

**Zeitschrift:** Tec21  
**Herausgeber:** Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein  
**Band:** 143 (2017)  
**Heft:** 40: Stoff und Raum I : über das Stoffliche

**Artikel:** Raumüberspannende Membranen  
**Autor:** Ekwall, Thomas  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-737410>

### **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:** 31.03.2025

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



STOFF UND TRAGWERK

# Raumüberspannende Membranen

Stoffe sind eine wesentliche Inspirationsquelle für die Leichtbauweise. Dank dem Einsatz synthetischer Folien lassen sich ihre Eigenschaften in raumbildende Tragwerke übertragen – allerdings nur bedingt. Wenn Stoff jedoch als Metapher aufgegriffen wird und andere Materialien zum Einsatz kommen, öffnen sich ungeahnte Möglichkeiten.

Text: Thomas Ekwall



Der Baldachin in Reinform:  
Pavillon für die Expo 1998 in Lissabon.

**B**eim Bauen mit Stoff schwebt dem Bauingenieur in der Regel ein Membrantragwerk vor – eine druck- und biegeeweiche Fläche, die reine Zugkräfte überträgt. Darin enthalten ist das Versprechen absoluter Effizienz: Schliesslich weiss er, dass ein solches Bauteil aus Glasfaser, würde man es aufhängen, 133 km hoch sein müsste, bevor es unter seinem Eigengewicht auf Zug versagen würde (die sog. Reisslänge). Andererseits befürchtet er, dass die Membran instabil oder dynamisch erregt wird, sobald diese Tragwirkung unter ungünstig wirkenden Lasten nicht mehr aktiviert werden kann.

Der breite Einsatz von Stoffen für Membrantragwerke setzt deshalb ihre Formstabilität voraus, einen Zustand permanenter Zugspannung, der trotz unterschiedlich gerichteten Beanspruchungen wie Schnee oder Windsog gewährleistet bleibt. Dieser Zustand lässt sich nur über Vorspannung mit Hilfsmitteln künstlich erzeugen, da die stabilisierenden ständigen Einwirkungen einer Folie – etwa ihr geringes Eigen-

gewicht – vernachlässigbar sind. Das Hilfsmittel kann Luftdruck senkrecht zum Stoff sein, wie bei den pneumatischen Tragwerken, oder vorgespannte Seile, die punktuell oder linienförmig am Stoff ziehen.

Statt sich mit den Tücken von Textilien auseinanderzusetzen, lassen sich manche Architekten und Ingenieure eher von den raumbildenden Qualitäten des Stoffs inspirieren als vom Material selber. Sie übersetzen die Effizienz von Membrantragwerken in andere Baustoffe und können die Probleme der Formstabilität so raffiniert umgehen.

### Hochwertig konfektioniert

Im Bauwesen war der Einsatz von Stoffen lange Zeit eingeschränkt. Membranen pflanzlichen oder tierischen Ursprungs sind witterungs- oder lichtempfindlich. Wegen ihres Kriechverhaltens und der geringen Zugfestigkeit lässt sich keine dauerhafte Vorspannung einbringen, die ihre Formstabilität gewährleisten würde. So bilden die ursprünglichen Stofftragwerke – Baldachine und Zeltblachen – eine schlaffe Haut, die regelmässig durch eine Unterkonstruktion abgestützt werden muss und unter Wind gelegentlich ins Flattern kommt.

Ausschlaggebend für den Durchbruch der raumbildenden Tragwerke aus Stoff war die Entwicklung der synthetischen Folien ab Ende der 1960er-Jahre. Im Bauwesen bestehen diese in der Regel aus einem Gewebe (Polymer- oder Glasfaser), das mit einer Haut aus Plastomeren (PVC, ETFE, PTFE) beschichtet wird. Während das Gewebe der Folie ihre Festigkeit und Elastizität verleiht, stellt die Beschichtung eine wasser- und schmutzabweisende, UV-beständige Schicht dar, die eine Lebensdauer von 20 bis 50 Jahren ermöglicht. Noch wichtiger: Die leistungsfähigen Folien können mit Vorspannverfahren kombiniert werden, um dauerhafte, formstabile Tragwerke mit grösseren Spannweiten zu bilden.

