

# Lexikon

*Pneu – Membran*

*s t a t i k m o b i l*

**Alphabetisch** geordnet findet ihr hier Informationen, die euch beim Bearbeiten der einzelnen Aufgaben helfen.

**WICHTIG:** Alle in **Grau** gehaltenen Begriffe sind unter dem jeweiligen Anfangsbuchstaben zu finden und ebenfalls beschrieben.

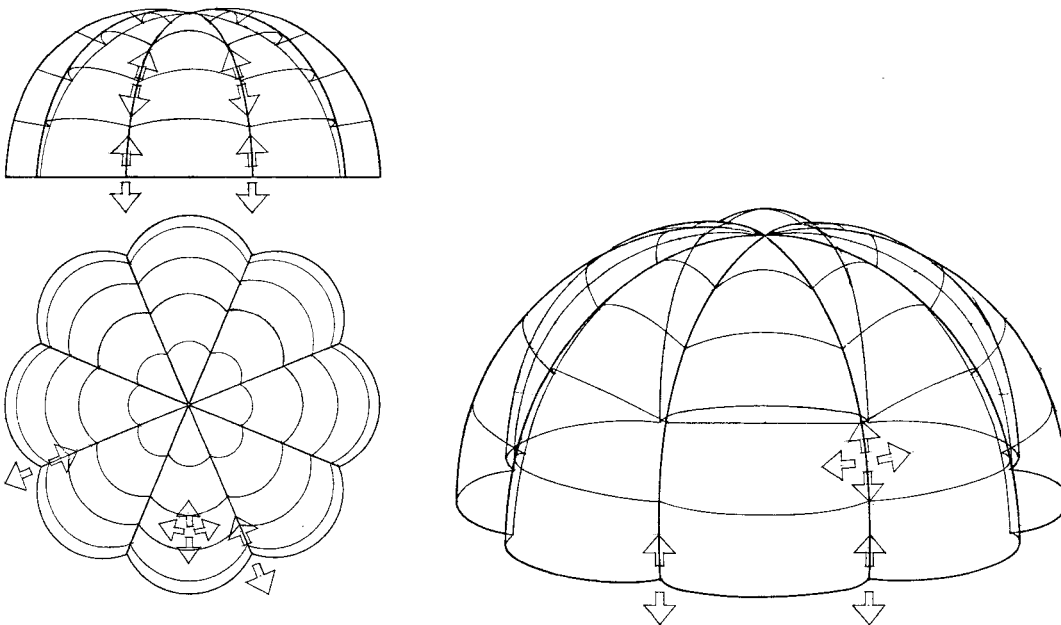
!!! Bitte NICHT ins Lexikon schreiben !!!

## Aa

### Abspannanker (Erdanker)

Fixiert die Kehlseile unter der Erdoberfläche.

### Abspannung



### Aerostatik

„Lehre von den Gleichgewichtszuständen ruhender Gase, unter Einwirkung äußerer Kräfte...“  
(Brockhaus Lexikon Bd.1)

### Ankerpunkt (Abspannpunkt)

Ist jene Stelle, an der eine Verankerung im Boden eine Konstruktion sichert.

### Ankerpunktabstand

Ist der Abstand zwischen den Ankerpunkten.

### Ankerring

Meist kreisförmig angeordnete Verankerung.

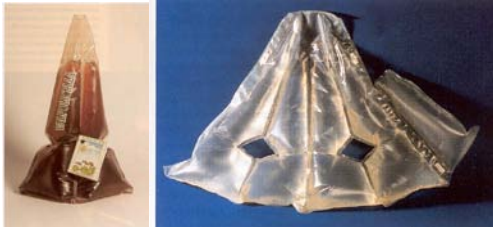
## Anwendungen (diverse)



Brillenetui – Porsche design



Theke



Weinsack



Bühne



Leuchtsäule



Fesselzeppelin



Luftkissenboot



Leinwand

## Bb

Bar

= die Einheit des Drucks.

**1 bar = 10.000 PA (Pascal)**

1 bar entspricht dem mittleren Luftdruck auf Meereshöhe.

## Barometer

= Messgerät für den Luftdruck



## Baustoff

Als Baustoffe dienen in der Pneumatischen Konstruktion Membrane mit hoher Reiß- bzw. Zugfestigkeit (zwischen 50 und 150 kNm<sup>-1</sup>) und Beständigkeit gegenüber äußeren Einflüssen (Licht, Kälte, Hitze, ...).

Die in Frage kommenden Baustoffe werden unterteilt in isotrope und anisotrope Stoffe:

- **Isotrope Stoffe** weisen in alle Richtungen die gleiche Festigkeit und Dehnung auf (z.B.: Kunststofffolien, Vliese, Gummihäute, Metallfolien)

## Folien

Sie gehören zu den **isotropen** Stoffen, die eine geringe Reißfestigkeit mit sich bringen und somit die maximale Spannweite für lastabtragende Konstruktionen begrenzt ist. Folien werden im Außenbereich vorwiegend für Kissen eingesetzt.

### ETFE – Folien (Ethylen – Tetrafluorethylen)

Für lastabtragende Anwendung im Außenbereich geeignet

Hochgradig UV-stabil und UV-transparent

Sehr langlebig (über 30 Jahre)

Durch extrem hohe Oberflächenspannung, selbstreinigende Oberfläche

Schwer entflammbar

Thermisch schweißbar, recyclebar

### THV – Folien

Mit ETFE – Folien vergleichbare Eigenschaften, aber geringere Reißfestigkeit

### PVC – Folien

Nicht für lastabtragende Anwendungen im Außenbereich geeignet

Geringe Festigkeit und Dehnsteifigkeit

Geringe UV – und Hitzebeständigkeit, nicht alterungsbeständig

Transparent und milchig herstellbar (hohe Transluzenz)

Für Innenraumanwendungen

Knicken erzeugt „Weißbrüche“!<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Vgl. „ Skript zum Seminar - Bubble gums“ S. 7 - 10

- **Anisotrope Stoffe** dagegen besitzen orientierte Eigenschaften, lassen sich z.B.: dehnen sich nur in eine Richtung (z.B.: Gewebe, Gitterfolien).

### Beschichtete Gewebe

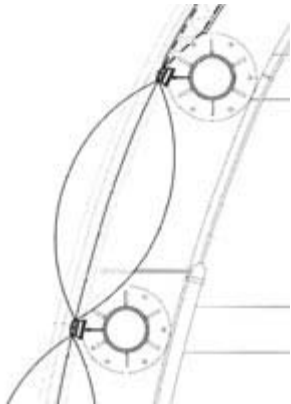
Da Gewebe durch die Herstellungstechnologie Kett- und Schussrichtung aufweisen, haben sie anisotropes Materialverhalten.

Beschichtete Gewebe sind Verbundstoffe. D.h. sie bestehen aus einem Grundgewebe, das die Festigkeit, Steifigkeit und Schubnachgiebigkeit gewährleistet und aus der Beschichtung, die für die Dichtigkeit und Wetterbeständigkeit sorgen soll.

Gewebe bestehen aus verflochtenen Fäden, die aus Naturfasern, mineralischen Fasern, Synthefasern oder metallischen Fasern bestehen. Für die Membranwerkstoffe sind besonders die **Synthefasern Polyamid, Polyester** (z.B.: TREVIRA), **Aramid** (z.B.: KEVLAR) und **Glasfasern** geeignet.

Vorwiegend werden im textilen Bauen PVC – oder PTFE – Beschichtungen eingesetzt. Sie schützen gut vor den schädlichen Umwelteinflüssen wie Licht und Feuchtigkeit und weisen Dichtigkeit auf. PVC – Beschichtungen sind jedoch sehr alterungsempfindlich und benötigen eine zusätzliche Deckschicht aus Lackierungen bzw. Laminierungen.

In der Regel bestehen die Membrane aus synthetischen Textilwerkstoffen, auf die eine wasserdichte Beschichtung aus PVC, Polyäthylen, Butylkautschuk o.ä. aufgetragen wird.



konstruktiver Detailschnitt einer pneumatischen Kissenmembran

### Belastung

Siehe Last

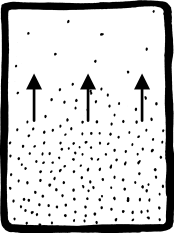
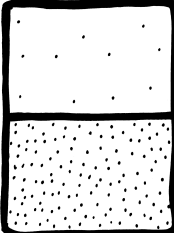
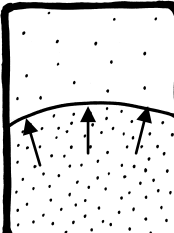
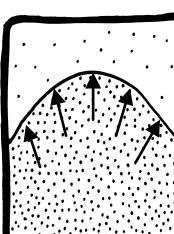
### Dd

### Druck

Siehe Luftdruck

## Druckdifferenz

Gase (z.B. Luft) können zusammengedrückt – komprimiert werden und können dadurch unterschiedliche Druckzustände – Dichte – einnehmen (= Luftdruck).

