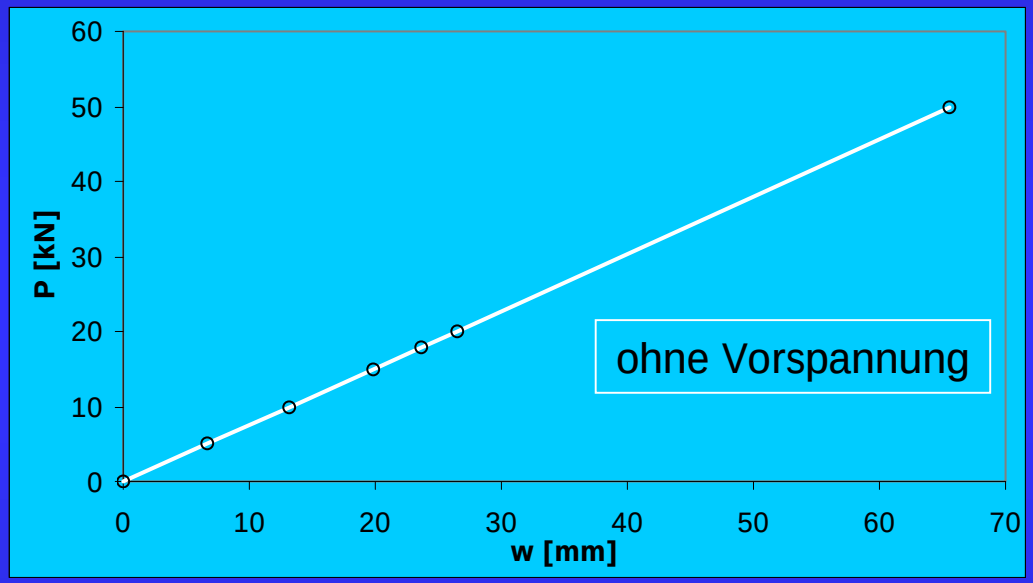
Vorspannung

Seilkraft S - mit Vorspannung



Vorspannung

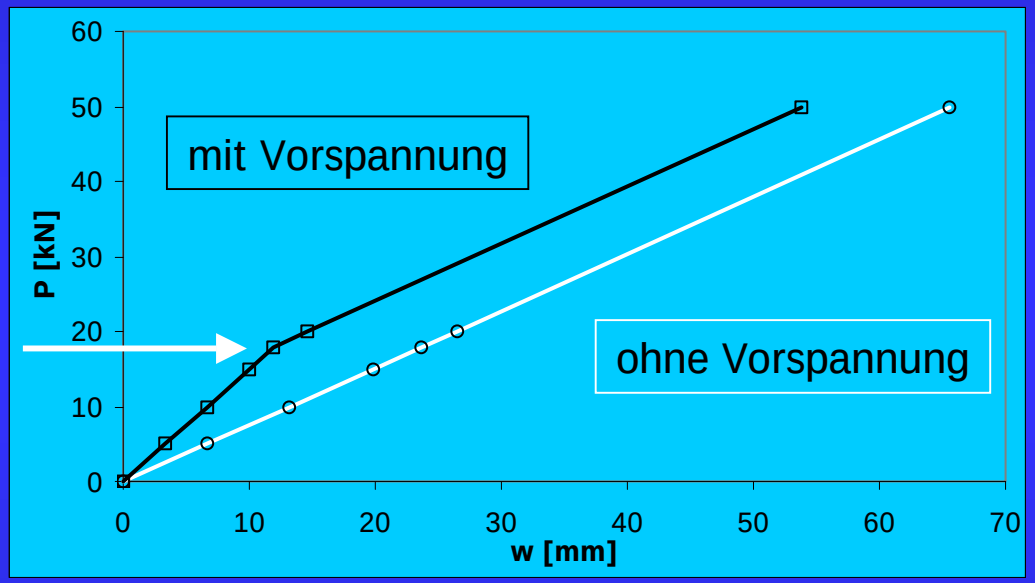
Verformungen w - ohne Vorspannung



Vorspannung

Verformungen w - mit Vorspannung

17,9 kN



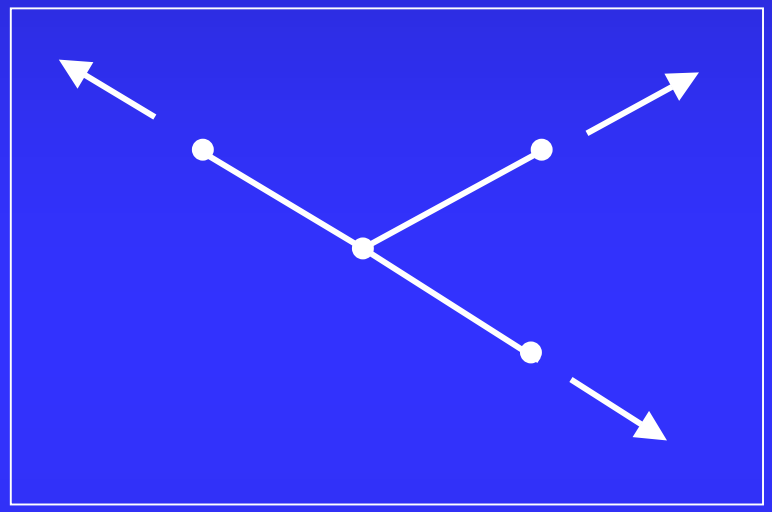
Vorspannung



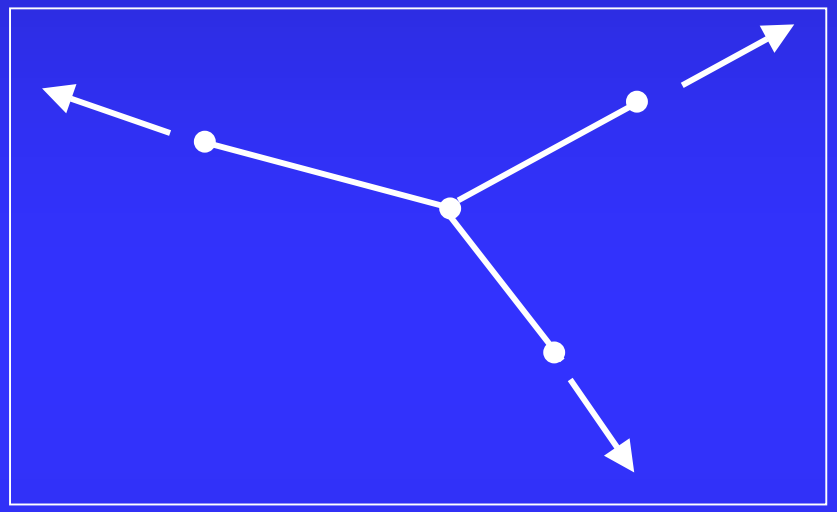


Vorspannung

Vorspannung



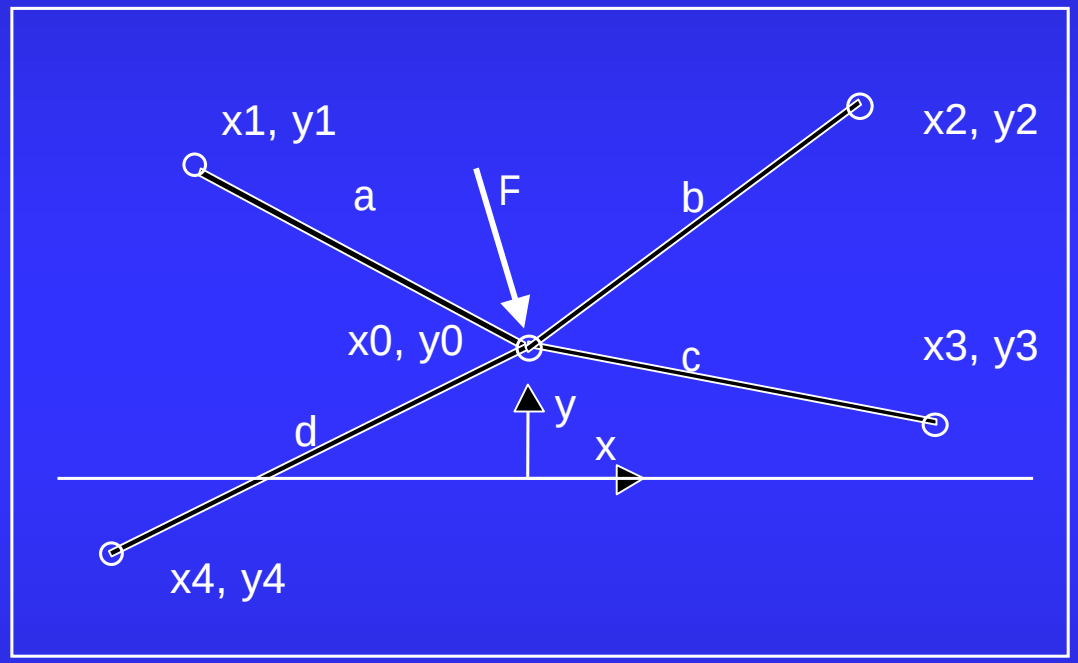
Form folgt Kraft



Nur besondere Geometrien lassen sich
ohne geometrische Veränderung vorspannen

Formfindung

Welche Geometrien sind das?



Wo liegt der Knoten 0, wenn in allen Seilen die selbe Kraft wirken soll?

Formfindung

Gleichgewicht

$$\boxed{\sum F_x = 0} \quad S_a \cdot \frac{(x_0 - x_1)}{L_a} + S_b \cdot \frac{(x_0 - x_2)}{L_b} + S_c \cdot \frac{(x_0 - x_3)}{L_c} + S_d \cdot \frac{(x_0 - x_4)}{L_d} = F_x$$

$$\boxed{\sum F_y = 0} \quad S_a \cdot \frac{(y_0 - y_1)}{L_a} + S_b \cdot \frac{(y_0 - y_2)}{L_b} + S_c \cdot \frac{(y_0 - y_3)}{L_c} + S_d \cdot \frac{(y_0 - y_4)}{L_d} = F_y$$

formbestimmender Lastfall

- Fx, Fy = 0: Vorspannung
- Fx, Fy ≠ 0: äußere Belastung (Innendruck)

Geometrie

$$L_i = \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2}$$ gedehnte Länge

Formfindung

Kraftdichte $q_i = \frac{S_i}{L_i}$

$\sum F_x = 0$ $q_a \cdot (x_0 - x_1) + q_b \cdot (x_0 - x_2) + q_c \cdot (x_0 - x_3) + q_d \cdot (x_0 - x_4) = F_x$

$\sum F_y = 0$ $q_a \cdot (y_0 - y_1) + q_b \cdot (y_0 - y_2) + q_c \cdot (y_0 - y_3) + q_d \cdot (y_0 - y_4) = F_y$