Nach 50 Jahren reger Bautätigkeit hat sich um diese Prinzipien eine eindrucksvolle Grammatik der Form- und Raumsprache entwickelt. Allerdings bleibt das Formvokabular auf die antiklastisch und synklastisch gespannten Flächen beschränkt (Abb. S. 30, ①–⑥) die sich auch noch selten miteinander kombinieren lassen.

### Antiklastisch gezerrt

Bei den antiklastischen, gegensinnig gekrümmten Flächen befindet sich jeder Punkt der Membrane auf der Kreuzung einer konkaven und einer konvexen Hauptachse (①–③). Solche Flächen sind besonders formstabil, da sämtliche Auslenkungen aus der Ebene Zugspannungen in einer der Hauptachsen verursachen. Die Vorspannung wird vorzugsweise in der Ebene durch eingenähte Randseile erzeugt. Antiklastische Flächen können aneinandergereiht werden und Öffnungen integrieren, indem Rahmenbedingungen wie Maste, Ringauflager, Kehl- und Gratseile hinzugefügt werden. Auf diese Weise wurde eine Vielzahl unterschiedlicher Grundrisse mit beachtlichen Weiten überspannt.

## Synklastisch aufgeblasen

Bei den synklastischen, gleichsinnig gekrümmten Flächen befindet sich jeder Punkt der Membran auf der Kreuzung zweier konvexer Hauptachsen (4–6). Das Gleichgewicht solcher Flächen wird nicht durch Vorspannung in der Ebene erreicht, sondern durch Kräfte gewährleistet, die nach aussen gerichtet den Membranzug aktivieren. Das ist das Prinzip von pneumatischen Konstruktionen, bei denen Form und Stabilität durch einen permanenten Überdruck im Innenraum erzeugt werden, der von entgegengerichteten Kräften wie etwa Schneedruck nie getilgt werden darf.

Die Grösse dieses Innenraums reicht von der wenige Quadratmeter grossen Zelle eines ETFE-Kissens bis hin zur Traglufthalle, die ein Fussballfeld umfasst (Abb. S. 31 rechts unten). Um grössere Spannweiten bei gleichbleibender Höhe zu ermöglichen, müssen die Krümmungsradien der Membran klein gehalten werden. Der Pneu wird dann in kleinere Felder mit geringeren Krümmungsradien unterteilt. Dies kann punktuell durch im Boden verankerte Zugseile mit Pilzkopf erfolgen oder linear mittels gespannten Kehlseilen in der Membranebene. So entstehen auch mit synklastisch geformten Flächen unterschiedliche raumbildende Tragwerke.

## Das Tabu des Faltens

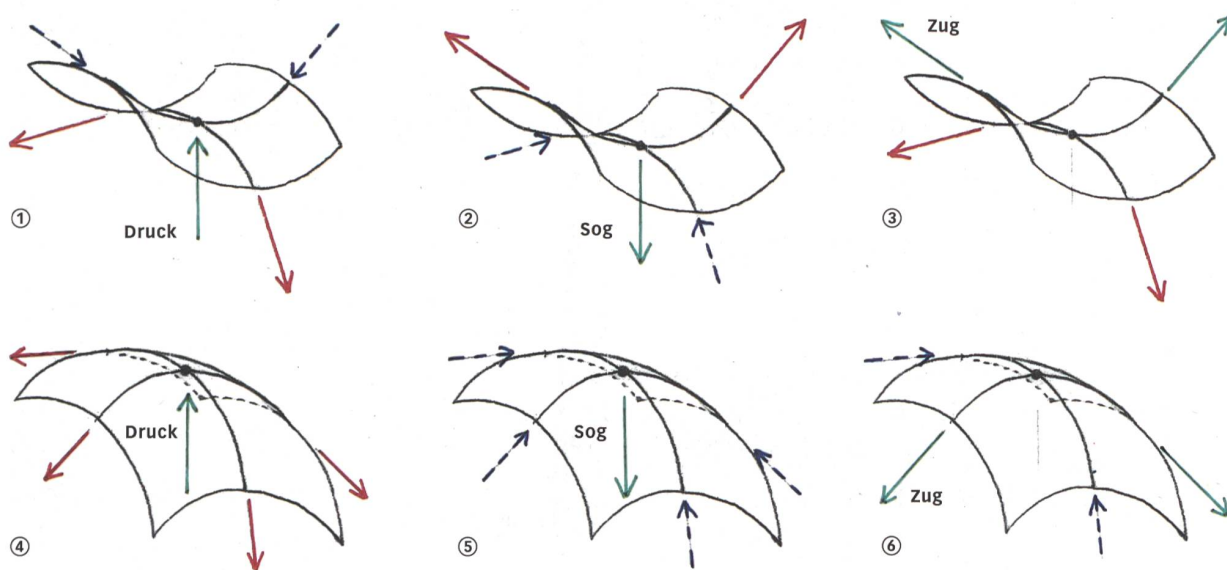
Die bisher dargestellten Ansätze setzen die Formstabilität als statische Rahmenbedingung voraus und wagen daher nicht von der straff gespannten Haut abzuweichen. Das Falten, Raffen und Knittern mag in der Haute Couture seinen Reiz haben, doch bei den raumbildenden Tragwerken aus Stoff wird es mit allen Mitteln vermieden: Schlawe Bereiche, dynamische Schwingungen, grosse Verformungen, gar Kollaps wären die Folgen