	<p><b>keine Trennung der unterschiedlichen Dichtmassen</b></p> <p>dadurch ist ein freier Ausgleich des Druckunterschieds durch Strömung der Luft mit höherem in die mit niederem Druck möglich.</p>
	<p><b>feste Trennschicht zwischen den Dichtmassen</b></p> <p>Ein Druckausgleich ist nicht möglich - die Druckunterschiede bleiben erhalten.</p>
	<p><b>flexible Trennschicht (Membran) zwischen den Dichtmassen mit geringer Druckdifferenz</b></p> <p>Ein Druckausgleich ist nicht möglich - die Druckunterschiede bleiben erhalten. Allerdings wölbt der etwas höhere Druck die flexible Trennschicht leicht in Richtung niederen Druck.</p>
	<p><b>flexible Trennschicht zwischen den Dichtmassen mit hoher Druckdifferenz</b></p> <p>Ein Druckausgleich ist nicht möglich - die Druckunterschiede bleiben erhalten. Allerdings wölbt der stark höhere Druck die flexible Trennschicht weit in Richtung niederen Druck.</p>

Druckunterschiede (Druckdifferenz) versucht die Natur automatisch auszugleichen, indem das Medium höherer Dichte in Richtung des Mediums niederer Dichte strömt. Trennt eine flexible Schicht (z.B. Membran) zwei Medien unterschiedlicher Dichte = unterschiedlichen Drucks, so wölbt das Medium mit höherem Druck die Schicht in Richtung des niederen Drucks aus. Je nach Größe des Druckunterschieds wölbt (drückt) das dichtere Medium die Trennschicht (z.B. Membran) stärker oder weniger stark aus. Die Trennschicht wird durch den Druckunterschied in Form und Lage stabilisiert.

Pneumatische Konstruktionen sind **durch Druckdifferenz flächig stabilisierte Tragwerke**. Die Druckdifferenz ist dabei für die Tragfunktion erforderlich und somit das stabilisierende Medium Bestandteil der Konstruktion.

Bei Hochdrucksystemen beträgt die Druckdifferenz im Allgemeinen 0,2 bis 7,0 bar, bei Niederdrucksystemen beträgt die Druckdifferenz der durch die Membrane getrennten Medien im Allgemeinen 0,001 bis 0,01 bar.

## Ee

### Eingang

Bei Eingängen in pneumatischen Bauten muss ein möglicher Druckabfall beim Durchschreiten unbedingt verhindert werden. Als Lösungen sind Luftschleusen mit Doppeltüren und mehrflügelige Drehtüren in der Pnehaut in Verwendung.

## Ff

### Formaktive Tragsysteme

Sind Systeme aus flexibler, nicht steifer Materie, in denen die Kraftumlenkung durch geeignete Formgebung und charakteristische Formstabilisierung erfolgt.

Der Tragmechanismus beruht vorwiegend auf stofflicher Form. Die Strukturform entspricht im Idealfall genau dem Kräfteverlauf.

Die „natürliche“ Kräftelinie des formaktiven Drucksystems ist die Stützlinie, die des formaktiven Zugsystems die Hängelinie (Kettenlinie).

Sie lenken äußere Kräfte durch einfache Normalkräfte (Druck, Zug) um und sind somit Systeme in einfachen Spannungszuständen (Druck, Zug).

Formaktive Tragsysteme entwickeln an ihren Festpunkten horizontale Kräfte.

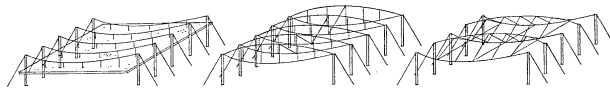
Wegen dieser Übereinstimmung mit den natürlichen Kraftverläufen eignen sich formaktive Tragsysteme ausgezeichnet für große Spannweiten in der Raumüberspannung.

Man unterscheidet **Seil** -, **Zelt** -, **Pneu** - und **Bogen** – Tragwerke

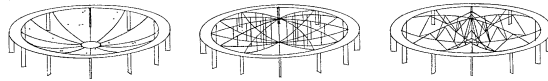
# Arten formaktiver Tragwerke

## 1.1 Seil-Tragwerke

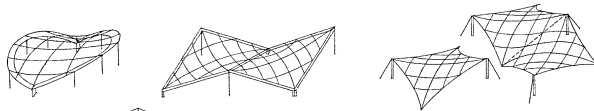
Parallele Spannensysteme



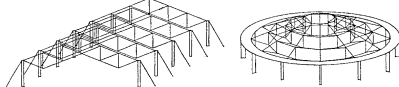
Radiale Spannensysteme



Zweischellige Spannensysteme



Seil-Fachwerke

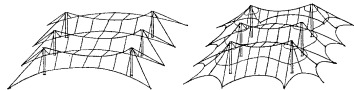


## 1.2 Zeit-Tragwerke

Hochpunkt-Zeitensysteme



Wellen-Zeitensysteme



Invertierte Hochpunkt-Zelte

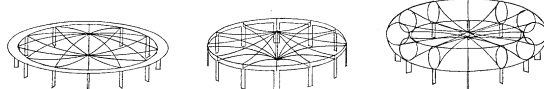


## 1.3 Pneumatische Tragwerke

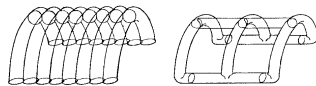
Luftballon-Systeme



Luftkissen-Systeme

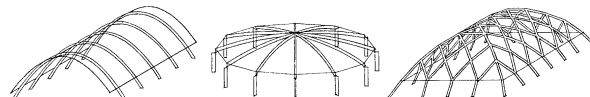


Luftschlauch-Systeme



## 1.4 Bogen-Tragwerke

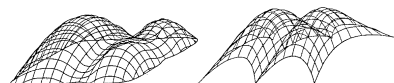
Lineare Systeme



Creuzblec-Systeme



Schmetterling-Systeme



# Aufbau und Bestandteile formaktiver Tragwerke

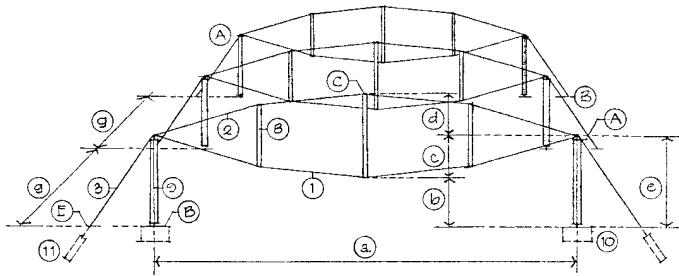
**Definition** FORMAKTIVE TRAGSYSTEME sind Tragsysteme aus flexibler, nicht-steifer Materie, in denen die Kraftumlenkung durch geeignete FORMGEBUNG und durch charakteristische FORMSTABILISIERUNG erfolgt

**Kräfte** Die Systemglieder werden dabei primär nur durch gleichartige Normalkräfte belastet, d.h. entweder auf Druck oder auf Zug: SYSTEME IN EINFACHEM SPANNUNGSZUSTAND

**Merkmale** Die typischen Struktur-Merkmale sind: KETTENLINIE (HÄNGELINIE), STÜTZLINIE, KREIS

## Bestandteile und Bezeichnungen

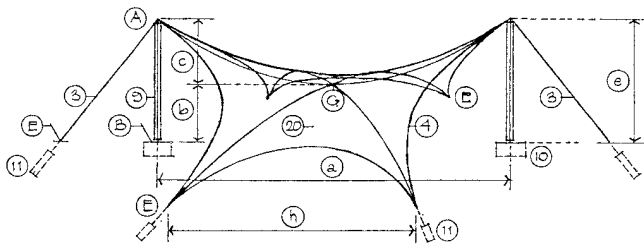
### 1.1 Seilsysteme



#### System-Glieder

- ① Tragseil, Lastseil
- ② Stabilisierungseil, Spannseil
- ③ Rückhalteseil, Abspannseil, Stag
- ④ Randseil
- ⑤ Kehlseil
- ⑥ Hängeseil
- ⑦ Zugband, Zuganker
- ⑧ Druckstab, Spreizstab
- ⑨ Stütze, Pylon, Mast
- ⑩ Fundament, Gründung
- ⑪ Erdanker, Abspannanker
- ⑫ Widerlager
- ⑬ Crelenk
- ⑭ Scheitelgelenk
- ⑮ Fußgelenk, Kämpfergelenk
- ⑯ Ankerring
- ⑰ Bogen, Stützboogen
- ⑱ Crelenkbogen
- ⑲ Strebe Pfeiler
- ⑳ Tragmembran
- ㉑ Luftschleuse
- ㉒
- ①-⑤ Funktionsseile

