Zeitschrift: Bauen + Wohnen = Construction + habitation = Building + home : internationale Zeitschrift

Herausgeber: Bauen + Wohnen

Band: 25 (1971)

Heft: 11: Vorfabrikation = Préfabrication = Prefabrication

Artikel: Pneumatische Konstruktionen = Constructions pneumatiques = Pneumatic structures

Autor: Minke, Gernot

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-334117

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.12.2025

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

Pneumatische Konstruktionen

Constructions pneumatiques
Définition et classification

Pneumatic structures
Definition and classification

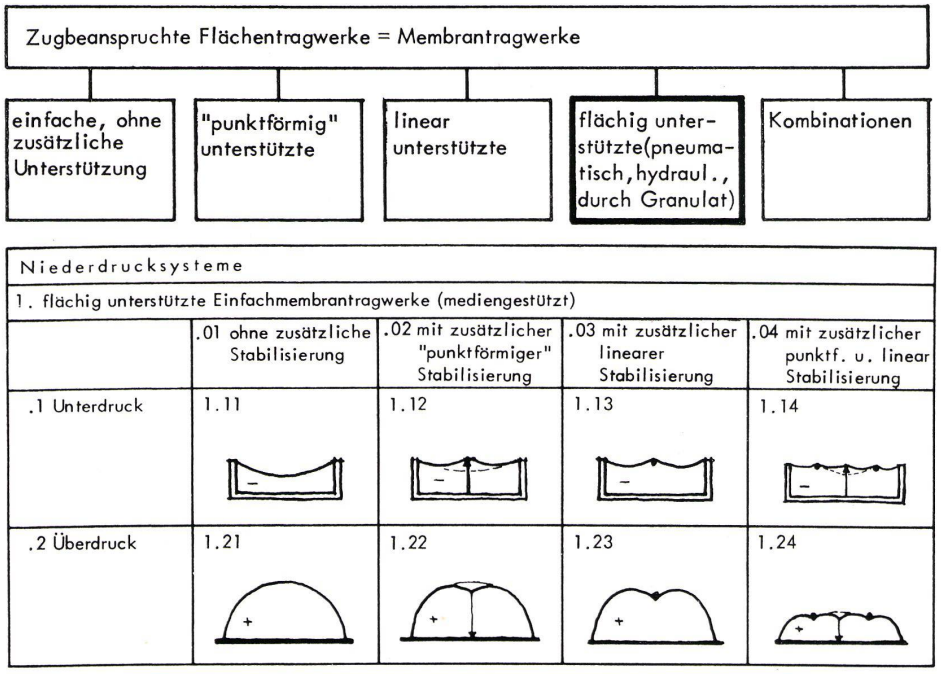
Gernot Minke, Ulm

Flächig stabilisierte Membrantragwerke
Zur Definition und Klassifikation »Pneumatischer Konstruktion«

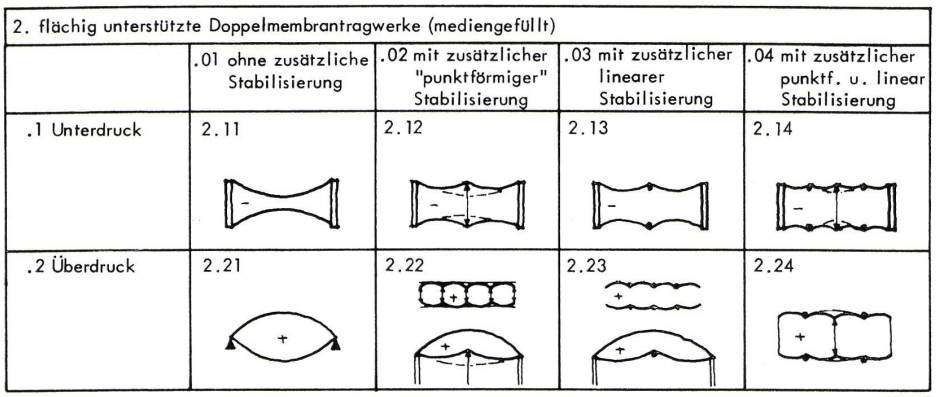
Tragwerke wie Traglufthallen, Luftkissenkonstruktionen und Schlauchkonstruktionen, bei denen die Form und die Stabilisierung der zugbeanspruchten Haut im wesentlichen durch Druckunterschiede der angrenzenden Medien bestimmt werden, werden allgemein als »Pneumatische Konstruktionen« (»pneumatic structures«, »constructions pneumatiques«) bezeichnet. Dieser Begriff wird jedoch sehr unterschiedlich weit gefaßt und beinhaltet zum Teil sehr verschiedene Systeme. Aus diesem Grund soll hier der Versuch gemacht werden, den Begriff »Pneumatische Konstruktion«, soweit er sich auf Tragkonstruktionen bezieht, zu präzisieren und für diese Tragwerkssysteme eine konstruktive Klassifikation zu entwickeln.
Der Begriff »Pneumatische Konstruktion« wird somit auf »Tragwerke« beschränkt. Unter einem Tragwerk soll ein Gebilde verstanden werden, dessen Aufgabe darin besteht, bestimmte Kräfte innerhalb gegebener Randbedingungen zu übertragen. Das Tragwerk läßt sich jeweils einem bestimmten Tragwerkssystem und einer bestimmten Tragwerksform zuordnen. Das Tragwerkssystem ist ein statisches System, das weder formalisiert noch materialisiert ist. Von einer Tragwerksform soll gesprochen werden, wenn Längen- und Querschnittsproportionen bekannt sind; es ist also ein Gebilde, das zwar formalisiert, aber noch nicht materialisiert ist. Von einem Tragwerk soll erst gesprochen werden, wenn neben System und Form auch Material und Größe gegeben sind, wenn es sich also um ein materialisiertes Gebilde handelt.
Die zweite Beschränkung des Begriffes für die Klassifikation bezieht sich auf »Gebäude«, also auf begehbare Gebilde, die mit ihrer Standfläche verbunden sind. Somit werden Gebilde wie Möbel oder Behälter und alle luftregulierten (air controlled) und luftbewegten (air moved) Konstruktionen ausgeschlossen.
Die dritte und wesentlichste Einschränkung ist die, daß die Beschreibung »pneumatisch« sich lediglich auf die Stabilisierung beziehen soll. »Pneumatische« Konstruktionen sind also durch Druckdifferenz flächig stabilisierte Tragwerke. Das heißt, daß die Druckdifferenz Bestandteil der Konstruktion ist. Segel, Ballons, Fallschirme und Behälter sind somit keine pneumatisch stabilisierte, sondern pneumatisch belastete Gebilde: Das dichtere Medium stellt dabei eine Belastung dar und dient nicht primär zur Stabilisierung des Tragwerks, es ist also kein Konstruktionselement.
Geht man von diesen drei Einschränkungen aus, so sollte man den unpräzisen Begriff »Pneumatische Konstruktion« durch den Begriff »flächig stabilisierte Membrantragwerke« ersetzen. (Unter einer »Membrane« wird eine druck- und biegeweiche gespannte Haut, d. h. also ein flächiges lediglich zugbeanspruchbares Gebilde verstanden.)
Bei den meisten Beispielen dieser Tragwerkssysteme handelt es sich bei dem stabilisierenden Medium um Luft. Das Tragwerk ändert seine Form und sein Tragverhalten jedoch nicht wesentlich, wenn anstelle des gasförmigen Mediums ein flüssiges oder ein granulöses zur Stabilisierung verwendet wird. Deshalb wird der Begriff »Pneumatische Konstruktionen« häufig für alle drei Arten der medienstabilisierten Membrankonstruktionen verwendet. Exakterweise sollte man aber den Begriff »pneumatische« Konstruktionen nur dann verwenden, wenn das stabilisierende Medium gasförmig ist. Im anderen Falle sollte man von »hydraulisch stabilisierten« oder von »granulatstabilisierten« Konstruktionen sprechen.
Diese Hinweise sollen genügen, um zu zeigen, daß der Begriff »Pneumatische Konstruktionen« nicht eindeutig verwendet wird. Sprechen wir von »flächig stabilisierten Membrantragwerken«, so ist jedoch eindeutig gesagt, um welche Konstruktionen bzw. Tragwerke es sich handelt. Diese lassen sich klar von den übrigen Membrantragwerken abgrenzen, wie in Abb. 1 dargestellt.