Lösung in Abh. der Kraftdichte

$$x_0 = \frac{F_x + q_a \cdot x_1 + q_b \cdot x_2 + q_c \cdot x_3 + q_d \cdot x_4}{q_a + q_b + q_c + q_d}$$

$$y_0 = \frac{F_y + q_a \cdot y_1 + q_b \cdot y_2 + q_c \cdot y_3 + q_d \cdot y_4}{q_a + q_b + q_c + q_d}$$

Formfindung

Iteration der Kraftdichte

$$S_i = q_i \cdot L_i \quad \text{für} \quad S_a = S_b = S_c = S_d$$

Berechnung der Längen

$$L_0 = \frac{L_i}{\frac{S_i}{EA} + 1}$$

$$\mathrm{V}L_i = L_i - L_0$$

Ergebnis: Minimallänge

Formfindung

Minimalflächen

Geometrie

Fläche mit kleinstem Inhalt innerhalb eines vorgegebenen Randes

Mechanik

homogene und isotrope Spannungen

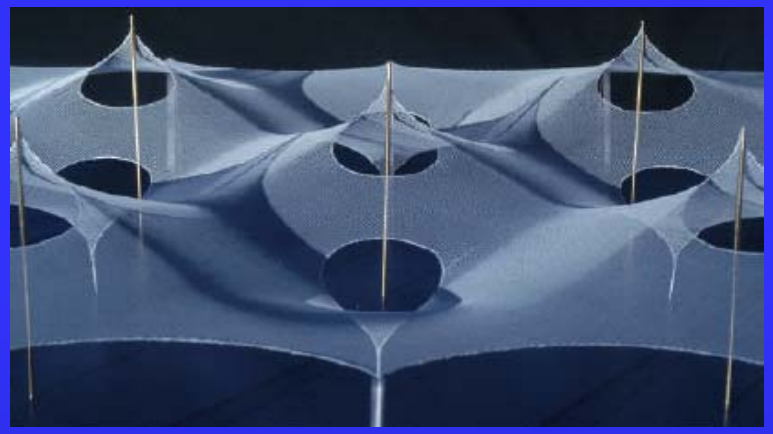
Eigenschaften

- Antiklastik
- mittlere Krümmung $\kappa = 0$

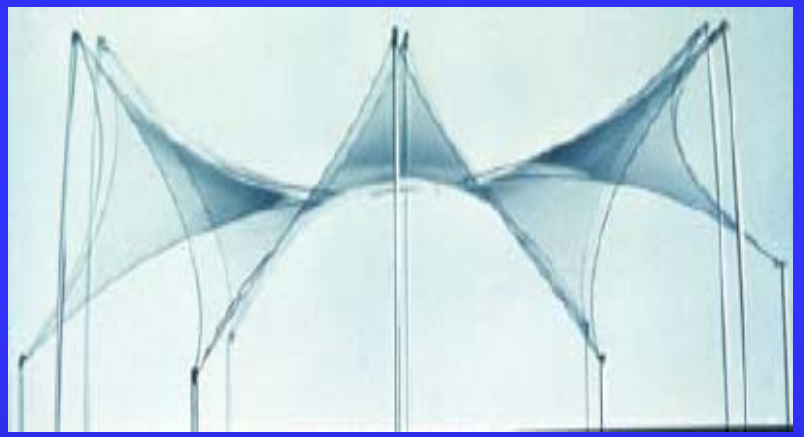
Formfindung

experimentell

Strumpfmodell



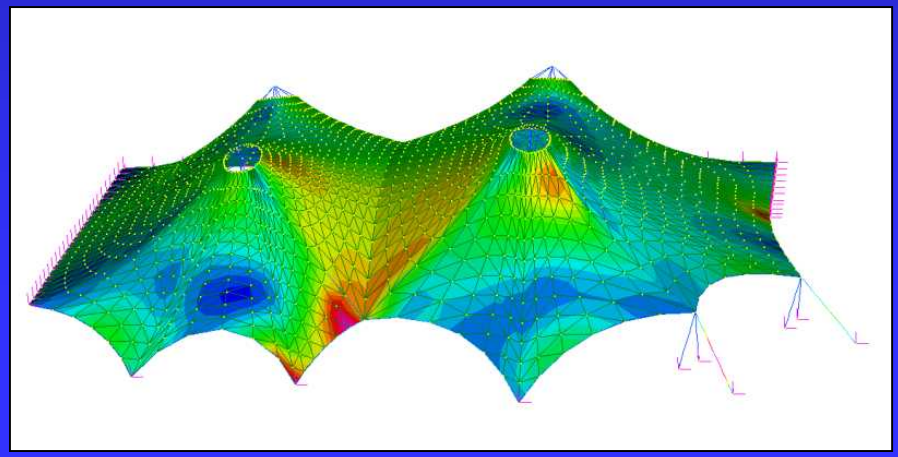
Seifenhautmodell



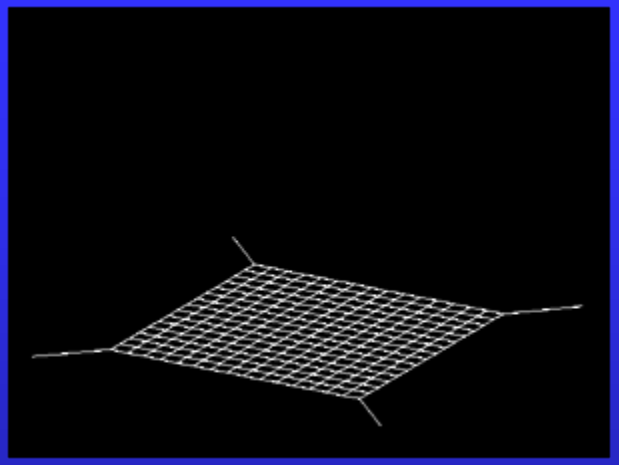
Formfindung

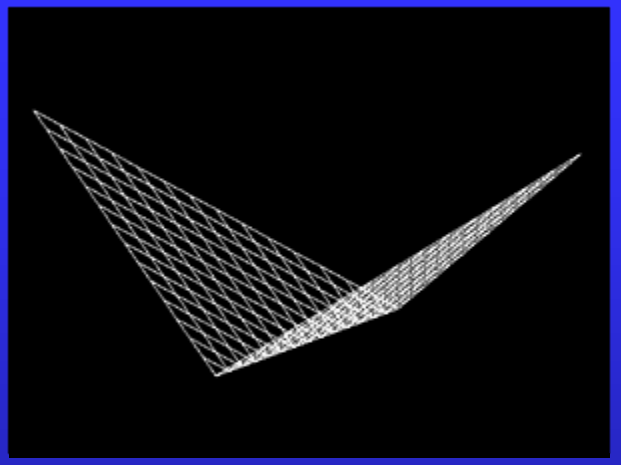
analytisch

FEM



Kraftdichte

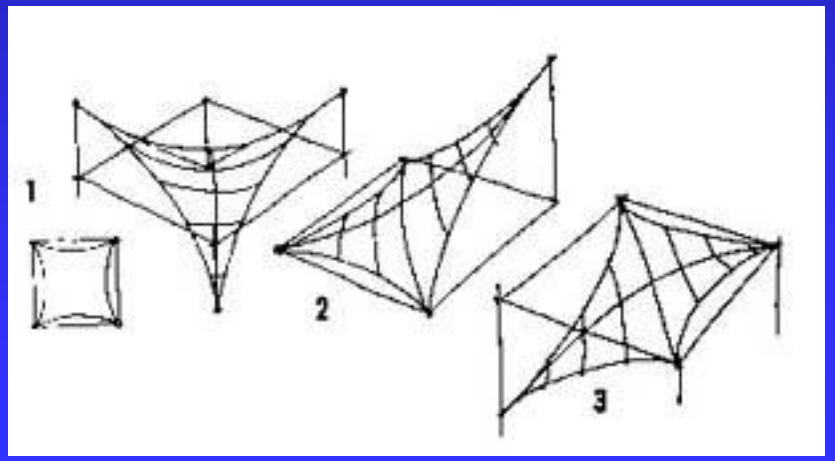




Netz- und Segelflächen

4-Punkt-Segel

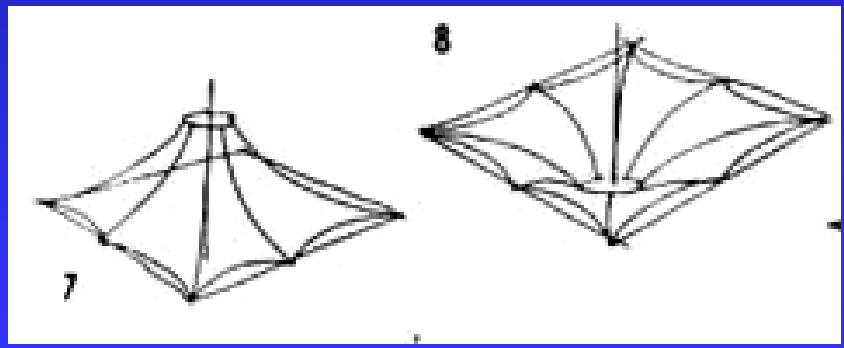


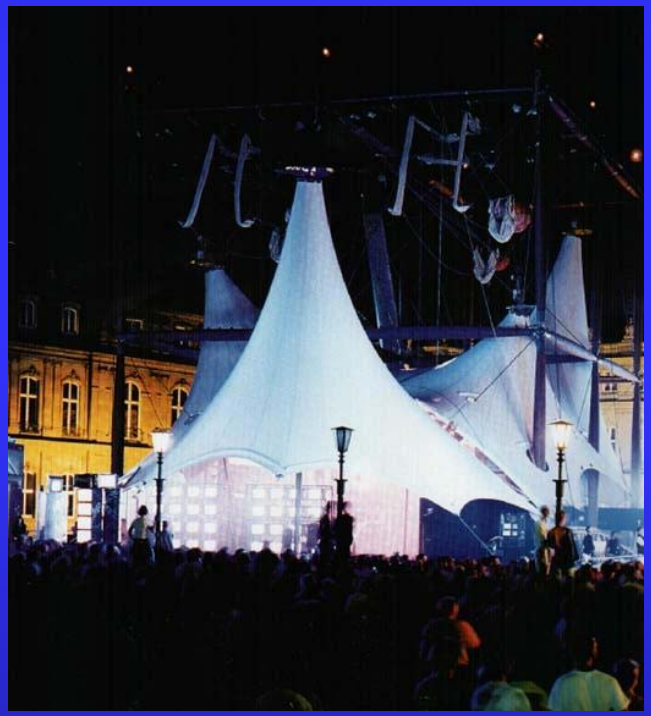




Netz- und Segelflächen

Trichterformen







Netz- und Segelflächen