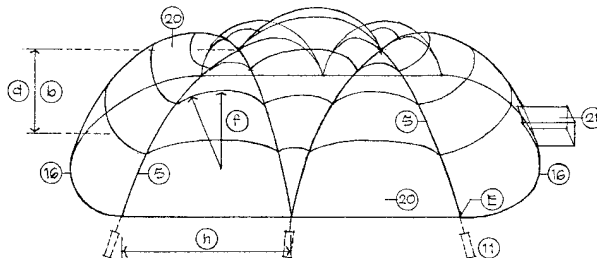
### 1.2 Zeltsysteme



#### Topografische Systempunkte

- A Aufhängepunkt
- B Fußpunkt, Basispunkt
- C Hochpunkt
- D Scheitelpunkt
- E Ankerpunkt, Abspannpunkt
- F Auflagerpunkt
- G Tiefpunkt
- H
- I

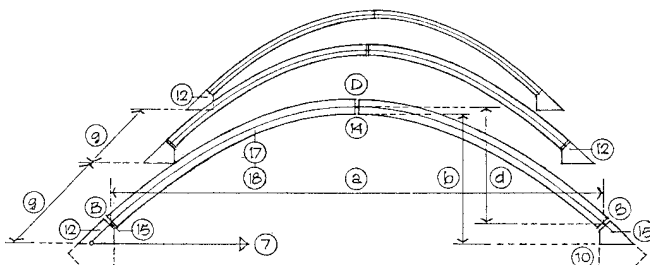
### 1.3 Pneusysteme



#### Systemabmessungen

- a Stützweite, Spannweite
- b Lichte Höhe
- c Durchhang, Pfeilhöhe
- d Stich (-höhe), Pfeilhöhe
- e Stützenhöhe
- f Krümmungsradius
- g Binderabstand
- h Ankerpunkt-Abstand
- i
- j

### 1.4 Bogensysteme



## Formbildung

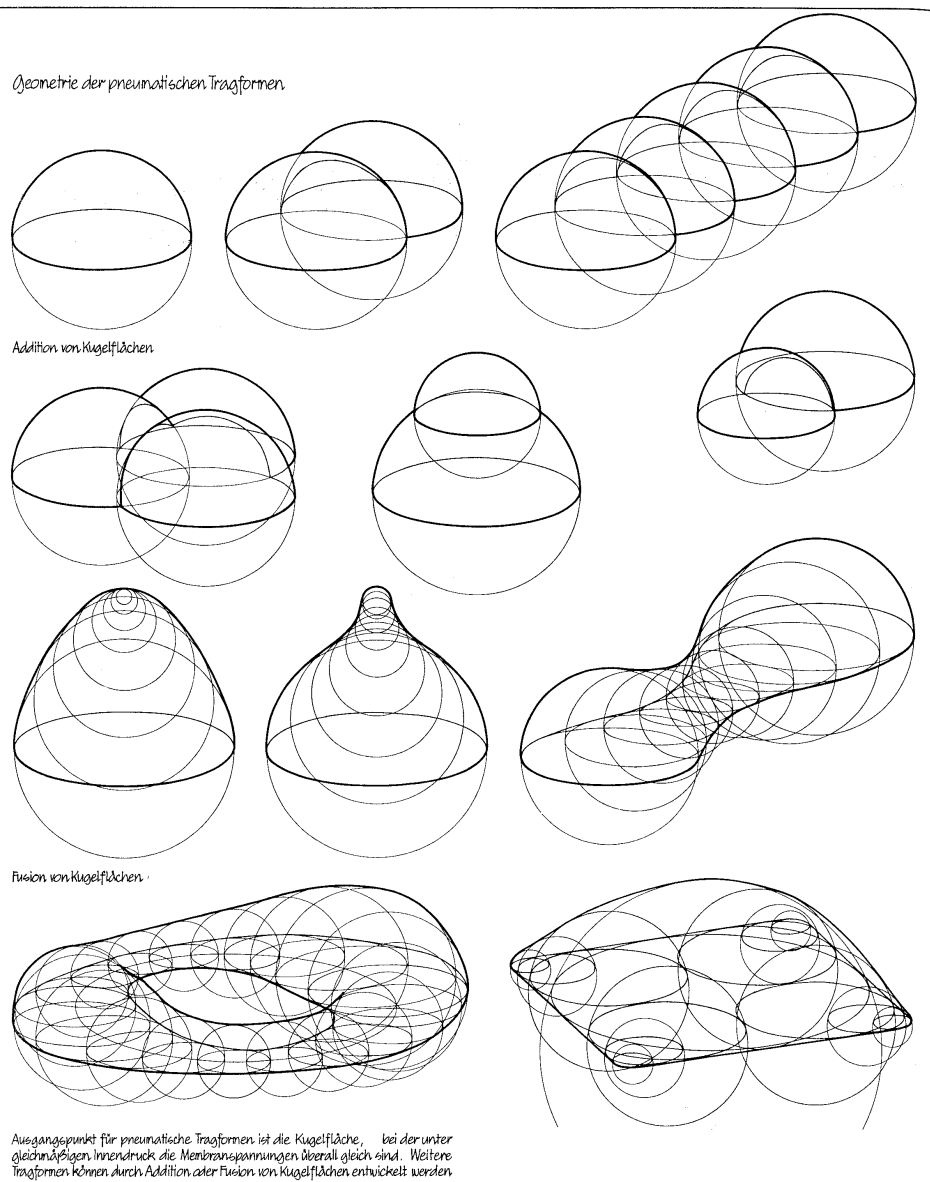
Die Kräfte eines eingeschlossenen Luftvolumens mit Überdruck sind überall gleich groß. Sie wirken in Richtung der umgebenden Hülle – also in Richtung eines möglichen Druckausgleichs.

Die aus diesem Kräftezustand resultierende Membranform ist die Grundgeometrie pneumatischer Strukturen – KUGELFLÄCHEN.

Die Kugelfläche umschließt Raum mit minimaler Oberfläche.

Die Membran in Kugelform entwickelt an jeder Stelle die gleichen Zugspannungen und bildet somit die optimale Form.

Pneumatischen Konstruktionen wird die Kugel als Ausgangsform grundgelegt.



### Spannungsharmonische Flächen:

Da Minimalflächenlösungen (Kugel) nur in wenigen Fällen nutzertechnologisch sind, müssen auch andere Formen gefunden werden.

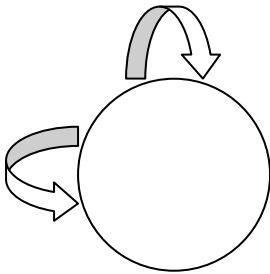
Dabei werden spannungsharmonische Flächen gesucht, um die Hauptspannungen in der Membran möglichst klein zu halten und kontrolliert abzuleiten.

Dabei gilt es durch organische Formübergänge an den Schnittstellen von Teilflächen erhöhte Spannungssprünge zu verhindern.

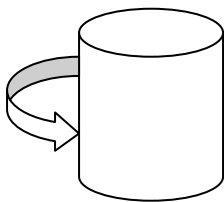
### FORMGESETZE:

Um die Größe und Form der Membrane für den Zuschnitt optimal ermitteln zu können, werden unter anderem Seifenhautmodelle. Diese haben eine äußere und innere Flüssigkeitsoberfläche. Alle mit Seifenblasen herstellbaren Formen, sind ideale pneumatische Gebilde, da sie aufgrund der Fleißfähigkeit ihrer Haut immer Formen bilden, die an **jeder Stelle der Oberfläche, in alle Richtungen, gleiche Membranspannung** aufweisen. So bilden sich innerhalb bestimmter Randbedingungen immer die **größtmöglichen Volumina** und die **kleinstmöglichen Oberflächen**. Es entstehen sogenannte Minimalflächen.

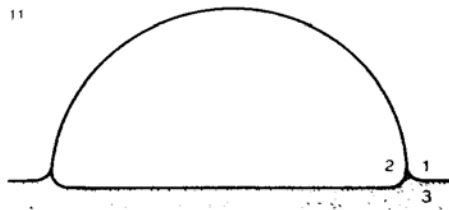
Schwebt eine Seifenblase frei im Raum, so ist sie an keine Randbedingungen gebunden – es bildet sich eine Kugelfläche als die einzige von Singularitäten freie, endliche Fläche konstanter Krümmung.