Es handelt sich um flächig stabilisierte Membrantragwerke,

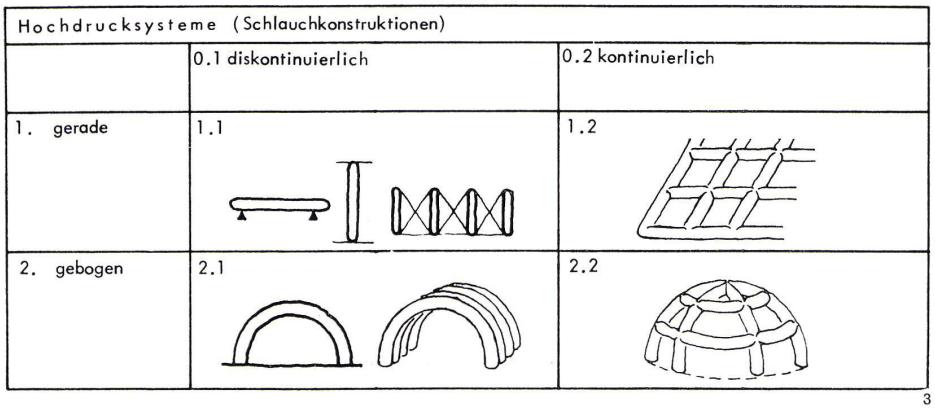
1. wenn die Membrane durch nicht formbeständige Medien stabilisiert wird, d. h. wenn die Membrane Medien verschiedener Dichte trennt.



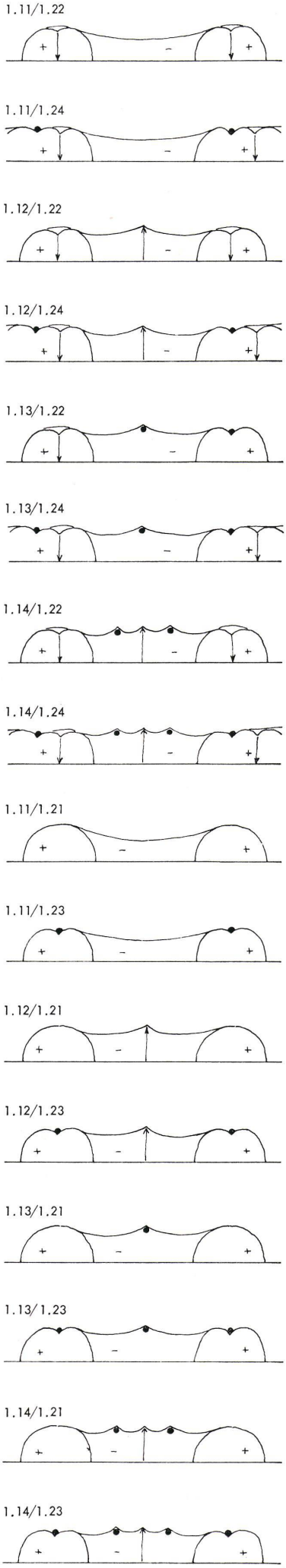
1



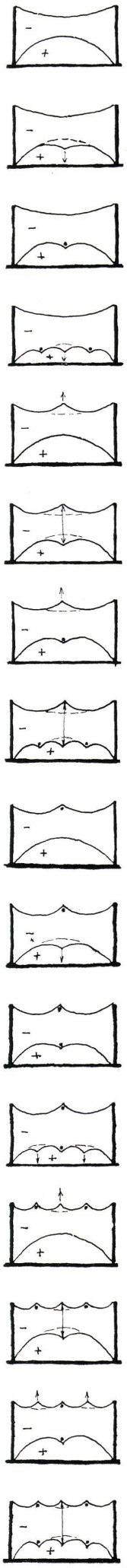
2



3



5



6

2. wenn das stabilisierende Medium Konstruktionselement und nicht Belastung ist.

In der vorgeschlagenen Übersicht einer konstruktiven Klassifikation wurden zunächst zwei Arten der Membrantragwerkssysteme unterschieden:

Die Niederdrucksysteme und die Hochdrucksysteme, vgl. Abb. 2 und 3.
Bei Niederdrucksystemen beträgt die Druckdifferenz der durch die Membrane getrennten Medien im allgemeinen 0,001 bis 0,01 atü. Das heißt, die Membrane wird durch einen senkrecht auf sie wirkenden Druck von 10 bis 100 kp/m² gespannt. Bei Hochdrucksystemen beträgt die Druckdifferenz 0,2 bis 7,0 atü, das heißt, die Membrane wird durch einen Druck von 2000 bis 70 000 kp/m² gespannt.

Je nachdem ob die Niederdrucksysteme offene oder geschlossene Gebilde darstellen, werden sie unterschieden in Einfachmembrantragwerke und Doppel- bzw. Mehrfachmembrantragwerke. Bei Einfachmembrantragwerken wird ein unter Über- bzw. Unterdruck stehender begehbarer Raum von einer Membrane gebildet bzw. abgeschlossen. Die Membrane ist nicht in sich geschlossen, sie ist direkt oder indirekt mit dem Baugrund verbunden. Die Membrane ist einseitig, zweiseitig gleichsinnig (synklastisch) oder zweiseitig gegensinnig (antiklastisch) gekrümmt.
Im Gegensatz dazu weisen die Doppel- bzw. Mehrfachmembrantragwerke eine in sich geschlossene Membrane auf. Sie sind unabhängig vom Baugrund.
Im Englischen werden diese Systeme meist mit »single wall« bzw. »dual wall systems« bezeichnet.
Die durch Walter Bird eingeführten Begriffe »luftgestützt« (air supported), und »luftgefüllt« (air inflated), die zur Unterscheidung von Traglufthallen weit verbreitet sind, müßten sinngemäß in die Begriffe »mediengestützt« und »mediengefüllt« geändert werden, wenn man berücksichtigen will, daß eine Reihe flächig unterstützter Membrantragwerke sinnvollerweise nicht nur durch Gase, sondern auch durch Flüssigkeiten oder Granulate stabilisiert werden kann.
Die zweite Unterscheidung innerhalb der Klassifikation – nach Art des Innendrucks in Unterdruck und Überdruck – erscheint zunächst als unbedeutend, da es bei der Stabilisierung der Tragwerke lediglich auf die Druckdifferenz der Medien ankommt, die durch die Membrane getrennt werden. Wie die folgenden Skizzen andeuten, ist die Art des Drucks jedoch von großem Einfluß für die Tragwerksform und für die Randausbildung, so daß die vorgeschlagene Unterscheidung notwendig erscheint.
Die dritte Differenzierung nach zusätzlicher Stabilisierung hat ebenfalls einen wesentlichen Einfluß auf die Tragwerksform. Die zusätzliche Unterstützung ist im allgemeinen bei großen Spannweiten erforderlich, um die Krümmungsradien und damit die Spannung in der Membrane zu reduzieren. (Die Spannung ist direkt proportional dem Krümmungsradius.) Dabei ist die Art der zusätzlichen Unterstützung nach ihrer Dimension bezeichnet: Unter »punktförmiger« Unterstützung werden innere singuläre Unterstützungen verstanden, die im Bereich der Membrane ringförmig, schlaufenförmig oder als begrenzte Buckelfläche erweitert sind.

