

**1. Einführung in das Thema**

In dieser Abhandlung sollen die Gesetzmäßigkeiten erläutert werden, denen Tragluft hallen und andere pneumatische Konstruktionen unterliegen, und welche Einsatzmöglichkeiten solche Bauten unter Berücksichtigung dieser Bedingungen in der Landwirtschaft finden können. Außerdem will der Verfasser dem interessierten Fachmann in der Landwirtschaft einige Grundlagen vermitteln, die es ihm erleichtern, über den Einsatz der beschriebenen Bauten in seinem Bereich zu urteilen.

Die schnelle Verbreitung von Tragluft hallen (Bild 1) ist dadurch begründet, daß die verwendeten Materialien, hier Textilien, plastisch, leicht, relativ fest und gut verarbeitbar sind, die Bauten sich industriell vorfertigen und äußerst schnell errichten lassen. Das findet im Preis dieser Bauten seinen Niederschlag. Nach dem Aufbau einer Produktionsstätte für Tragluft hallen in der DDR steht es der Landwirtschaft offen, diese Bauten zu verwenden.

Pneumatische und andere zugbeanspruchte Konstruktionen sind eigentlich schon lange bekannt, empirisch wurden solche Formen angewendet, ehe man von deren Gesetzmäßigkeiten etwas wußte.

Je komplizierter diese Konstruktionen wurden, desto mehr war man gezwungen, vom empirischen Gestalten zu exakt berechneten Konstruktionen überzugehen. So entstanden dann Lufthäuser, Stützschlauchkonstruktionen, Gas- und Flüssigkeitsbehälter usw.

Trotz dieser sich zeigenden Einsatzgebiete läßt wohl die derzeitige Entwicklung noch nicht erkennen, welchen Umfang

diese pneumatischen und anderen Konstruktionen im Bauwesen, in der Industrie und in der Landwirtschaft einmal einnehmen werden.

**2. Begriffe**

Um die Abgrenzung der Konstruktionen zu erleichtern, sind einige Begriffe kurz erläutert:

Zugbeanspruchte Konstruktionen sind Systeme, deren Teile nur auf Zugfestigkeit beansprucht werden und so ausgelegt sind, daß sie sich durch diese Zugkräfte stabilisieren und Belastungen aufnehmen können.

Pneumatische Konstruktionen sind solche Konstruktionen, bei denen Druckunterschiede die Form und Stabilisierung ergeben.

Gespannte Konstruktionen sind vorgespannt. Nimmt man an, daß die Konstruktionen eigengewichtslos und unbelastet sind, dann sind noch Kräfte im System vorhanden — eine bewußt gegebene Vorspannung.

Nichtgespannte Konstruktionen sind demnach im eigengewichtslosen und unbelasteten Zustand frei von Zugspannungen und anderen Kräften.

**3. Grundlagen pneumatischer Bauten**

Ein gutes Vergleichsmittel pneumatischer Konstruktionen sind Seifenblasen. An ihnen lassen sich einige Gesetzmäßigkeiten der pneumatischen zugbeanspruchten Konstruktionen demonstrieren [1]. Seifenblasen bestehen aus Flüssigkeiten und bilden sich auf Grund von Oberflächenspannungen dieser Flüssigkeiten. So sind in einer Seifenblase an jedem Punkt und in jeder Richtung der Membran gleiche Membranspannungen vorhanden. Durch diesen Spannungsausgleich nehmen Seifenblasen immer Formen minimaler Oberflächen ein. Bei schwimmenden Seifenblasen zeigt sich, daß bei gleicher Membranspannung kleinere Seifenblasen einen höheren Innendruck aufweisen.

Bilden zwei derartige Blasen eine Doppelblase, so wölbt sich die entstehende Zwischenwand in Richtung des niederen Druckes, also hier in die größere Blase hinein. Die Radien der zwei Blasen und der Radius der Zwischenwand stehen in fester Beziehung zu den Drücken in den Blasen und lassen sich mit folgender Beziehung ausdrücken:

$$K = \frac{P_1 \cdot r_1}{2} = \frac{P_2 \cdot r_2}{2} = \frac{(P_1 - P_2) \cdot r_3}{2}$$

Darin bedeuten

*K* Konstante

*r* Radius der Blasen und der Zwischenwand

*P* Drücke in den Blasen

Diese Gesetzmäßigkeit ist in der Praxis zu berücksichtigen, wenn pneumatische Konstruktionen als zusammengesetzte Form entwickelt werden sollen. Bilden sich Verbände von mehr als zwei Seifenblasen, so berühren sich maximal drei Membranflächen und bilden untereinander immer einen Winkel von 120°, wie in Bild 2 dargestellt.

Ein weiterer Grundsatz pneumatischer Konstruktionen ist, daß die Membranflächen immer gekrümmt sind. Ebene Flächen sind praktisch nicht erreichbar.