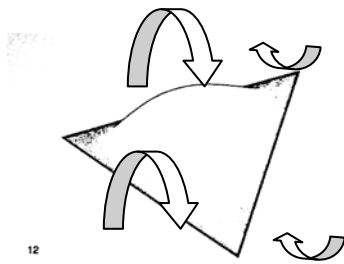
Die Krümmungsradien sind bei der Kugel **gleichsinnig doppelt gekrümmt** und werden als **synklastisch** bezeichnet.



Die Fläche eines Zylinders wird als **einfach gekrümmt** bezeichnet.



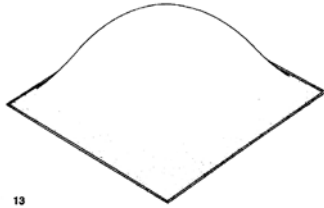
Schwimmt eine Seifenblase auf einer Flüssigkeitsoberfläche, so grenzt sie über eine Fläche an ein dichteres Medium. Die Blase bildet eine Halbkugel mit synklastisch (siehe Kugel oben) gekrümmter Form. Ihre Schnittfigur mit der Flüssigkeitsoberfläche bildet einen Kreis.



Durch die Einführung weiterer Randbedingungen lassen sich verschiedene Schnittfiguren erzeugen:

Beispielsweise mit einem drei- oder viereckigen Drahtrahmen: So bilden sich im Bereich der Ecken gegenseitig **doppelt gekrümmte** oder **antiklastische Flächen**, auch Sattelflächen genannt.

So lassen sich unzählige Formen von pneumatisch gespannten Seifenhäuten finden.

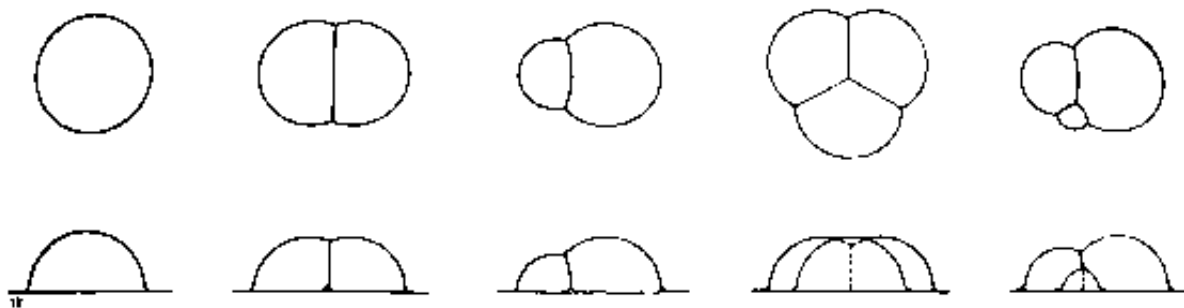


Eine Anhäufung mehrerer Blasen hat ebenfalls die Tendenz sich der Kugelform anzunähern. Bis zu vier zusammenhängende Blasen bilden, bei gleicher Größe und gleichen Innendruck, identische Kugelabschnitte, wobei alle Innenlamellen eben sind.

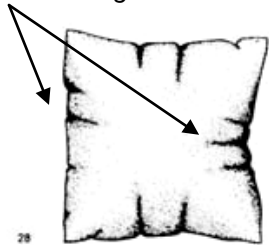
Sind die Blasen verschieden groß, so wölben sich die

Innenlamellen jeweils in Richtung der relativ größeren Blase.

Hier eine Übersicht einfacher **Blasenkombinationen**:

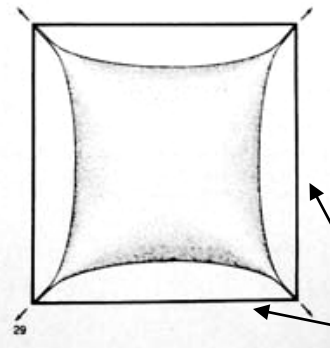


Faltenbildung



Wo bei Seifenblasen Drahtgerüste zur Formerzeugung gebraucht werden, sind auch bei pneumatischen Gebilden aus nicht oder wenig elastischem Material, besondere Randbedingungen erforderlich.

Die Spannungen an den verschiedenen Stellen der Membrane sind sonst so unterschiedlich, dass Falten entstehen.



Beispielsweise will ein Gebilde mit quadratischer Grundform, die Gestalt einer Kugel annehmen. So ist in der Richtung quer zu den Falten keine Zugspannung vorhanden und es müssen zusätzliche Tragelemente eingeführt werden.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Vgl. Herzog Thomas: „Pneumatische Konstruktionen“, S. 8 -14

# Gg

## geschlossene pneumatische Gebilde

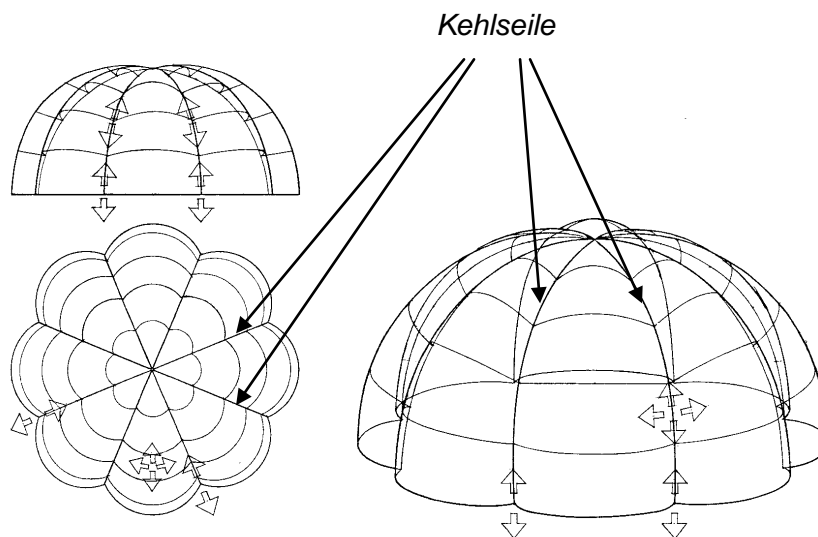
Wenn ein Überdruckraum luftdicht verschlossen oder zu verschließen ist, spricht man von geschlossenen pneumatischen Gebilden (Luftmatratze, Ball, Radschlauch, ...). (siehe offene pneumatische Gebilde).



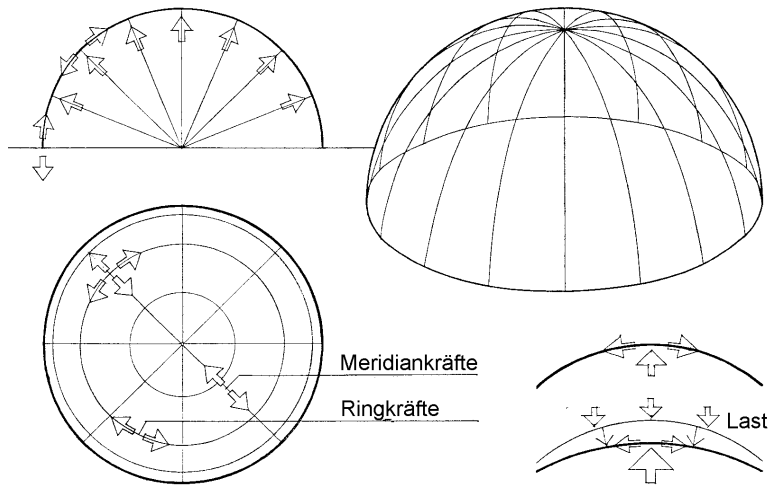
# Kk

## Kehlseil

Ist ein Seilzug, der die Membran durch Abspannung stabilisiert. Die Membranspannung wird dabei teilweise auf die Kehlseile übertragen und abgeleitet.