1
Gliederung der Membrantragwerke.
Classification des structures à membranes.
Classification of membrane structures.

2
Klassifikation Niederdrucksysteme.
Classification des systèmes à basse pression.
Classification of low pressure systems.

3
Klassifikation Hochdrucksysteme.
Classification des systèmes à haute pression.
Classification of high pressure systems.

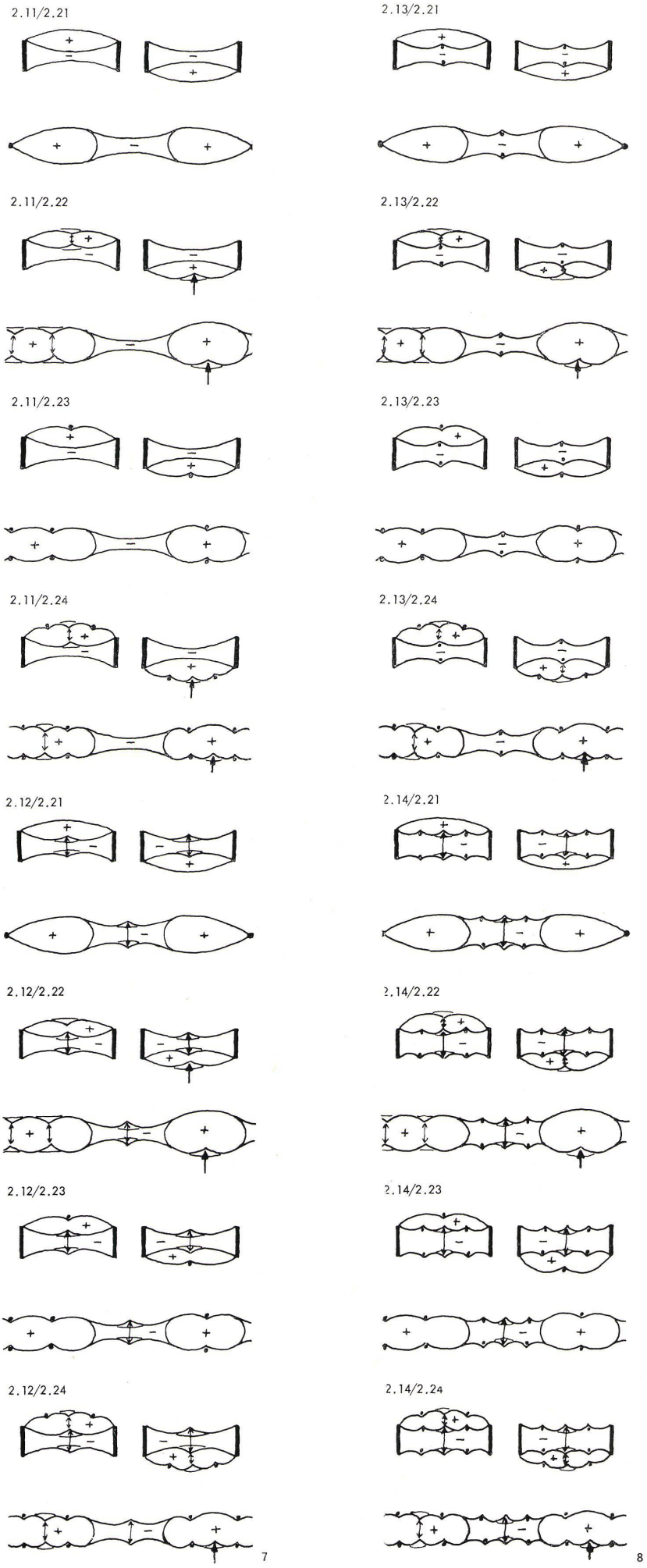
4–8
Mögliche Kombinationen von Unterdruck- und Überdrucksystemen.
Possibilités de combinaison entre systèmes à surpression et systèmes à dépression.
Possible combinations of low pressure and high pressure systems.

Unter linearer Unterstützung wird eine innere zusätzliche Unterstützung durch Kehl- bzw. Gratseile, durch Druckbogen oder durch biegebeanspruchte Träger verstanden.
Aus diesen Klassifikationsmerkmalen ergibt sich bei den Einfach- und Mehrfachmembrankonstruktionen die in Abb. 2 dargestellte Aufteilung in 16 verschiedene Systeme.
Während Niederdrucksysteme Primärtragwerke darstellen, die die Kräfte von der Membranfläche über das stützende Medium direkt in den Boden einleiten, erfüllen Hochdrucksysteme in der Regel die Funktion von Sekundärtragwerken. (Im Grenzfall kann durch die Addition mehrerer Schlauchtragwerke auch die Funktion eines Primärtragwerks übernommen werden, vgl. 2.1.)
Sie bestehen aus schlauchartigen Elementen, das heißt, sie weisen in einer Richtung eine sehr starke Krümmung, in der anderen Richtung jedoch eine sehr geringe Krümmung auf. Sie sind in der Lage in Richtung der geringeren Krümmung Querkräfte zu übertragen. Sie können z. B. die Tragfunktion eines Balkens, eines biegesteifen Bogens, eines Rostes oder einer Gitterschale übernehmen, vgl. Abb. 3. Da die Membrane lediglich Zugkräfte aufnehmen kann, müssen die bei Belastung entstehenden Druckspannungen durch die Vorspannung kompensiert werden. Die erforderliche Druckdifferenz ist etwa 100 bis 1000 mal so hoch wie bei Niederdrucksystemen. Hochdrucksysteme weisen eine relativ geringe konstruktive Effizienz auf und finden deshalb nur dann Anwendung, wenn Forderungen nach einfacher Montage und einfachem Transport (geringes Gewicht, geringes Transportvolumen) ausschlaggebend für die Wahl des Tragwerkssystems sind.

Da die Schlauchkonstruktionen Sekundärtragwerke sind, bei denen die erwähnten Differenzierungsmerkmale für Niederdrucksysteme als nicht praktikabel bzw. nicht sinnvoll erscheinen, werden hier geometrische Merkmale zur Unterscheidung gewählt:

1. Der Verlauf der Elemente (gerade, gebogen),
2. Verbindung der Elemente untereinander (kontinuierlich: Elemente und ihre Füllmedien stehen miteinander in Verbindung; diskontinuierlich: Elemente können sich berühren, die Füllmedien der Elemente stehen jedoch nicht miteinander in Verbindung).

In den folgenden Skizzen sind die 64 sinnvollen einfachen Kombinationen aus den je 8 Systemen der Einfach- und Doppelmembrantragwerke dargestellt. (Abb. 4–8)



7 8

Gernot Minke, Ulm

Pneumatisch stabilisierte Membrantragwerke mit zusätzlicher »punktförmiger«* oder linearer Stabilisierung.