Ein Kriterium dafür, ob ein Körper als eine pneumatische Konstruktion zu bauen möglich wäre, ist immer der Versuch,

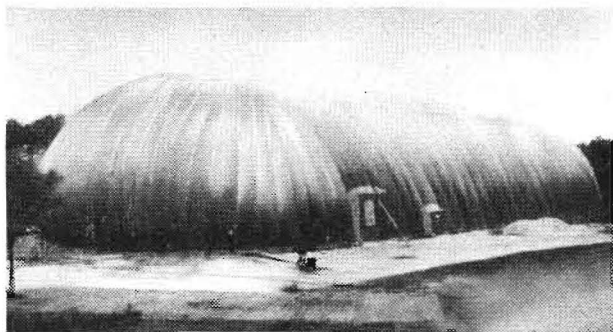


Bild 1. Aus Dederon-Stapelfaser, PVC-beschichtet: Tragluft halle DEFA, Länge 30 m, Breite 40 m, Höhe 20 m, Fläche 3000 m<sup>2</sup>, Inhalt 42 000 m<sup>3</sup>, Oberlicht 1000 m<sup>2</sup>, Überdruck 10 mm WS, LKW-Schleuse 4,0 × 4,5 × 8,0 m, 2 kleinere Personenschleusen, Eigenmasse 4 500 kg

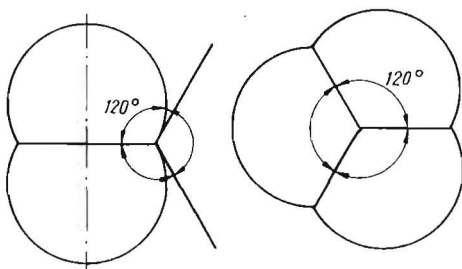


Bild 2. Pneumatische Konstruktion in zusammengesetzter Form

ob man in ihn Kugeln einschreiben kann, die sich auf einer Achse bewegen.

Alle pneumatischen Konstruktionen beruhen auf der Idee, Luft als tragendes Element zu benutzen. Daß Luft in diesem Sinne tragen kann, läßt sich leicht begründen [2]. Stellt man sich ein Gebäude vor, das in einem unteren Teil aus festen Wänden besteht und mit einer Membran überspannt ist (Bild 3), dann genügt ein innerer Überdruck, um die Membran nach außen zu wölben. Kommt auf die Membran nun beispielsweise eine gleichförmig verteilte Last zu liegen, die so bemessen ist, daß sie dem Innendruck gleich ist, nimmt die Membran eine horizontale, spannungslose Lage ein und wird von der Innenluft des Gebäudes getragen.

Hat eine Membran eine Eigenmasse von  $500 \text{ g/m}^2$ , so reicht ein Innendruck von  $500 \text{ g/m}^2$ , bei einer Membran von  $1 \text{ kp/m}^2$  ein Innendruck von  $1 \text{ kp/m}^2 = 1 \text{ mm WS} = 0,0001 \text{ at}$  Überdruck, um die Membran zu tragen.

In praktischen Ausführungen kommt man mit dem Innendruck pneumatischer Bauten kaum über 20 mm WS hinaus, um die Form zu erhalten. Das würde etwa der Luftdruckveränderung bei einem Höhenunterschied von 15 m entsprechen. Um die klimatischen Belastungen (Wind, Niederschläge) der pneumatischen Bauten abzufangen, sind maximal bis 100 mm WS erforderlich, so daß in diesen Bauten gegenüber der Außenluft ein Druckunterschied besteht, der etwa der Luftdruckänderung bei einem Höhenunterschied von 60 m gleichkommt und für den Menschen unbedenklich ist. Pneumatische Bauten weisen gegenüber herkömmlichen Formen eine große Sicherheit auf. Einmal wiegt die Membran sehr wenig; ferner fallen derartige Bauten äußerst langsam zusammen, selbst wenn der Überdruck der Luft entweicht, da die Eigenmasse der Membran immer wieder einen Druck aufbaut. Selbst wenn die Gebläse ausfallen, kann es lange, bei großen Bauten gar Tage dauern, bis die eingeschlossene Luft entwichen ist.

Für die Berechnung von pneumatischen Gebäuden ergeben sich folgende Beziehungen [3]:

Die maximale Dehnungsspannung der Membran  $\sigma$  darf die Kettfestigkeit  $\sigma_k$  und die Schubfestigkeit  $\sigma_s$  nicht übersteigen.

$$\sigma \leq \sigma_k, \sigma_s \text{ [kp/m}^2\text{]}$$

Gleichmaßen darf die Durchbiegung der Membran der Nutzung des Gebäudes nicht hinderlich sein.