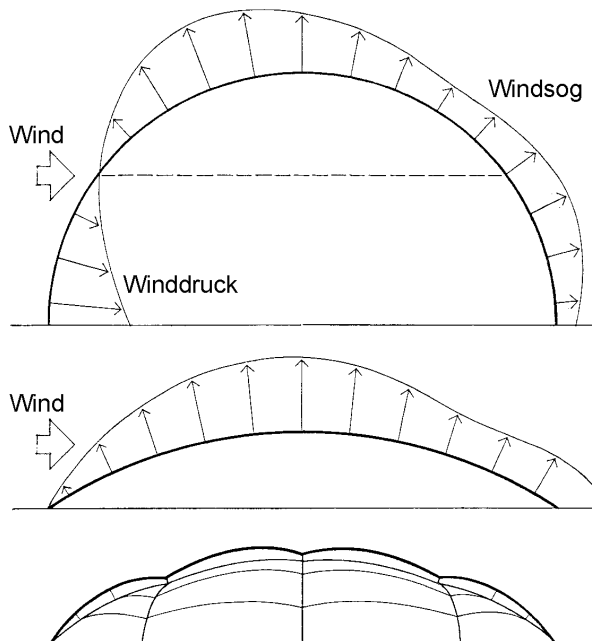
## Kräfte Meridian- und Ringkräfte



## LI

### Lasten

#### Windlasten:



## Luft

Luft hat eine **Masse von  $1,3 \text{ kg pro m}^3$** . Luft besitzt also Masse und benötigt darum auch Platz.

***Luft hat eine Masse***

***Luft kann man zusammendrücken***

Im Gegensatz zu Flüssigkeiten lassen sich Gase aber zusammendrücken – komprimieren. Daraus ergeben sich nutzbare mechanische Eigenschaften. Dabei muss eine entsprechende Luftmenge von einer zugfesten und luftdichten Hülle eingeschlossen sein und der stabilisierende Innendruck muss dauerhaft und größer als alle von außen einwirkenden Kräfte sein.

***Die Luft dient in pneumatischen Konstruktionen als tragendes Medium. Dabei beruht die Tragmechanik der Luft auf dem Widerstand der Pneu-Form gegenüber den äußeren Kräften*** (formaktiv).

Die Luft ist hier ein aktiver Teil des Tragwerks.

## Luftdruck

Druck ist als Kraft pro Fläche definiert

1 Pa = die Kraft von 1 Newton (N) auf eine Fläche von  $1 \text{ m}^2$

Nachdem Gase (z.B. Luft), im Unterschied zu Flüssigkeiten und Festen Körpern, komprimierbar – zusammendrückbar sind, können Gase nun dichter oder weniger dicht sein. Mit dem Luftdruck wird daher die **Dichtheit des Mediums Luft** beschrieben.

Druckunterschiede (Druckdifferenz) versucht die Natur automatisch auszugleichen (Osmose), indem das Medium höherer Dichtheit in Richtung des Mediums niedriger Dichtheit strömt.

*Einheiten des Luftdrucks:*

**Pascal (Pa) oder Bar (bar)**

**1 bar = 10 000 Pa**

1 bar entspricht dem äußeren Luftdruck auf der Erdoberfläche.

Mit zunehmender Höhe verringert sich der Luftdruck - auf 5.500m Höhe ist der Luftdruck z.B. halbiert (0,5 bar/5.000 Pa).

Der Außen- bzw. Umgebungsdruck der Luft resultiert aus dem Eigengewicht der darüber liegenden „Luftsäule“. Auf Meereshöhe ist er am größten (ca. 10.000 Pa oder ca. 1 bar) und nimmt mit steigender Höhe ab.

Der Luftdruck wird mit einem **Barometer** oder einem **Manometer** gemessen.

In Pneumatischen Konstruktionen wirkt die **Druckdifferenz** zwischen Innendruck und Außendruck als stabilisierend für die tragende Membranhülle.

Pneumatische Konstruktionen sind luftgestützte Tragsysteme, entweder mit einem höheren Innenluftdruck (Überdruck) oder einem geringeren (Unterdruck) im Verhältnis zum Normaldruck.

Je nach Druckverhältnis unterscheidet man bei pneumatischen Überdrucksystemen Niederdruck- und Hochdrucksysteme. Zudem sind auch Unterdrucksysteme im Einsatz.

1) **Überdruck-Systeme** nutzen den erhöhten Luftdruck zur Formstabilisierung in Raumhüllen.

2) **Unterdruck-Systeme** sind keine Tragwerkstypen, sondern dienen der Stabilisierung von tragenden (Hänge-) Membranen. Die Luft kann hier nicht formbildend eingesetzt werden und muss als solche oft durch aufwendige Stützkonstruktionen ersetzt werden.

3) **Kombinationen Über- und Unterdrucksystemen**

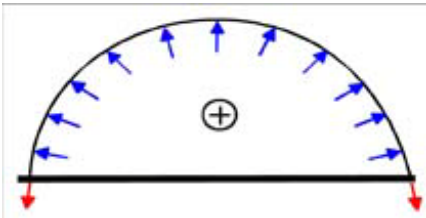
## Lufthallen - Systeme

Durch Überdruck (Traglufthallen), Unterdruck oder beidem erzeugt  
= ein Innendrucksystem.

Der Luftüberdruck im umschlossenen Raum trägt die Raumhülle und stabilisiert sie gegen angreifende Kräfte. Der Überdruckraum ist gleichzeitig Nutzraum. Der Überdruck macht Luftschleusen für Ein- bzw. Ausgangsbereiche erforderlich, um einem Druckabfall im Inneren zu verhindern.

Lufthallen sind Niederdrucksysteme mit einem Innendruck von 3 – 5 mbar. Die Membrankräfte werden an den Rändern direkt abgegeben.

Der Überdruck wird in der Regel durch einen Kompressor erzeugt.



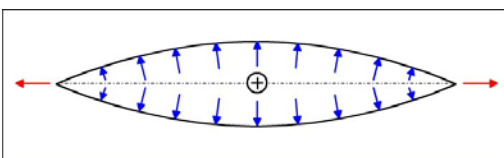
- *luftgestütztes Überdrucksystem*
- *Niederdrucksystem*
- *Innendruck: 3 - 5 mbar*
- *Lastaufnahme und Abtragung erfolgt durch permanenten Überdruck im gesamten Innenraum.*
- *Luftschleusen in Ein- und Ausgangsbereichen sind erforderlich.*
- *sehr großes Luftvolumen, das gesteuert werden muss.*

## Luftkissen – Systeme

Durch Überdruck, Unterdruck oder beidem erzeugt  
= ein Doppelmembransystem

Der Luftüberdruck im Kissen dient nur zur Stabilisierung der Tragmembrane und bildet zusammen mit der oberen Membrane einen Druckkörper. Die Aufnahme der Membrankräfte an den Rändern erfordert eine Rückhaltekonstruktion.

Auch wenn die Herstellung von Luftkissensystemen technisch aufwendiger und kostenintensiver sind, liegen die Vorteile in der besseren Wärmedämmung und der einfacheren Ausführung der Eingangsbereiche ohne Druckschleuse.



- *Niederdrucksystem*
- *Innendruck: 3 - 5 mbar*
- *keine Luftschleusen erforderlich*
- *verhältnismäßig kleines zu steuerndes Luftvolumen*
- *ein Primärtragwerk (zusätzliche Unterstützung) ist erforderlich!*

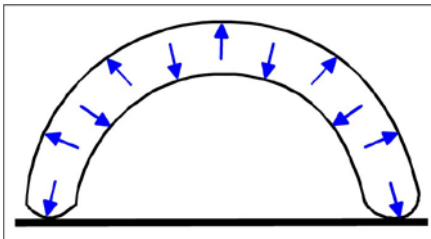
## Luftschlauch - Systeme

Als selbsttragende Raumbühne oder tragendes Skelett  
= ein Hochdrucksystem

Der Luftüberdruck stabilisiert die Schlauchform und bildet somit einen vorgespannten Luftkörper, der als tragendes Skelett für unterschiedliche raumabschließende Hüllen verwendet wird. Dies macht die Bildung pneumatischer Bögen, Säulen und Träger möglich.

Die Membrankräfte werden an den Rändern direkt abgegeben.

Der Innenraum des Tragwerkbaus weist keinen Überdruck auf, was eine bessere Nutzung und einfachere Konstruktion des Eingangsbereichs ermöglicht.



- luftgestütztes Überdrucksystem
- Hochdrucksystem
- Innendruck beträgt 500 - 1 000 mbar
- lastaufnehmende und biegetragfähige Tragwerkselemente
- keine Luftschleusen erforderlich.
- verhältnismäßig klein zu steuerndes Luftvolumen
- die Addition mehrerer Schlauchelemente und anderer Elemente erzeugt das Primärtragwerk

## Mm

### Manometer

= Messgerät für den Luftdruck



## Membran

**die Membran** und **Membrane** [lateinisch: zarte, dünne Haut]<sup>3</sup>

bezeichnet eine biegeweiche, lediglich zugbeanspruchbare Haut

„Wird eine Membrane, [...], durch die Druckdifferenz gasförmiger Medien, im Normalfall Luft, gespannt, so entsteht ein pneumatisches Gebilde. [...]