solcher Eskapaden. Leider sind Faltungen eine Randerscheinung beim Bauen mit selbsttragenden Stoffen: Man sieht sie nur im Montagezustand oder während sich Schirmdächer und Velakonstruktionen entfalten (Abb. S. 31 Mitte links). Sobald sie ausgewickelt werden und funktionstüchtig sein müssen, nehmen sie ihre charakteristische, gespannte Form an.

## Netzstrümpfe aus Stahl

Es gibt jedoch Auswege aus dem Formenkorsett, das dem Prinzip der Formstabilität durch Vorspannung innewohnt. Wenn der Stoff auf seine tragende Eigenschaft als Membran reduziert wird – also dem Prinzip der Leichtbauweise treu bleibt, jedoch mit anderen Materialien umgesetzt wird –, dann öffnen sich ungeahnte räumliche Möglichkeiten, und es entstehen überraschende Tragwerke.

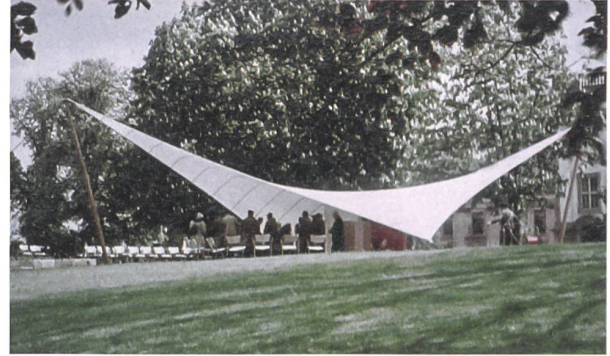
Am naheliegendsten sind die Seilnetzkonstruktionen, die direkt mit den Stoffkonstruktionen verwandt sind. Das Geflecht aus gebündelten Stahllitzen wirkt statisch als Membran. Statt des Gewebes aus Schuss- und Kettfäden werden isometrische, grobmaschige Netze mit drehweichen Knoten konstruiert. Ein wesentlicher Vorteil gegenüber dem Gewebe, denn dank der freien Verzerrung von rechteckigen Maschen zu Rauten lassen sich ebene Seilnetze ohne Zuschnitt zu zweifach gekrümmten Flächen formen. Dank der Ausführung in Stahl können deutlich grössere Spannweiten umgesetzt werden. Mit dem Institutspavillon in Stuttgart (1966) schaffte der Architekt Frei Otto den Übergang vom tragenden Stoff zum Seilnetz (Abb. S. 31 links oben). Beim Pavillon in Montreal (1967) diente ihm Folien noch als aufgehängte, sekundäre Bauteile. Beim Dach des Münchner Olympiastadions (1972), das Frei Otto zusammen mit dem Ingenieur Fritz Leonhardt errichtete, wurde die Hülle gänzlich mit Acrylglaspaneelen bedeckt und op-



1 bis 3: Dank der **antiklastischen Form** entsteht unter jeder Art von Beanspruchung eine stabilisierende Zugspannung (rot)  
4 bis 6: Die **synklastische Form** benötigt Druck senkrecht zur Ebene, damit stabilisierende Zugspannungen (rot) entstehen.