$$f \leq [f], \quad \text{darin sind}$$

$$[f] \text{ unzulässige Durchbiegung in m,}$$

$$f \text{ zulässige Durchbiegung in m}$$

Die Tragfähigkeit eines pneumatischen Gebäudes berechnet man je nach seiner Form unterschiedlich. So gilt bei zylindrischen Formen für die Tragfähigkeit parallel zur Mantellinie

$$\sigma = q \cdot r \leq \sigma_k, \sigma_s, \quad \text{darin sind}$$

$$q \text{ summarisch gleichmäßig verteilte Belastung in kp/m}^2,$$

$$r \text{ Radius der Konstruktion in m}$$

und für die gleiche Konstruktion quer zur Mantellinie der Konstruktion wie auch für sphärische Konstruktionen

$$\sigma = \frac{q \cdot r}{2} \leq \sigma_k, \sigma_s$$

Die Berechnung der Deformation von pneumatischen Gebäuden ist insofern von Bedeutung, als man die Abweichung der Konstruktion von der ursprünglichen Form berechnen kann, wenn eine konzentrierte Belastung auftritt. Aus dieser Deformation kann man dann Schlüsse auf Sonderfälle ziehen, die auftreten können.

Für die Berechnung gilt:

$$\rho \geq q, \quad \text{darin sind}$$

$$\rho \text{ Nutzungsüberdruck in kp/m}^2$$

$$q \text{ Belastung in kp/m}^2$$

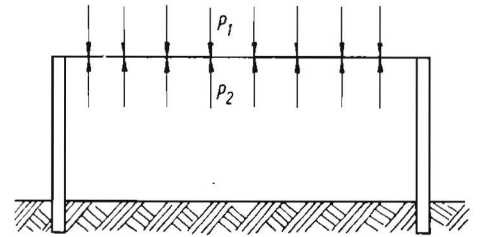


Bild 3. Erläuterung im Text

Die Belastung ergibt sich aus Maximalwerten von Auflasten, Schneehöhe, Winddruck usw. Wird diese Beziehung außer acht gelassen, so kann es passieren, daß eine Durchbiegung in negativer Richtung erfolgt und die Schneehöhe z. B. enorm ansteigt.

Für die praktische Durchbiegung ergibt sich dann

$$f = \frac{3p}{5q \cdot r} \leq [f], \quad \text{wobei}$$

$p$  konzentrierte Kraft in kp bedeutet.

Daraus ergibt sich folgender Gang der Berechnungen:

- Bestimmung des minimalsten Wertes der Gewebespannung, bei dem die Form der Konstruktion sich gerade noch hält, ohne daß eine Faltenbildung eintritt.
- Berechnung der maximalen Durchbiegung, die einer normalen Verwendung noch nicht hinderlich ist. Daraus erfolgt dann die Ableitung des erforderlichen Betriebsüberdruckes.

Nimmt man beispielsweise eine flache Kuppel mit dem Radius  $a$  und eine Halbkugel mit dem Radius  $\frac{a}{2}$ , so hat die Flachkuppel bei gleichem Innendruck die doppelte Membranspannung, denn

$$k = \frac{P_1 \cdot r_1}{2} = \frac{P_2 \cdot r_2}{2} \quad \text{und wenn } P_1 = P_2 \text{ ist, bleibt}$$

$$k = \frac{r_1}{2} = \frac{r_2}{2}$$

Setzt man ein  $r_1 = a$  und  $r_2 = \frac{a}{2}$ , ergeben sich  $2k$  beim Radius  $r_1$  und  $4k$  beim Radius  $r_2$ .

Dafür sind wiederum bei der Flachkuppel die Membranoberfläche und die Windlasten geringer, so daß sich hier ein Ausgleich in der Wirtschaftlichkeit ergeben kann. Das zeigt, daß die Funktion des Gebäudes den Ausschlag für die Form geben wird.

#### Literatur

- FREY/OTTO: Zugbeanspruchte Konstruktionen, Bd. 1 Frankfurt/Main-Berlin: Ullstein 1962, S. 11
- Ebenda, S. 20
- GUBENKO, A. B. u. a.: Pneumatische Konstruktionen, Moskau 1963, Akademie für Bauwesen und Architektur der UdSSR A 7407 (Teil II folgt im nächsten Heft)

#### Wir empfehlen Ihnen: Tabellenbuch Metall

Von Dr. rer. pol. G. Beyrodt. 3. überarbeitete Auflage.

Format  $16,7 \times 24,0 \text{ cm}$ , 456 Seiten, 1335 Abbildungen, Halbleineneinband, 6,- M

Dieses vielseitige Tabellenbuch ermöglicht einen schnellen Überblick über die für metallverarbeitende Berufe verbindlichen Standards. Einheitliche Satzgestaltung sowie ein Verzeichnis der verwendeten und angeführten Standards ermöglichen eine schnelle Orientierung. Für Lehrlinge, Facharbeiter und Umschüler ist dieses Buch eine gute Hilfe bei der Qualifizierung. Aber auch dem Techniker in der industriellen Fertigung können die angeführten Standards als Hinweis dienen.

A 7234