Bogen- und
Tragseilkonstruktionen







Netz- und Segelflächen

Sonderformen







Netz- und Segelflächen



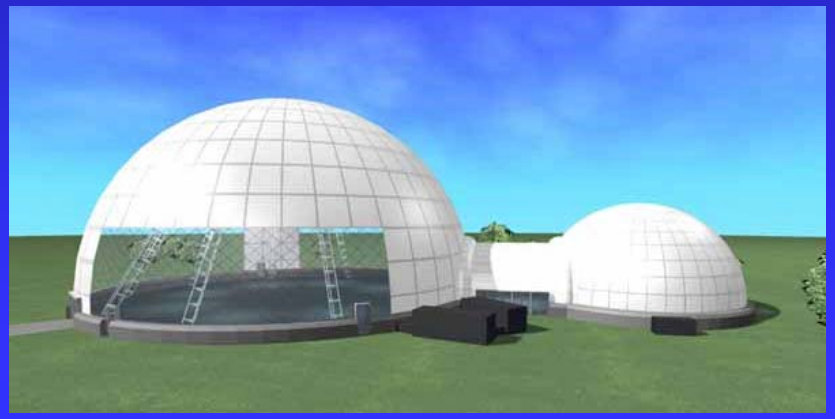
Sonderformen





Netz- und Segelflächen

pneumatisch
vorgespannte Membranen







Membran-Material

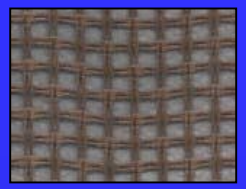
PVC beschichtetes PES-Gewebe
- Polyvinylchlorid (PVC)
- Polyester (PES)



PTFE beschichtetets GF-Gewebe
- Polytetrafluorethylen (PTFE)
- Glasfaser (GF)



PTFE beschichtetets AF-Gewebe
- Polytetrafluorethylen (PTFE)
- Aramidfaser (AF)



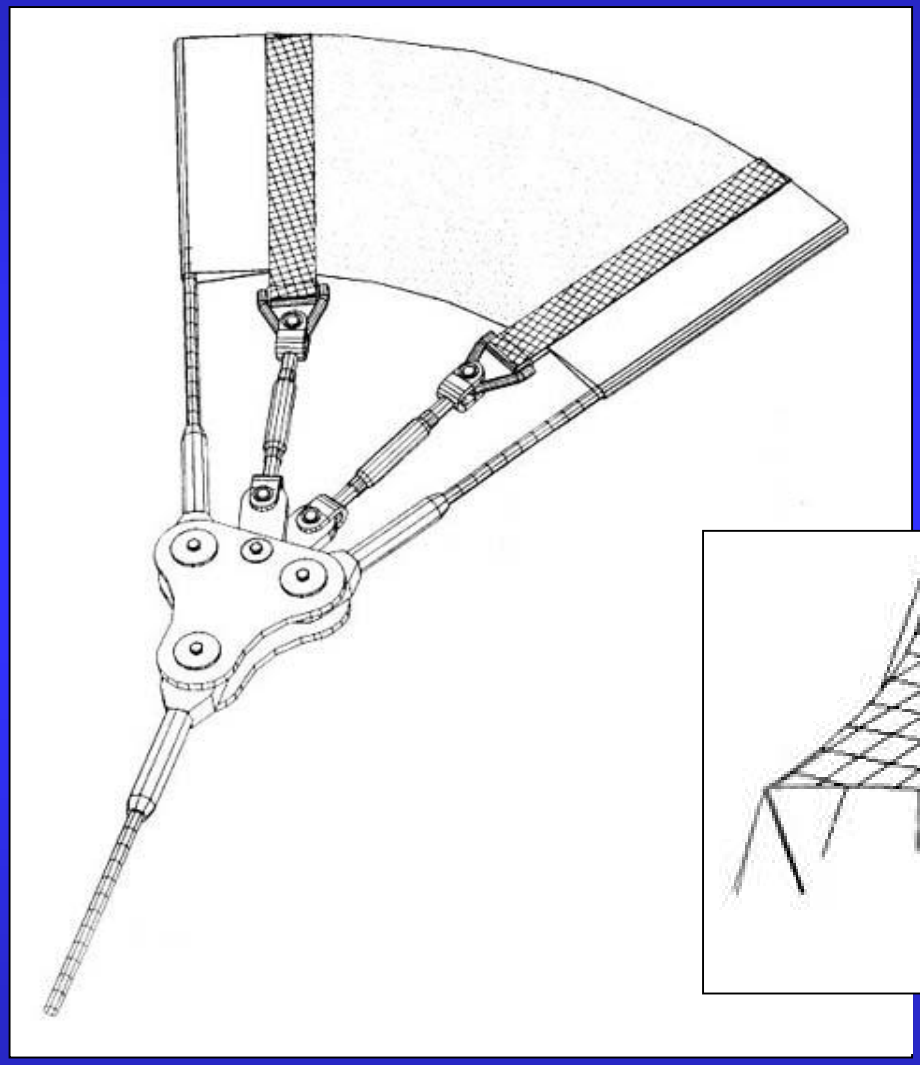
ETFE-Folien
- Ethylentetrafluorethylen (ETFE)