Sie krümmt sich in Richtung des weniger dichten Mediums und wird dadurch flächig in ihrer Lage und Form stabilisiert.“<sup>4</sup>

Das pneumatische Tragwerk kann entweder als **Einfachmembran-** oder als

**Doppelmembrantragwerk** ausgebildet sein. Dies hängt von der Anzahl der Membranen zwischen Nutz- und Außenraum ab.<sup>5</sup>

<p><i>Einfachmembrantragwerk</i></p>	<p><i>Doppelmembrantragwerk</i></p>
<p>Hier muss das <b>Stützmedium Luft</b> sein und eine für den Menschen <b>unschädliche Dichte</b> haben</p>	<p>Hier kann auch ein anderes Gas oder hochgradig komprimierte Luft verwendet werden, da hier keine Menschen den Raum betreten.</p>

N = Nutzraum

## Membraneigenschaften

Membrane sollen bei **geringem Eigengewicht** eine **hohe Zugfestigkeit** und **Dehnsteifigkeit** aufweisen.

Wichtig ist außerdem die dauerhafte Beständigkeit gegenüber UV-Licht, Feuchtigkeit und Mikroorganismen.

Erweiterte Anforderungen können Transluzenz (die Durchdringung von Licht) und Brandverhalten/Feuerbeständigkeit sein.

## Membranspannung

Bezeichnet die Zugspannung innerhalb der Membran.

Diese sollte gering gehalten werden

Als ideale Form für

<sup>3</sup> „Skript zum Seminar - Bubble gums“, S. 4

<sup>4</sup> Herzog Thomas: „Pneumatische Konstruktionen“, S. 8

<sup>5</sup> Vgl. Herzog Thomas: „Pneumatische Konstruktionen“, S. 8

Je größer der Krümmungsradius (= meist große Spannweite) eines Tragwerks, desto größer auch die Membranspannung. Bei größeren Überspannungsflächen würde die Belastung auf die Membran enorm ansteigen. Um dies zu verhindern wird versucht, den Membranradius durch Abspannungen (Überspannung/Unterspannung) zu verringern. Dadurch wird auch ein Großteil der Lastabtragung von der Abspannung übernommen (= primäres Element zur Lastabtragung).

*Zeichnungen engel*

Die Membranspannung wird berechnet nach der Formel

$$M = p \cdot r/2$$

M    *Membranspannung*  
p    *Innendruck*  
r    *Radius des Kugelpneus*

bedeutet:

die Membranspannung ist proportional dem Innendruck und dem Kreisradius

- je kleiner der Radius der dem Pneu eingeschriebenen Kugel ist, desto geringer ist bei gleichbleibendem Druck die Membranspannung
- je größer der Radius ist, desto stärker muss der Innendruck sein, um die benötigte Membranvorspannung zu erhalten.

### Minimalfläche

= bezeichnet das größtmögliche Volumen bei kleinstmöglicher Oberfläche.

Minimalflächen können durch Computerprogramme oder durch Analogmethoden (z.B. Seifenhautmodell) erstellt werden.

## Oo

### offene pneumatische Gebilde

Bildet eine pneumatisch belastete Membrane keinen geschlossenen Hohlraum und ist sie auch nicht an der Bildung eines solchen beteiligt, handelt es sich um ein offenes pneumatisches Gebilde. Die Membrane ist so geformt, dass sie einen Teil der Energie des angreifenden Luftdrucks auffängt (Segel, Fallschirm, Drachen, ...).<sup>6</sup> (siehe geschlossene pneumatische Gebilde).

<sup>6</sup> Vgl. Herzog Thomas: „Pneumatische Konstruktionen“, S.8

# Pp

## Pneu

Von Pneuma: [griechisch: „Hauch, Atem“]

Mz: Pneu

Pneu bezeichnet alle zugfesten und gleichzeitig biegeweichen Hüllen, die gemeinsam mit einer gasförmigen Füllung ein konstruktives System bilden.

Auftretende Kräfte werden darin mit geringem Materialaufwand abgeleitet.

## Pneumatik

= Teilgebiet der Mechanik, das sich mit dem Verhalten von Gasen beschäftigt

## pneumatisch

= luftgefüllt, mit Luftdruck betrieben, Luft (techn.)

## Pneumatische Tragwerke

Zählen zu den zugbeanspruchten Konstruktionen

Vorteile: Einfacher Transport durch geringe Tragwerksmasse

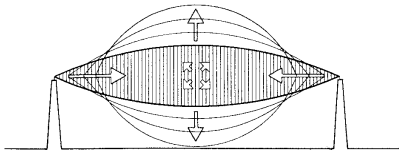
Kurze Bauzeiten durch leichte Montage und Demontage

Anwendungen: Überdachung von Sportanlagen (Fußball-, Tennis-, Reithallen), als Lagerhalle, Gewächshaus, Radarstation, ...

# Rr

## Rückhaltesystem

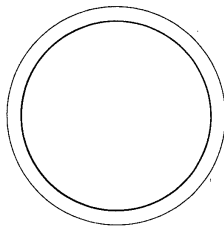
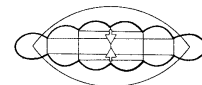
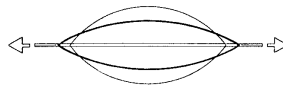
Rückhaltesysteme verhindern das kugelförmige Aufbauchen der Mitte infolge des hohen Innendrucks.



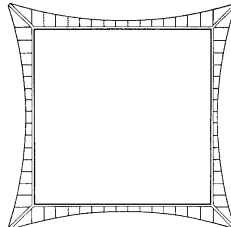
Rückhalte-Systeme der Luftkissen

Durch unteren Abschluß des Oberdruck-Raumens mit zweiter Membrane (statt Einbeziehung des Fußbodens) können Räume überspannt werden, die nach außen offen sind. Voraussetzung für die Tragmechanik ist, daß kugelförmiges Aufbauchen der Mitte infolge Innendruck verhindert wird.

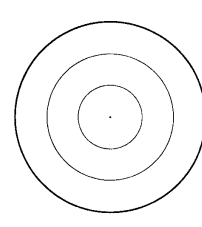
Rückhalte-Systeme der Luftkissen



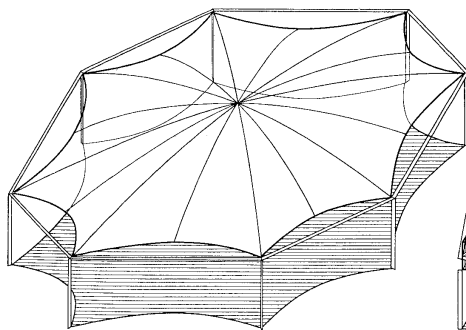
Randbefestigung mit Druckring



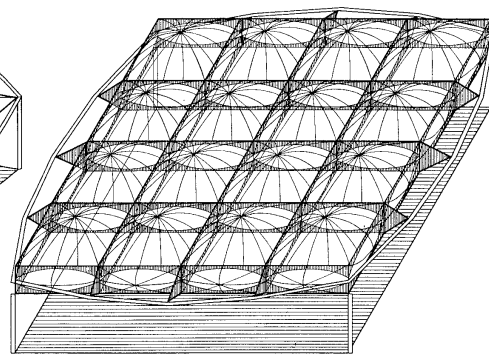
Randbefestigung mit Druckstabe und Tragsäule