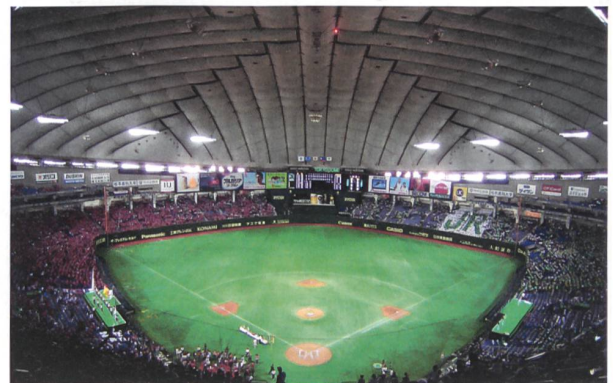
Institut für Leichte Flächentragwerke in Stuttgart: der Architekt Frei Otto übertrug die Membrantragwirkung des Stoffs auf das Seilnetz aus Stahl. Die Dachhaut aus Eternit und gedämmter Holzschalung erfüllt nur eine sekundäre Tragfunktion.



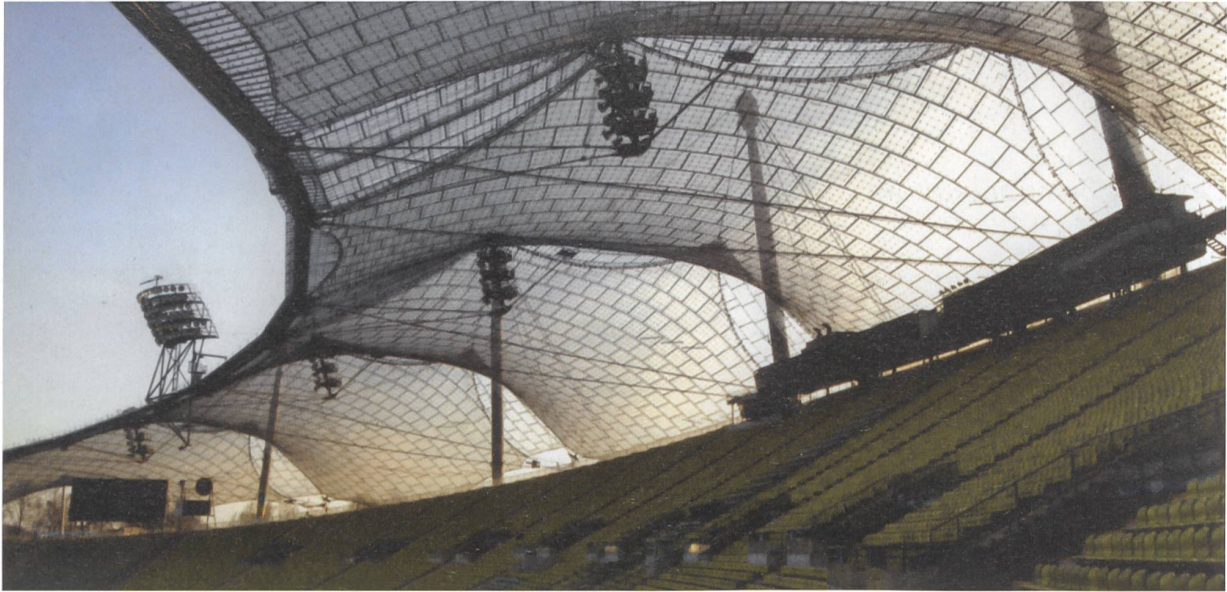
Oben: Die antiklastisch gespannte Membrane in Reinform: Der Pavillon der Bundesgartenschau in Kassel.  
Darunter: Durch Aneinanderreihung können grosse Flächen überspannt werden, wie beim Flughafen in Denver.



Oben: Provisorisch gefaltet: Überdachung der Kirchenruine in Bad Hersfeld während der Abwicklung der Membran.  
Darunter: Spannbeton-Hängedach des Stadttheaters Basel mit der Analogie zum gefalteten Baldachin im Bereich der Oblichter.