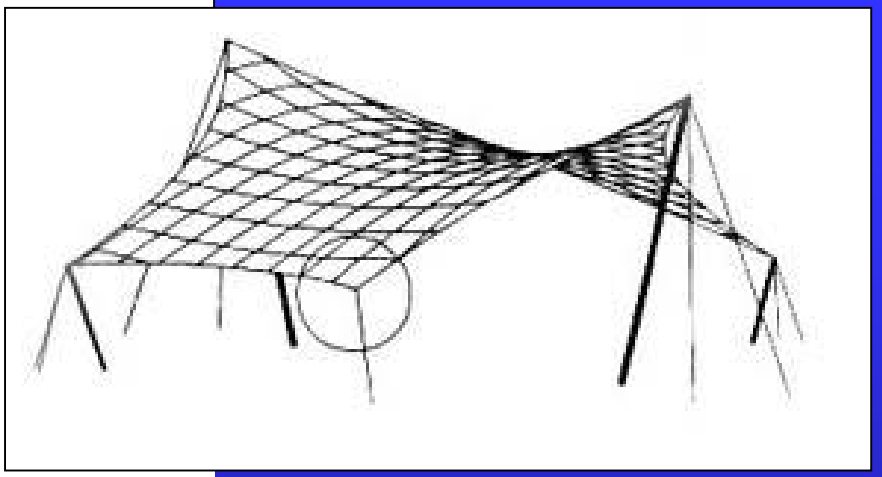


PVC-Folien
- Polyvinylchlorid (PVC)