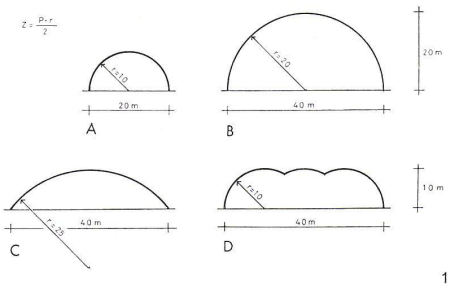
Structure en voile mine stabilisée par gonflage avec stabilisation supplémantaire

Thin shell structure stabilized by inflation with supplementary stabilization

Beim Entwurf pneumatisch stabilisierter Membrantragwerke wird vielfach übersehen, daß die Größe des Bauwerks ein wesentliches Kriterium für die Wahl von Tragwerkssystem und Tragwerksform darstellt.

Da die Zugspannung in der Membrane direkt proportional dem Innendruck und dem Krümmungsradius ist, ist es bei großen Spannweiten notwendig, die Spannung in der Membrane mit Hilfe sekundärer Tragelemente zu reduzieren. Zur Erläuterung soll folgende Überlegung dienen:

Setzen wir gleichen Luftdruck voraus, so entsteht bei einer Traglufthalle mit halbkreisförmigem Querschnitt (siehe Abb. 1 Fall A) bei einer Verdoppelung der Spannweite (Fall B) eine doppelt so große Spannung in der Membrane. Bei zweiseitiger gleichmäßiger Krümmung ist die Spannung $Z = p \cdot r/2$ (p = Innendruck, r = Krümmungsradius). Da sich dabei aber auch die Gesamthöhe verdoppelt, vergrößert sich die Belastung durch Windkräfte. Um die gleiche Stabilität wie im Fall A zu erreichen, müßte im Fall B der Innendruck erhöht werden, was erneut eine Zunahme der Membranspannung zur Folge hat. Ein weiterer Nachteil im Fall B ist das größere relative Volumen des Innenraums, bezogen auf die Grundfläche. Dadurch entstehen größere Energiekosten für Heizung und Druckerzeugung.



1

Will man diese beiden Nachteile vermeiden, so läßt sich die Höhe der Hülle verringern, vgl. Fall C. Bei gleicher Maximalhöhe von C und A ist die Spannung in der Membrane im Fall C jedoch 2,5 mal so groß. Will man die Spannweite vergrößern, ohne die Spannung in der Membrane zu vergrößern, so ist dies nur durch Reduzierung der Krümmungsradien mit Hilfe von zusätzlicher »punktförmiger« oder linearer Stabilisierungselemente möglich, wie Fall D zeigt.

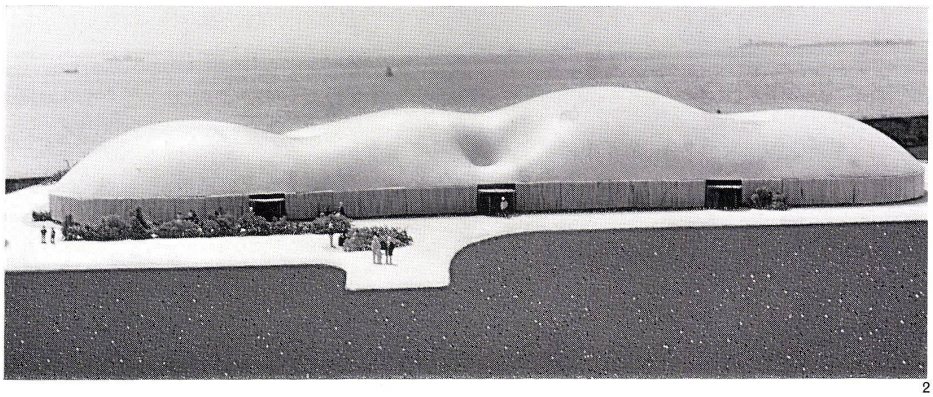
Mit diesem System können beliebig große Flächen überspannt werden. Wird die Reduktion der Krümmungsradien durch Kehlseile bewirkt, so ist dabei darauf zu achten, daß auch die Spannung in einem Kehlseil direkt proportional zum Krümmungsradius ist. Wenn also die Seile die gleiche Krümmung aufweisen wie die Gesamtform der Traglufthalle, so läßt sich dadurch keine Verringerung der Gesamtzugspannung erreichen, d. h. die maximale Spannweite kann dadurch nicht vergrößert werden.

Bei pneumatisch stabilisierten Membrantragwerken ist für die Dimensionierung der Membrane und der sekundären Stabilisierungselemente die aerodynamische Belastung und nicht der notwendige Innendruck entscheidend. Ausschlaggebend dabei sind bei flachen Gebilden die durch Windsog entstehenden Zugspannungen auf der dem Wind zugewandten Seite unterhalb des Scheitels. Je flacher die Gesamtform ist, desto geringer ist der Windsog.

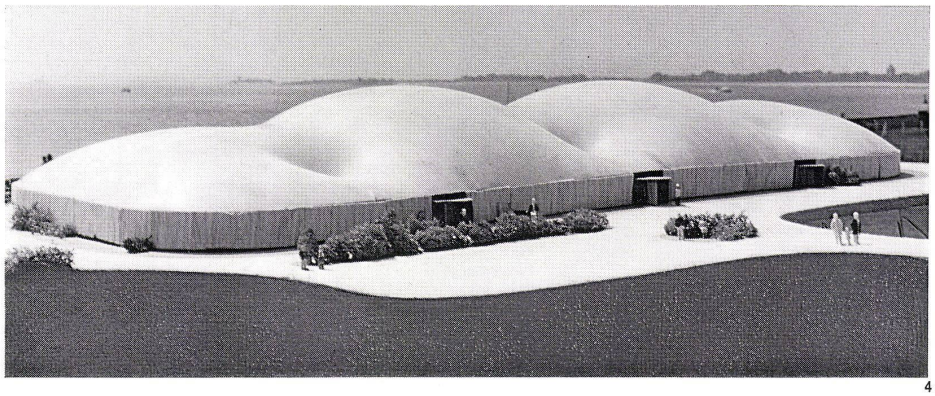
Wenn auch theoretisch Maximalspannweiten von 2 oder 3 km mit aerodynamisch günstigen Formen erreicht werden können, so sind solche Konstruktionen ohne Reduzierung der Krümmungsradien mit Hilfe von stärker gekrümmten Kehlseilen nicht sinnvoll, da sie viel zu materialaufwendig sind.

Sind geringe Membranspannungen und geringes Luftvolumen für die Wahl des Systems ausschlaggebend, so kann bereits bei einer Spannweite von 30 m eine Reduktion der Krümmungsradien durch zusätzliche Stabilisierungselemente sinnvoll sein.

Die abgebildeten Beispiele dieser pneumatisch stabilisierten Tragwerkssysteme sollen verschiedene konstruktive und formale Möglichkeiten zur Reduktion der Membranspannungen andeuten. Bei den meisten Projekten war neben der Verringerung des Luftvolumens die Gliederung des Innenraums für unterschiedliche Nutzungsfunktionen ausschlaggebend für die gewählte Form.