Höhenkontrolle durch innere Seile oder Rippen



Einkammersystem mit Druckabtrag als Rückhaltemechanismus

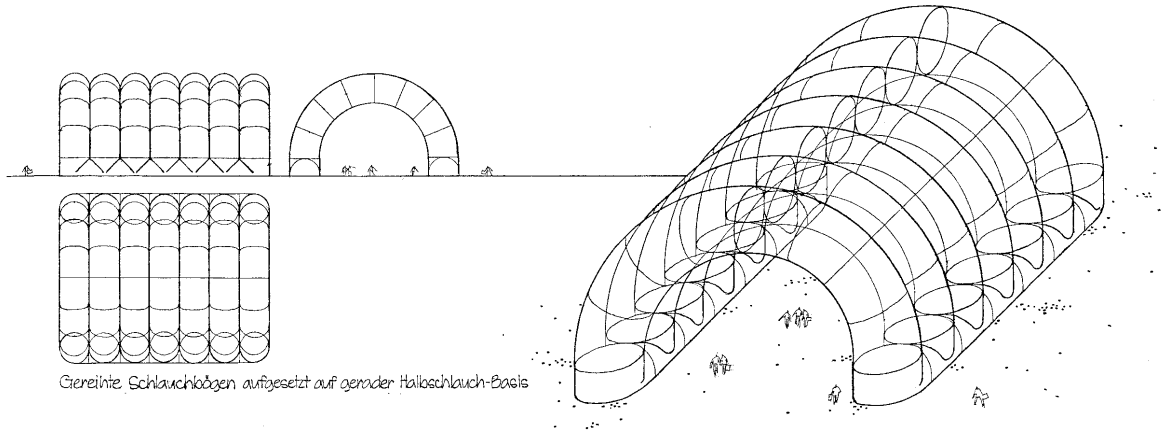


Mehrkammersystem mit Membranrippen und Druckbögen als Rückhaltemechanismus

Zeichnung Engel s.110

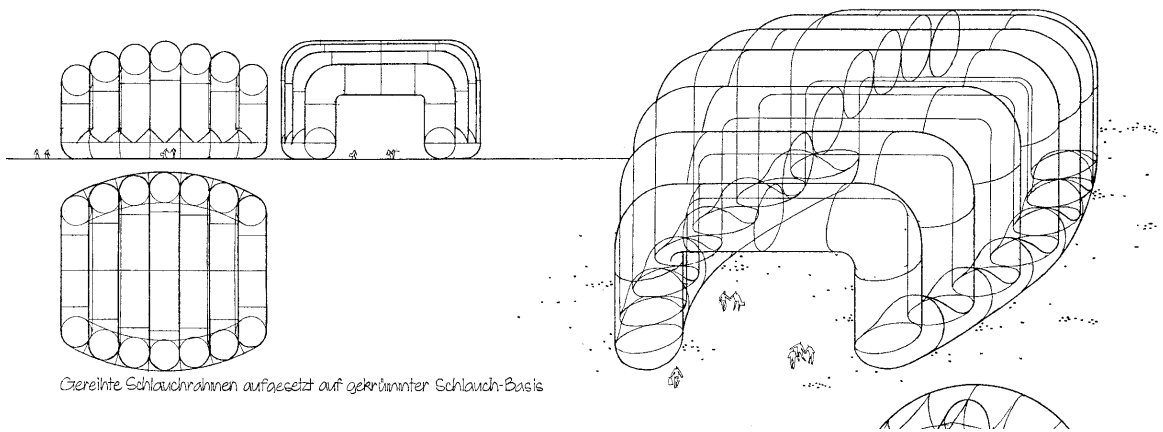
# Ss

## Schlauchbogen



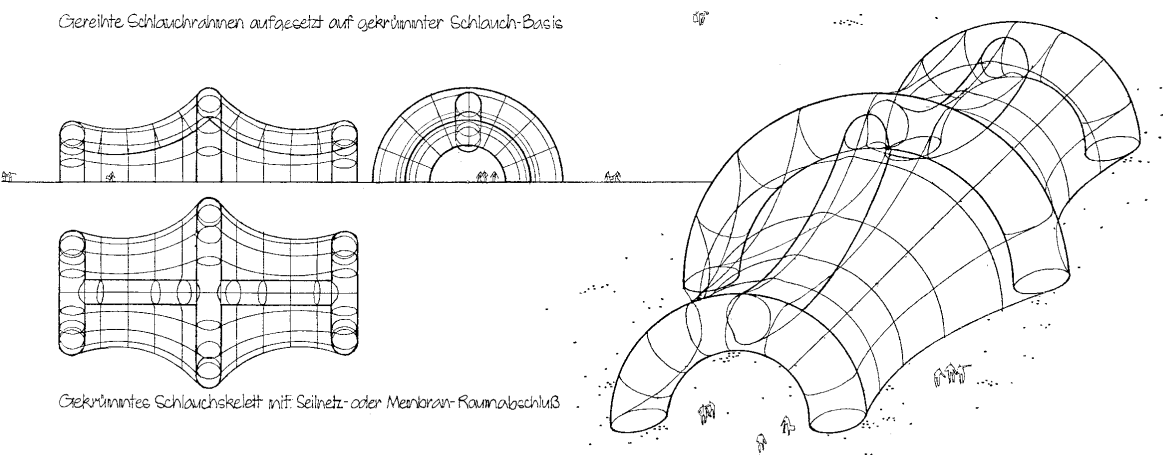
Gereimte Schlauchbögen aufgesetz auf gerader Halbschlauch-Basis

## Schlauchrahmen



Gereimte Schlauchrahmen aufgesetz auf gekrümmter Schlauch-Basis

## Schlauchskelett



Gereimte Schlauchrahmen aufgesetz auf gekrümmter Schlauch-Basis

Gekrümmtes Schlauchskelett mit Seilnetz- oder Membran-Raumabschluss

## Seifenhautmodell

Ermöglicht über Versuche (Analogmethode) optimale Membranformen (z.B. Minimalflächen) zu finden.

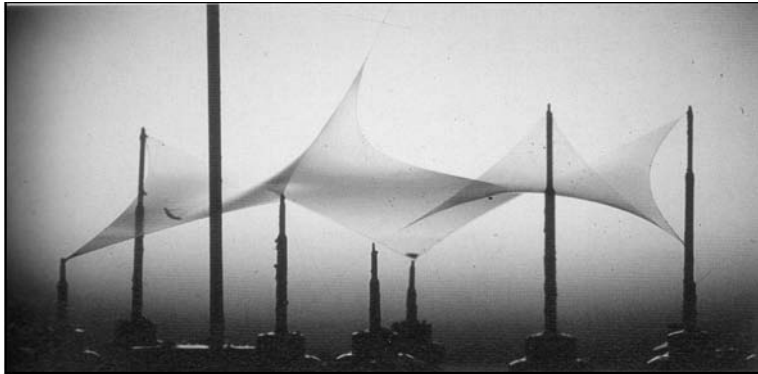


Abbildung 11: Seifenhautmodell für Membranbau (Siegfried Gaß), [TW96]

Aus: KRAMER Roland, Diplomarbeit 2005

## Rezepte zur Herstellung von Seifenlauge:

-  $\frac{2}{3}$  Tasse Spülmittel, 4 l Wasser, 2–3 EL Glycerin

oder:

- 100 g Zucker, 2–3 EL Salz, 1,4 l Wasser, am besten destilliert, 150 ml Spülmittel, 12 ml Glycerin

oder für Riesenblasen:

- 1 l Wasser, 500 g Zucker, 750 g Neutralseife, 25 g Tapetenkleister (mit Methylcellulose).  
Das Wasser aufkochen und mit dem Zucker vermischen, bis er sich aufgelöst hat.  
Wenn das Zuckerwasser lauwarm wird, Neutralseife und Tapetenkleister dazugeben und 24 Stunden stehen lassen. Dann 9 Liter Wasser hinzufügen und umrühren. In Blumentopf-Untersätze oder Plastikbecken füllen.

oder für dauerhaftere Blasen:

-  $\frac{1}{3}$  kommerzielle Seifenblasenlösung,  $\frac{1}{3}$  Wasser,  $\frac{1}{3}$  Glycerin

(Glycerin ist in jeder Apotheke erhältlich und 100 mg kosten etwa 2,50 Euro, es ist ungiftig – kann aber bei Einnahme starken Durchfall verursachen.)

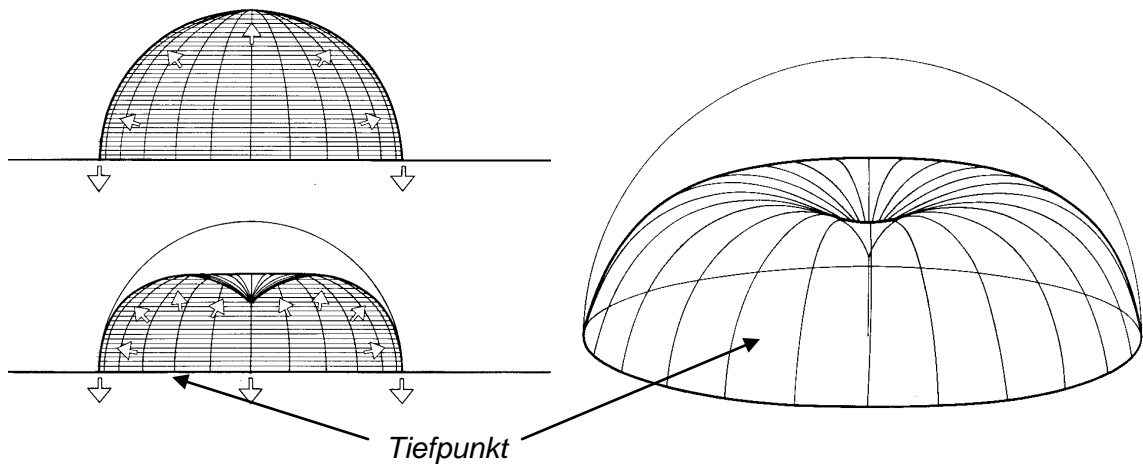
## Stabilisierung

Zur Stabilisierung großer Membranflächen sind oft Stabilisatoren notwendig. Diese können punktförmig oder linear sichern.