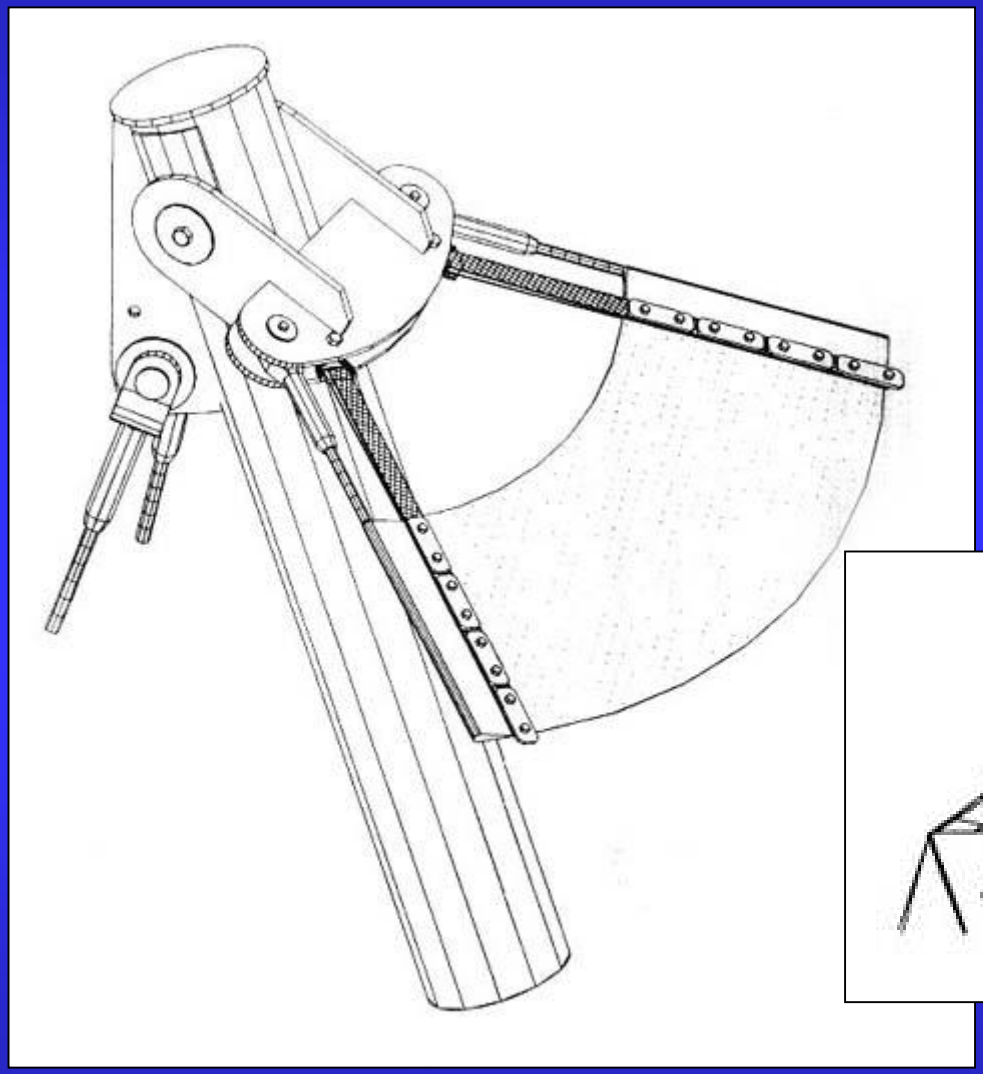


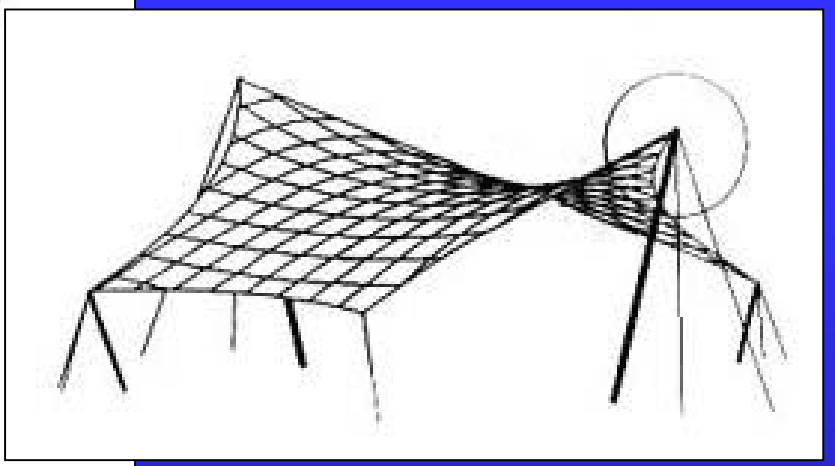
Membran-Details



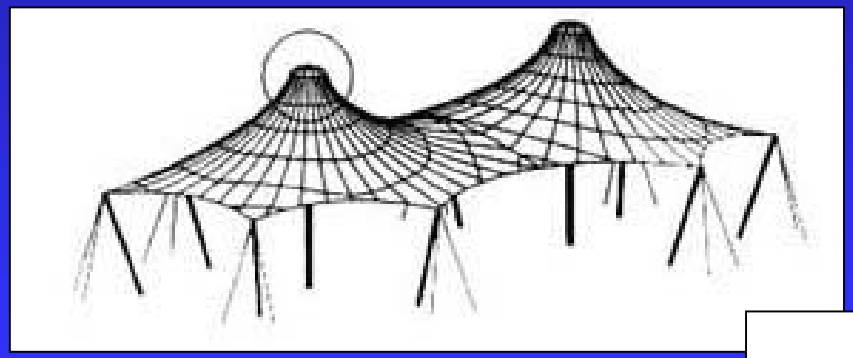


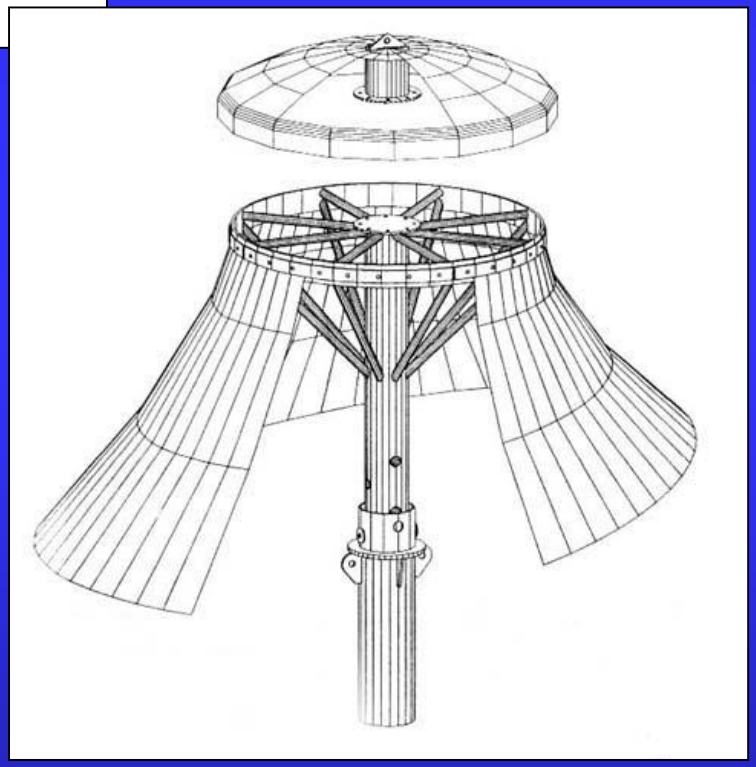
Membran-Details



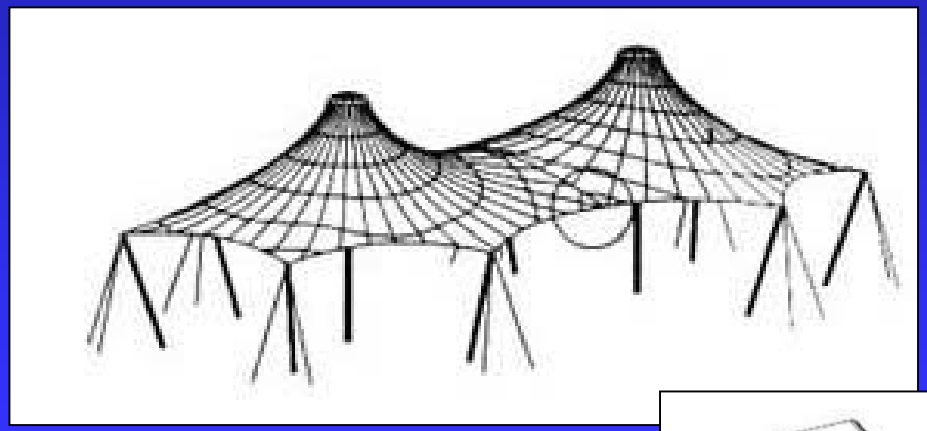


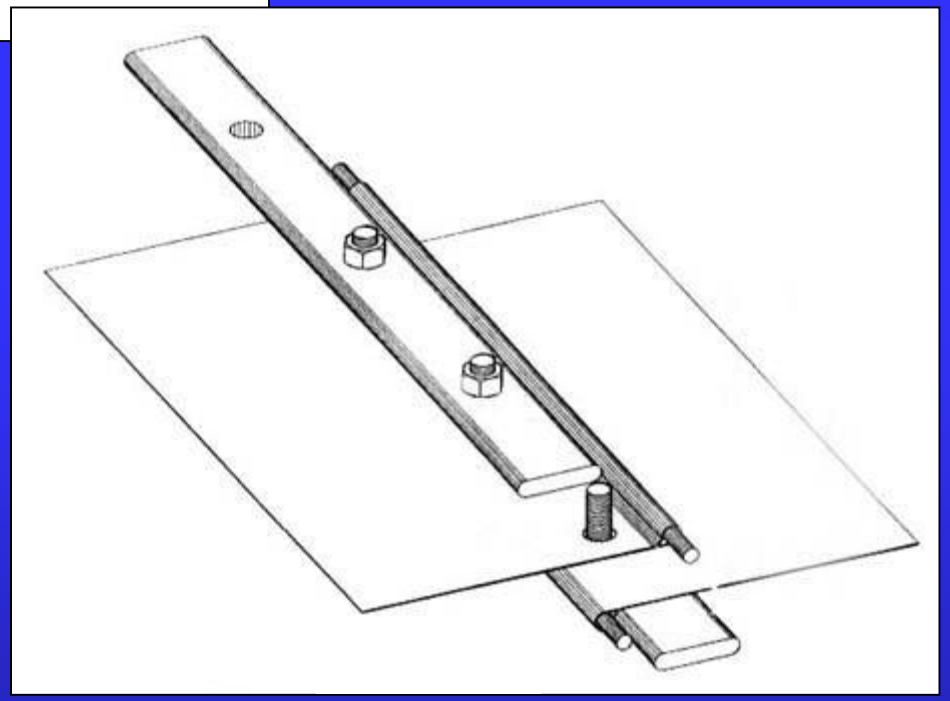
Membran-Details