2

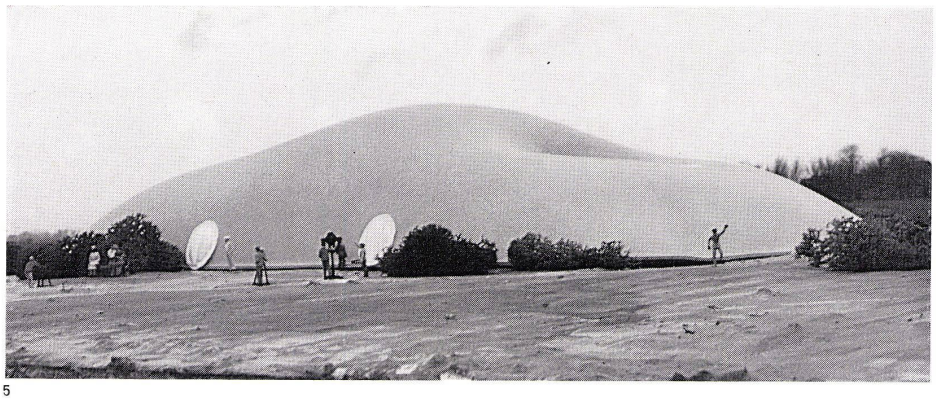
3

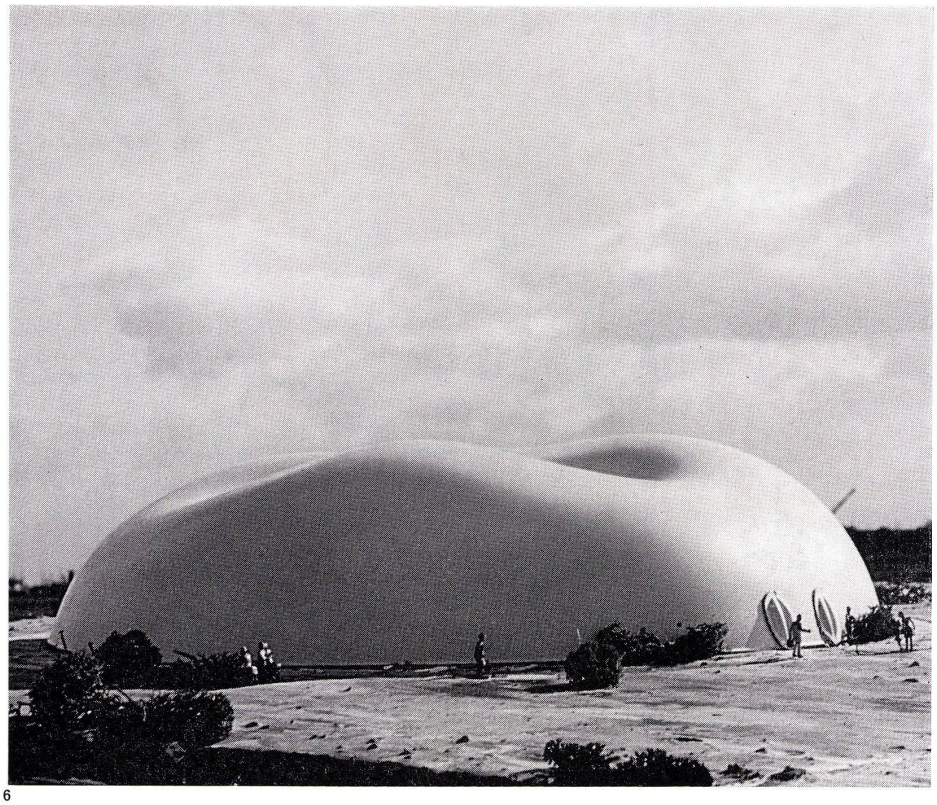

4

* Als »punktförmig« werden innere singuläre Unterstützungen bezeichnet, die im Bereich der Membrane ringförmig, schlaufenförmig oder als begrenzte Bukkelfläche erweitert sind.

1
Formvariation bei Vergrößerung der Spannweite.
Variations de la forme en fonction de la portée.
Shape variation as a function of increase in span.

2–4
Formstudien für eine Mehrzweckhalle an der englischen Südküste, 1969.
Entwurf: Gernot Minke, Mitarbeiter: Croucher, Salt.
2000 m² Grundfläche. 3 m hohe Außenwand aus Beton, Membrane aus PVC-beschichtetem Polyestergewebe.
Etude de forme pour une halle polyvalente sur la côte sud de l'Angleterre, 1969.
Projet: Gernot Minke, collaborateur: Croucher, Salt.
Surface de base 2000 m². Mur périphérique de 3 mètres en beton, membrane en polyester imprégnée de PVC.
Design studies for a polyvalent building on the English south coast, 1969.
Project: Gernot Minke, associations: Croucher, Salt.
Basic surface area: 2000 m². 3-meter-high outer wall of Concrete, membrane of polyester impregn ated with PVC.


5

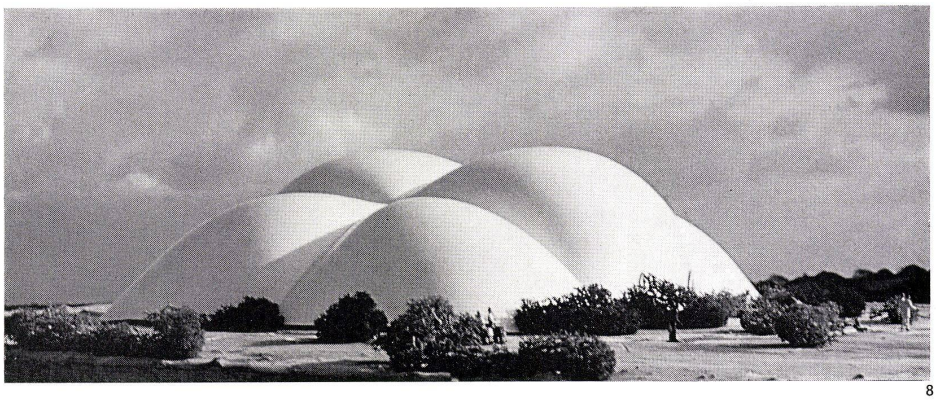

6

5
Projekt für eine Fabrikationshalle in Delft. (Vorschlag 1: Mit zwei Tiefpunkten), 1971 (Entwurf: Gernot Minke mit Studenten der TH Delft).
Projet de hall de fabrication à Delft (1ère proposition: Avec 2 points bas), 1971 (Projet: Gernot Minke avec les étudiants de l'école polytechnique de Delft).
Project for a factory building in Delft (Proposal 1: With 2 low points), 1971 (Project: Gernot Minke with students of the Institute of Technology, Delft).

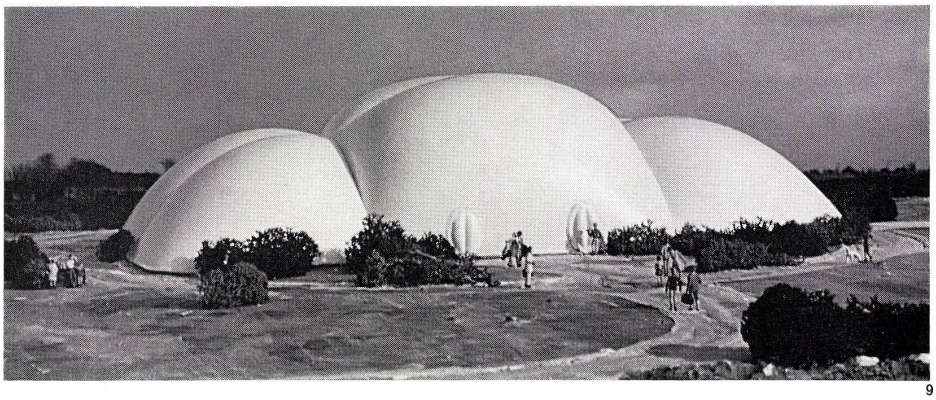
6
Formstudien für eine Ausstellungshalle mit kreisförmigem Grundriß und 3 Tiefpunkten, Delft, 1971 (Gernot Minke mit Studenten der TH Delft).
Etude de forme pour une halle d'exposition de plan circulaire avec 3 points bas, Delft, 1971 (Gernot Minke avec les étudiants de la T.H. de Delft).
Design study for an exhibition hall on a circular plan with 3 low points, Delft, 1971 (Gernot Minke with the students of the Institute of Technology, Delft).