# Tt

## Tiefpunkt

Abspannung der Membran bei Lufthallensystemen in mittleren Bereichen zur Verringerung der Membranspannung (Radiusverkleinerung). Dadurch wird die Überdeckung größerer Räume mit geringeren Konstruktionshöhen möglich.



Zeichnung Engel s.104

## Tragwerk

= die Gesamtheit der Teile eines Bauwerks, die eine tragende Funktion ausüben

## Tragstruktur

= das Ordnungsmuster für den Zusammenhang der einzelnen Tragglieder eines Bauwerks

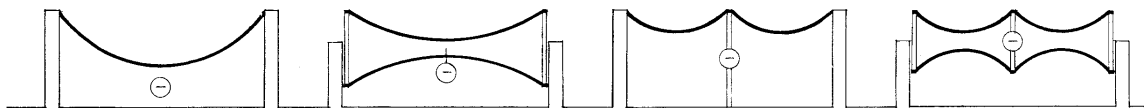
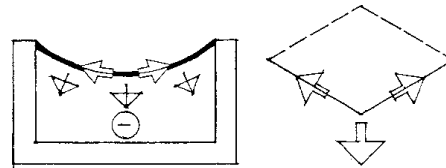
## Tragsystem

= das Wirkungs- und Ordnungsschema für die Umlenkung und Ableitung der Kräfte im Bauwerk

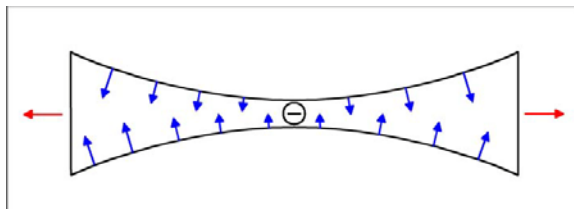
# Uu

## Unterdrucksysteme

= in einer geschlossenen Hülle (Membran) wird gegenüber der Umgebung (Aussendruck) ein geringerer Luftdruck = Unterdruck (Innendruck) erzeugt. Die Luft wird hier nicht aufgrund seiner mechanischen Eigenschaften zur Raumbildung eingesetzt, sondern dient lediglich zur Stabilisierung von Hängemembranen. Daher benötigen diese Systeme auch zusätzlich Rahmen- und/oder Stützkonstruktionen und werden daher nicht als eigenständiges Tragwerkssystem bezeichnet.



Zeichnung Engel s.102

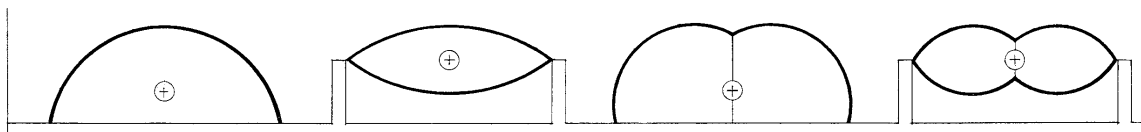
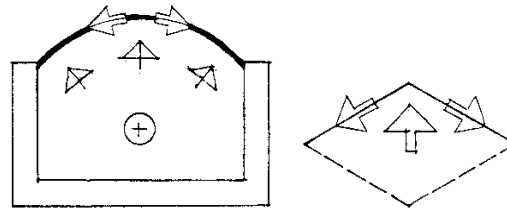


- *Unterdruckpneus*
- *Niederdrucksystem*
- *Innendruck: -3 - -5 mbar*
- *Primärtragwerk erforderlich!*

## Überdrucksysteme

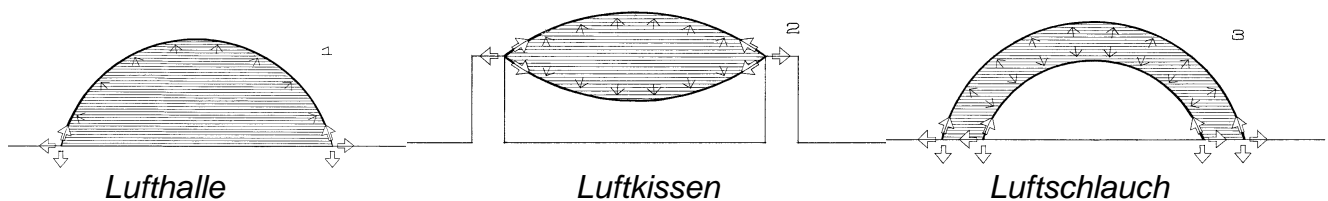
= in einer geschlossenen Hülle (Membran, Kissen, Schlauch) wird gegenüber der Umgebung (Aussendruck) ein höherer Luftdruck = Überdruck (Innendruck) erzeugt. Der Überdruck bewirkt mechanische Eigenschaften zur Ableitung von Kräften und kann so zur Stabilisierung als Konstruktionselement eingesetzt werden.

Man unterscheidet nach Höhe des Luftdrucks Niederdrucksysteme und Hochdrucksysteme.



Zeichnung Engel s.102

Man unterscheidet nach Art der Lufthülle zwischen Lufthalle, Luftkissen und Luftschlauch.



Zeichnung Engel s.102

## Vv

### Vakuum

Luftleerer Raum

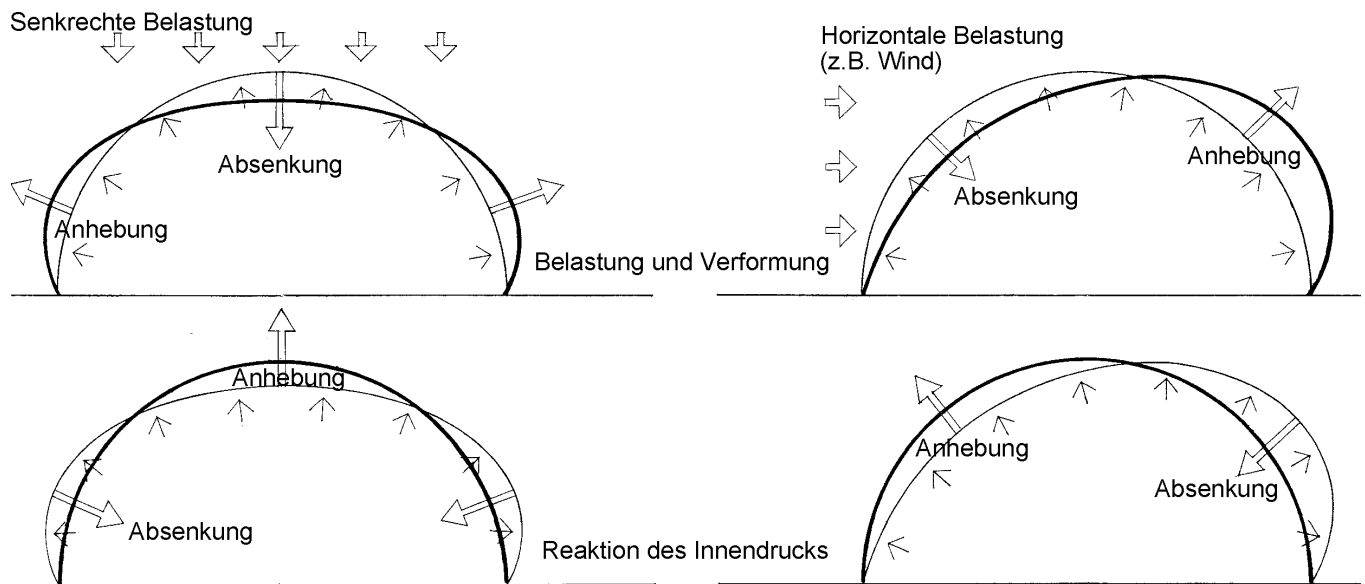
### Vakuummeter

Messgerät für niedrige Gasdrucke - Unterdrucke

## Verformung

Pneumatische Konstruktionen können sich bei Krafteinwirkung aufgrund der Flexibilität von Luft (komprimierbar) verformen. Den Widerstand gegen Verformungen gewährleisten Luftdichtheit und Zugfestigkeit der Membrane.

### Membranbelastungen und Reaktionen des Innendrucks bei Verformung



Zeichnung Engel s.99