Oben: ETFE-Kissen als Anwendung des pneumatischen Prinzips bei Fassadenelementen. Schwimmhalle «Water Cube» in Peking.  
Darunter: Durch Überdruck des Innenraums wird die Überdachung des «Tokyo Dome» in Form gehalten.



Überdachung der Tribünen des Olympiastadions in München mit Seilnetz und entmaterialisierter Dachhaut aus Acrylpaneelen.

tisch entmaterialisiert (Abb. oben). Das moderne Zelt-dach kommt also ohne Stoff aus, kann die Verwandtschaft mit ihm aber nicht leugnen. An dieser Stelle sei auch auf die Vorgänger der Seilnetze aus Eisen hingewiesen. Für eine Ausstellung in Nischni Nowgorod errichtete der Ingenieur Vladimir Schuchow 1896 eine Rotunde mit einem ringförmigen Hängedach aus kreuzweise verlaufenden, zusammengenieteten Band-eisen. Leider hat dieses Bauwerk die Zeit nicht überdauert.

### Baldachine aus Beton

In den 1960er-Jahren entstanden statisch und formal überzeugende Hängedächer aus Spannbeton. Hier ist insbesondere das Dach des Theaters Basel zu erwähnen: Der Ingenieur Heinz Hossdorf und die Architekten Schwarz und Gutmann suchten eine explizite Analogie zum Baldachin (vgl. TEC21 43/2014 und Abb. S. 31 links unten). Mit dem plastisch formbaren Material Beton erlaubten sie sich sogar Faltungen der stark beanspruchten Membran, die in Oberlichtern an der Fassade mündeten. Aus statischer Sicht waren die Faltungen heikel, da sich die Zugkräfte tendenziell in den vertikalen Betonscheiben konzentrieren und sich schlaffe Bereiche im Hängedach bilden – wie zwischen punktuell gehaltenen, gespannten Stoffen. So wird die dünne Betonplatte örtlich auf Biegung beansprucht, der sie nur bedingt standhalten kann. Solche formale Abweichungen vom reinen Hängedach bleiben bis heute eine Randerscheinung.

### Reiz der Metapher

Der 1998 errichtete Pavillon von Ingenieur Cecil Balmond und Architekt Álvaro Siza in Lissabon (Abb. S. 28) zeigt eindrucksvoll, wie der Spannbeton durch metapho-rische Annäherung das Wesen des Stoffs sublimieren

kann: Ein solches Hängedach könnte aus dynamischen Gründen nie aus Stoff erstellt werden. Dass hier aber ein Material zum Einsatz kommt, das weder leicht noch in sich zugfest ist, widerspricht unserer Intuition. Zudem wird das Prinzip der formstabilisierende Vorspannung neu interpretiert: Statt Zug- wird dem Beton eine künstliche Druckkraft zugefügt, weil eine überdrückte Betonplatte biegesteif ist und Zugkräfte aufnehmen kann. Die Masse des Materials wirkt sich vorteilhaft aus, da sein Eigengewicht nie von abhebenden Kräften wie etwa Windsog übertroffen wird. Auf die zusätzliche Vorspannung durch antiklastische Formgebung kann hier verzichtet werden. So gelingt dem schlichten Baldachin ein beachtlicher Massstabssprung, ohne dass er die Poesie seiner ursprünglichen Form verliert.

Stoff in der Form von synthetischen Folien hat einen eigenen Platz als raumbildendes Tragwerk in der gebauten Umwelt eingenommen. Die stofflichen Eigenschaften und der Massstabssprung vom Kleid zum Bauwerk lassen sich aber auch mit anderen Materialien bewältigen – wenn nicht gar besser. •

*Thomas Ekwall, MSc. EPFL Bau-Ing., MAS ETHZ Arch.,  
Korrespondent TEC21; info@tekwall.ch*

#### Weiterführende Literatur:

Michael Seidel: *Textile Hüllen. Bauen mit biege-weichen Tragelementen.* Berlin 2008.

Diether S. Hoppe: *Freigespannte textile Membran-konstruktionen.* Wien 2007.

Walter Scheiffele et al.: *Das leichte Haus. Utopie und Realität der Membranarchitektur.* Dessau 2015.

Winfried Nerdinger et al.: *Frei Otto. Das Gesamtwerk: Leicht bauen – natürlich gestalten.* Basel 2005.