7
Ausstellungshalle mit kreisförmigem Grundriß und zwei Kehlseilen, Delft, 1971 (Gernot Minke mit Studenten der TH Delft).
Halle d'exposition de plan circulaire avec deux câbles de noue, Delft, 1971 (Gernot Minke avec les étudiants de la T.H. de Delft).
Exhibition hall on a circular plan with two valley cables, Delft, 1971 (Gernot Minke with the students of the Institute of Technology, Delft).

7



8

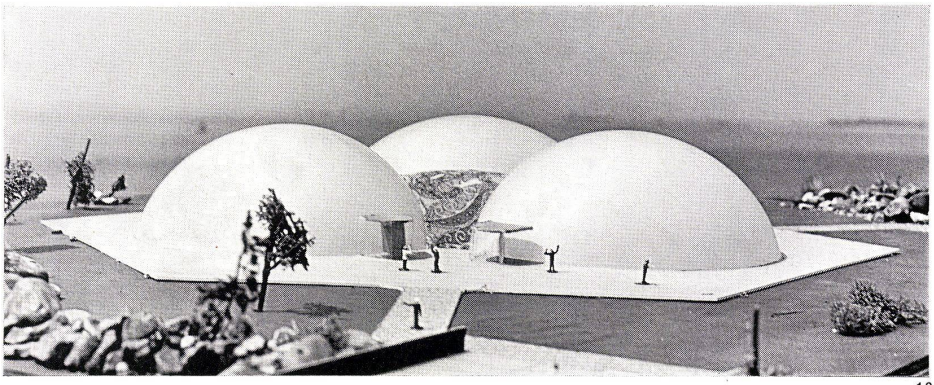


9

8, 9
Projekt für eine Fabrikationshalle in Delft, Vorschlag 2, mit Kehlseilnetz, 1971 (Gernot Minke mit Studenten der TH Delft).

Projet de hall de fabrication à Delft, 2ème proposition, avec noue en réseau de câbles, 1971 (Gernot Minke avec les étudiants de la T.H. Delft).

Project for a factory building in Delft, Proposal 2, with network of valley cables, 1971 (Gernot Minke with students of the Institute of Technology, Delft).

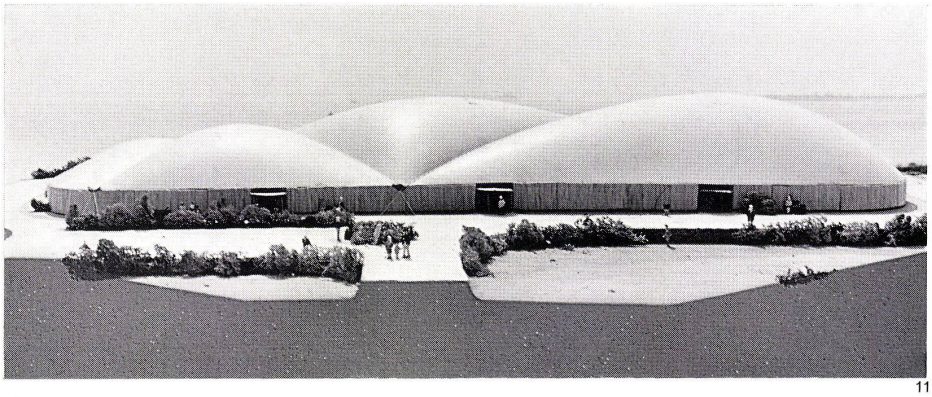


10

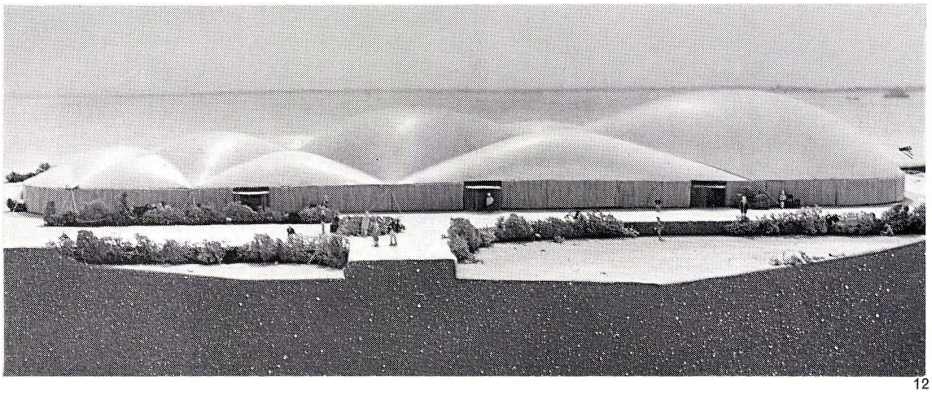
10
Ausstellungshalle an der englischen Südküste, Vorschlag 1, 1969 (Gernot Minke, Mitarbeiter: Stevens, Warne). Der mittlere Bereich wird durch eine stärkere Membrane gebildet, der Krümmungsradius ist dort dreimal so groß, das heißt, die Membrane nimmt die dreifache Spannung auf.

Halle d'exposition sur la côte sud de l'Angleterre, 1ère proposition 1969 (Gernot Minke, collaborateurs: Stevens, Warne). La partie médiane est constituée d'une membrane renforcée dont le rayon de courbure est, à cet endroit, 3 fois plus grand c'est à dire que la tension de la membrane y est 3 fois plus forte.

Exhibition hall on the English south coast, proposal 1, 1969 (Gernot Minke, associates: Stevens, Warne). The central tract is formed by a reinforced membrane; the curvature radius is at that point three times as large, i.e., the membrane can take three times the stress.



11



12

11, 12
Formstudien für eine Mehrzweckhalle an der englischen Südküste, 1969 (Gernot Minke, Mitarbeiter: Croucher, Salt).
2000 m² Grundfläche, 3 m hoher Betonsockel, Membrane aus PVC-beschichtetem Polyestergewebe.

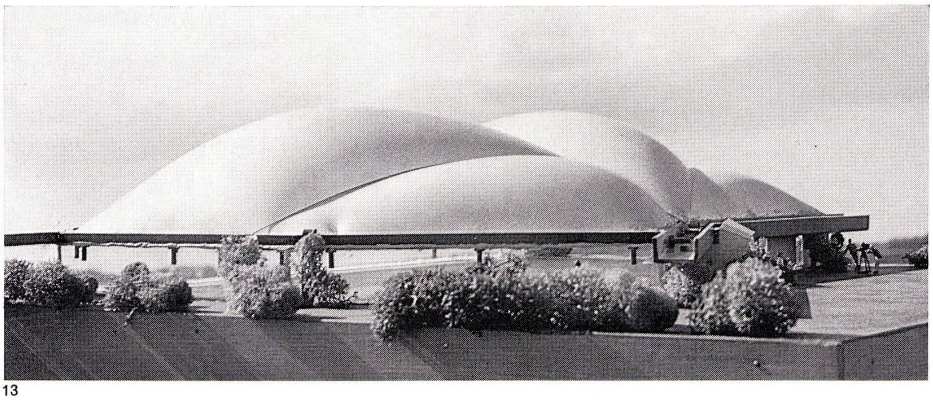
Etude de forme pour une halle polyvalente sur la côte sud de l'Angleterre, 1969 (Gernot Minke, collaborateurs: Croucher, Salt).
Surface de base 2000 m², socle en béton 3 mètres, membrane en polyester revêtue de PVC.