Membran-Details

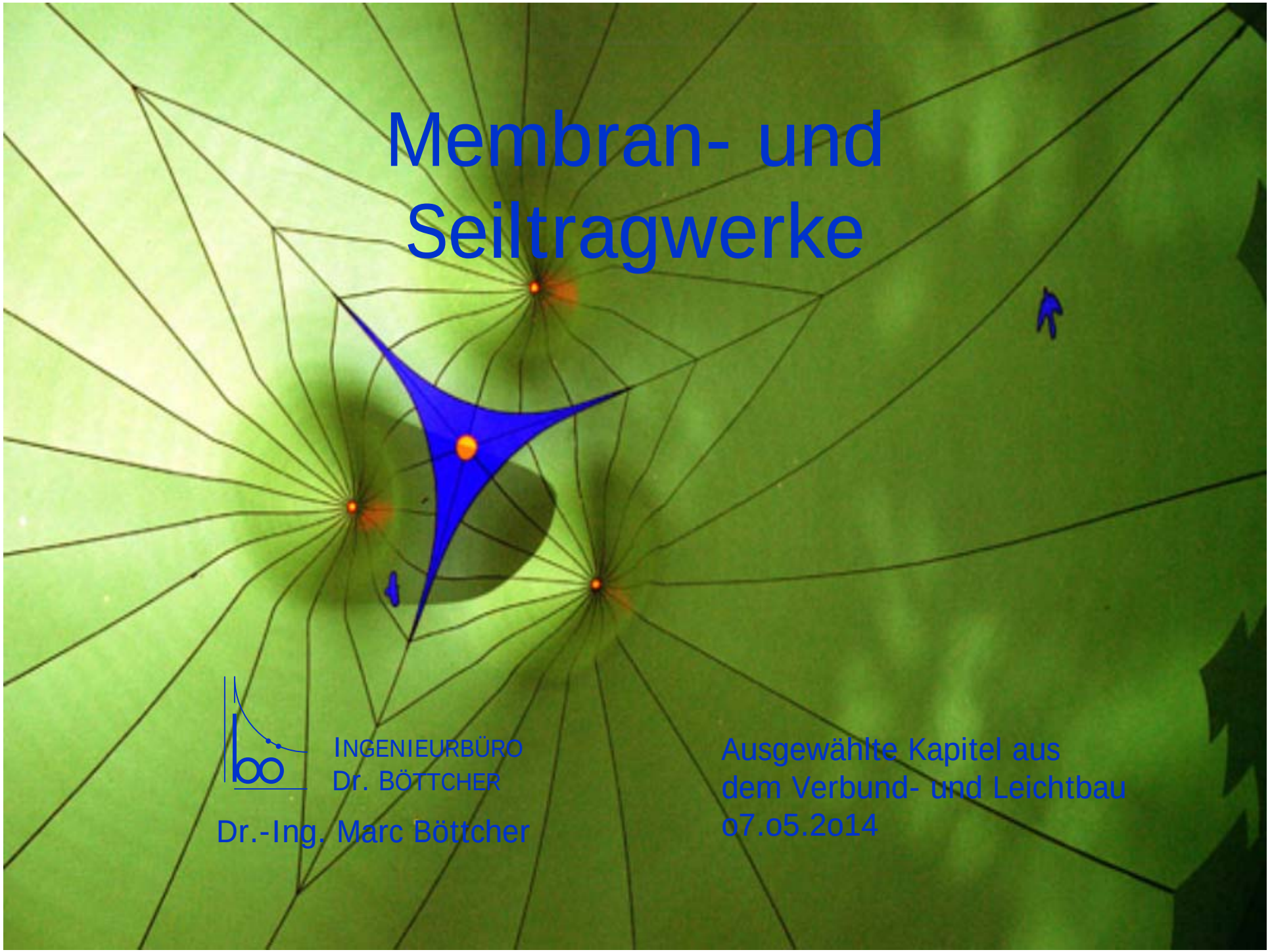




Kernpunkte

- Stahlseil
- Vorspannung
- Formfindung
- Netz- und Segelflächen
- Membrane

Membran- und Seiltragwerke



INGENIEURBÜRO
Dr. BÖTTCHER

Dr.-Ing. Marc Böttcher

Ausgewählte Kapitel aus
dem Verbund- und Leichtbau
07.05.2014