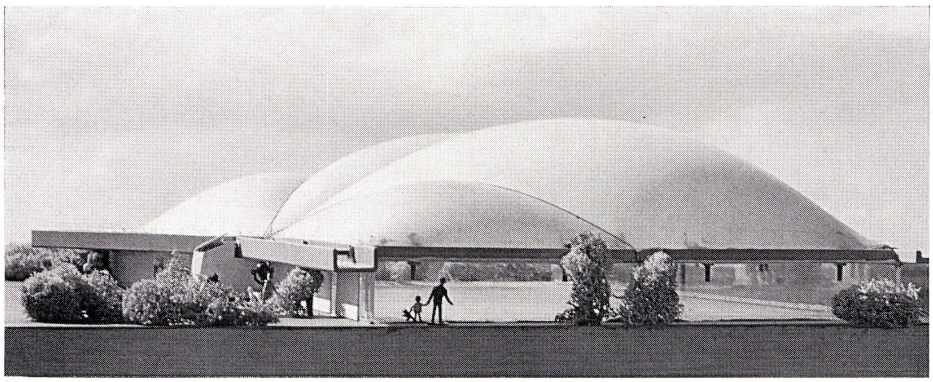
Design studies for a polyvalent building on the English south coast, 1969 (Gernot Minke, associates: Croucher, Salt).
Basic surface area: 2000 m², 3-meter-high concrete foundation, membrane of PVC-coated polyester.

13, 14
Demontable Überdachung des Wellenbads Alpamare in Bad Tölz, 1971 (Entwurf und Konstruktion: Gernot Minke, Gesamtplanung: Friedelmaier, Stühler).

Toiture démontable de la piscine à vagues artificielles Alpamare à Bad Tölz, 1971 (Projet et construction: Gernot Minke, planification d'ensemble: Friedelmaier, Stühler).

Knock-down roof on the Alpamare simulated-wave pool in Bad Tölz, 1971 (Project and construction: Gernot Minke, general planning: Friedelmaier, Stühler).


13


14

15
Informations- und Kommunikationszentrum »kenniskapsule« der TH Delft, 1971 (Gernot Minke, Sean Wellesley-Miller mit Studenten der TH Delft).
Die Seilnetzknoten liegen auf den Ecken eines gestutzten Oktaeders.

Centre d'information et de communications «kenniskapsule» de la T.H. de Delft, 1971 (Gernot Minke, Sean Wellesley-Miller et les étudiants de la T.H. Delft).
Les jonctions de câbles se situent sur les sommets d'un octaèdre rigide.

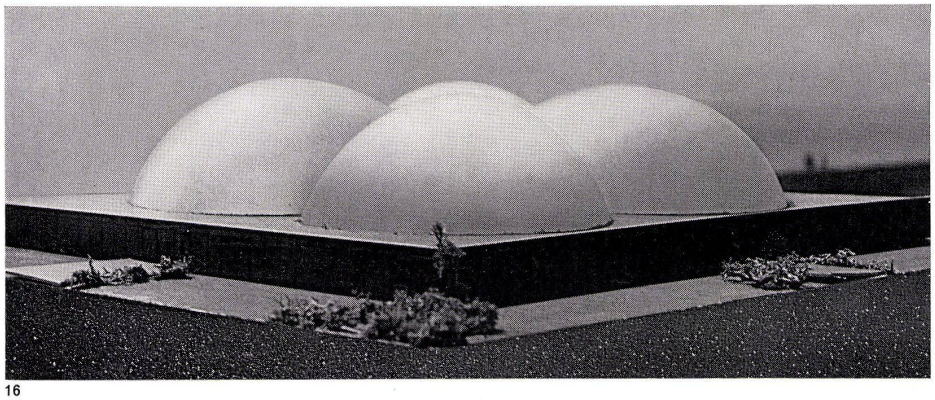
"kenniskapsule" information and communications center of the Institute of Technology, Delft, 1971 (Gernot Minke, Sean Wellesley-Miller with students of the Institute of Technology, Delft).
The cable junctions are located at the angles of a rigid octahedron.

15

16
Projekt für eine Ausstellungshalle bei Portsmouth, England, 1969 (Gernot Minke).
Überdeckung der vier Innenhöfe, für Sonderausstellungen durch gratseilbegrenzte Traglufthallen, 1400 m².

Projet de hall d'exposition à Portsmouth, Angleterre, 1969 (Gernot Minke).
Couverture des 4 cours intérieures d'exposition temporaire, par des volumes gonflés limités par des câbles d'arête, 1400 m².

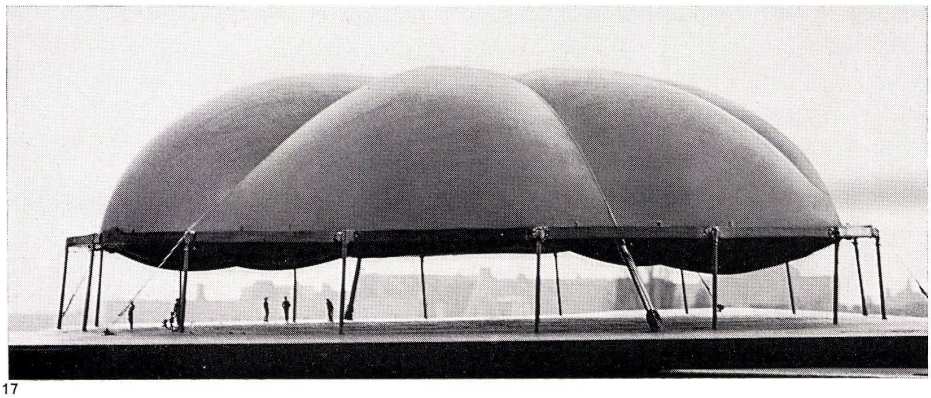
Project for an exhibition hall near Portsmouth, England, 1969 (Gernot Minke).
Covering of the four interior courts for special shows by means of inflated volumes bounded by groin cables, 1400 m².

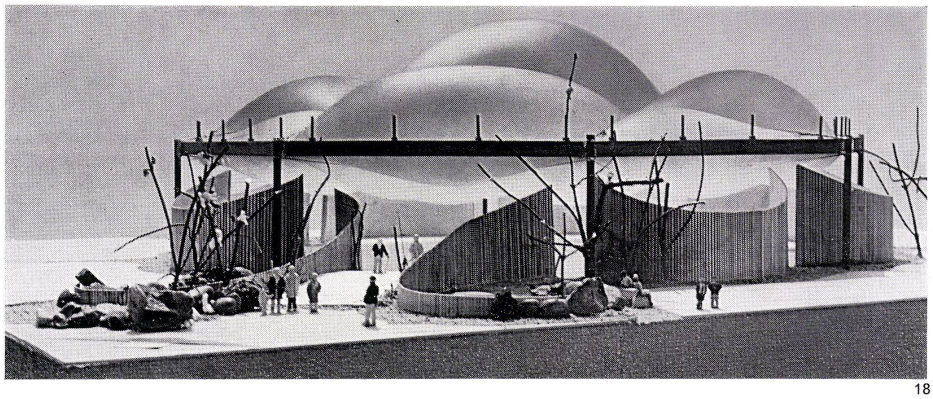

16

17
Vorschlag für eine Sporthalle in Hannover, 1970 (Entwurf: Gernot Minke).
Doppelmembrankonstruktion durch Druckbogen unterstützt und durch Gratseile linear abgespannt (außen: radial, innen: parallel).

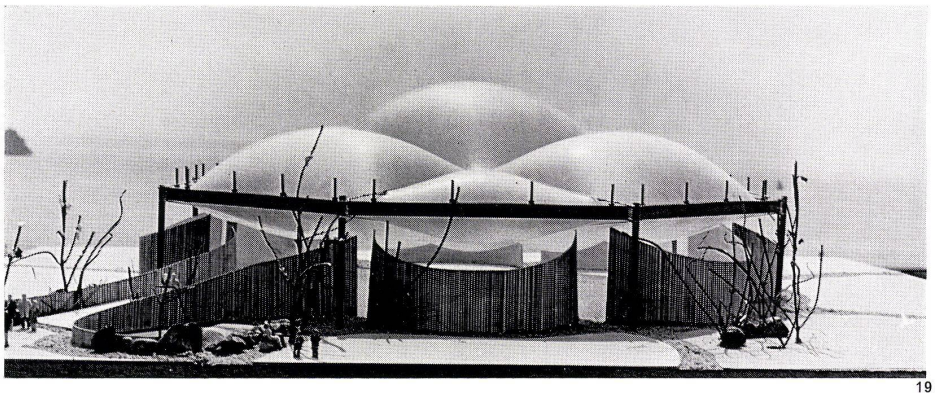
Projet de halle de sport pour Hanovre, 1970 (Projet Gernot Minke).
Construction à double membrane portée par des arcs comprimés et linéairement tendue par des câbles d'arête.

Project for a sports arena in Hanover, 1970 (Project: Gernot Minke).
Double-membrane construction supported by compressed arches and held linearly rigid by groin cables.


17



18



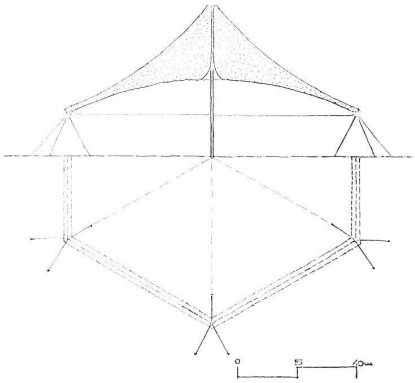
19

18, 19
Demontable Dachkonstruktion für eine Wanderausstellung, 1969 (Gernot Minke, Mitarbeiter: Hirst, Kamel).
Doppelmembrankonstruktion mit achteckigem Randträger. Die untere Membrane nimmt doppelt so hohe Spannung auf als die obere und ist deshalb nur halb so stark gekrümmt. Die Membranen sind außen und innen durch Kehlseile unterschiedlicher Anordnung linear abgespannt. Druck: 20 mm WS.

Toiture démontable pour une exposition itinérante, 1969 (Gernot Minke, collaborateurs: Hirst, Kamel).
Construction à membrane double et structure de rive octogonale. La membrane inférieure est soumise à une tension deux fois plus forte que la membrane supérieure, c'est pourquoi sa courbure est deux fois plus faible. Les membranes sont soumises à l'intérieur et à l'extérieur à des tensions linéaires différenciées grâce à des câbles de noue.

Knock-down roof structure for a travelling exhibition, 1969 (Gernot Minke, associates: Hirst, Kamel).
Double-membrane construction with octangular peripheral girders. The lower membrane is twice as strong as the upper one, and therefore curved only half as much. The membranes are held linearly rigid, outside and inside, by valley cables differentially arranged.

20

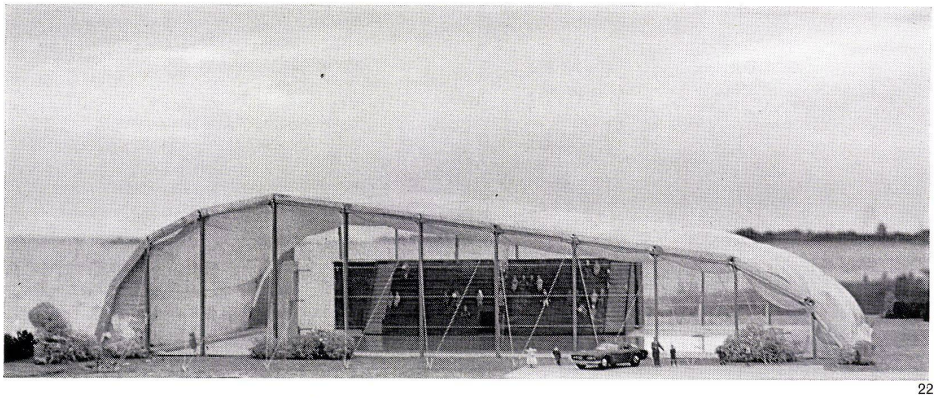


21

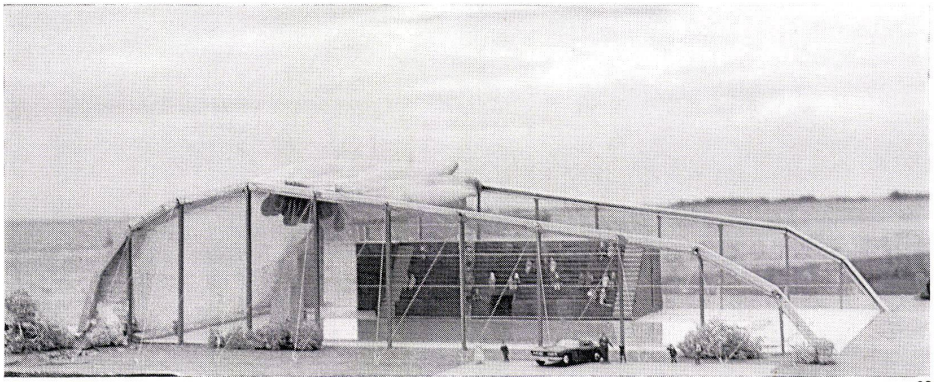
20, 21
Vorschlag für einen Messestand in Hannover, 1970 (Gernot Minke).
Die am zentralen Mast befestigten Gratseile tragen zusätzlich den polygonalen Randträger.

Proposition pour un stand de foire à Hanovre, 1970 (Gernot Minke).
Les câbles arêtiers fixés au mât central sont en même temps porteurs des poutres de rive polygonales.

Project for an exhibition stand in Hanover, 1970 (Gernot Minke).
The groin cables attached to the central mast also carry the polygonal peripheral girders.



22



23

22, 23
Vorschlag für eine veränderbare Schwimmbadüberdachung, Portsmouth, England, 1968 (Entwurf: Gernot Minke, P. C. Sutton).

Proposition de toiture variable pour une piscine, Portsmouth, Angleterre, 1968 (Gernot Minke, P. C. Sutton).

Project for a modifiable swimming-pool roof structure, Portsmouth, England, 1968 (Gernot Minke, P. C. Sutton).