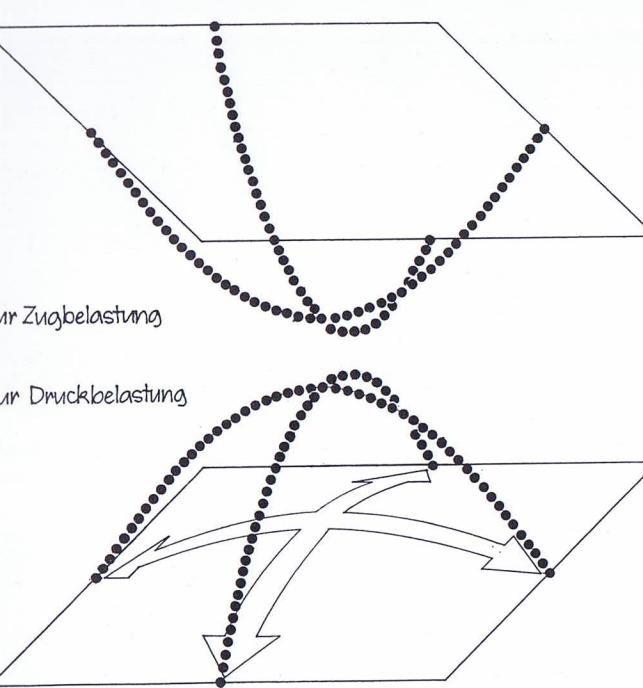
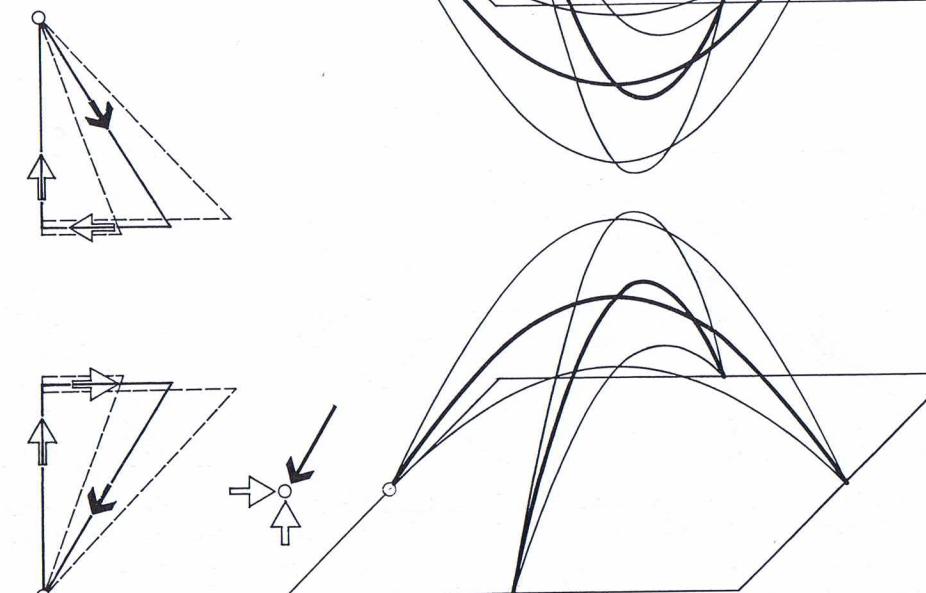


Grundlagen der räumlichen Stützgitter-Systeme
Mechanik und Tragwerkform als umgekehrtes Hängesystem



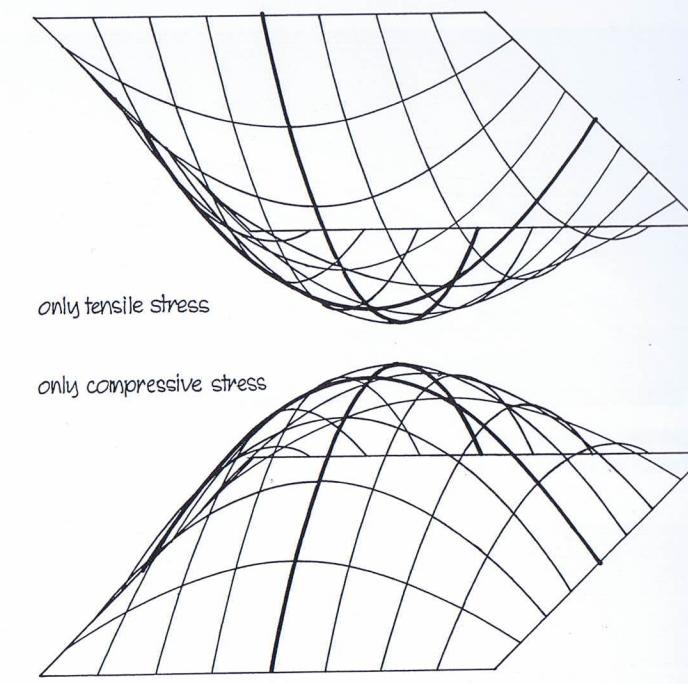
2-dimensionale Lastabtragung und Raumüberspannung durch Kreuzung zweier Stützbögen (bzw. Tragseile) in zwei Achsen
2-dimensional load transfer and space spanning through crossing two funicular arches (alternately suspension cables) in two axes

Auflagerkräfte im Hängenetz und Stützgitter
Forces at supports of suspension net and thrust lattice



The optimum arch form under dead load is the funicular line (thrust line). The funicular arch is the inverted catenary.
The forces acting upon the supports of the thrust lattice match with the like forces in the suspension net; i.e., the arch force and the horizontal thrust are inversely proportional to the arch rise.

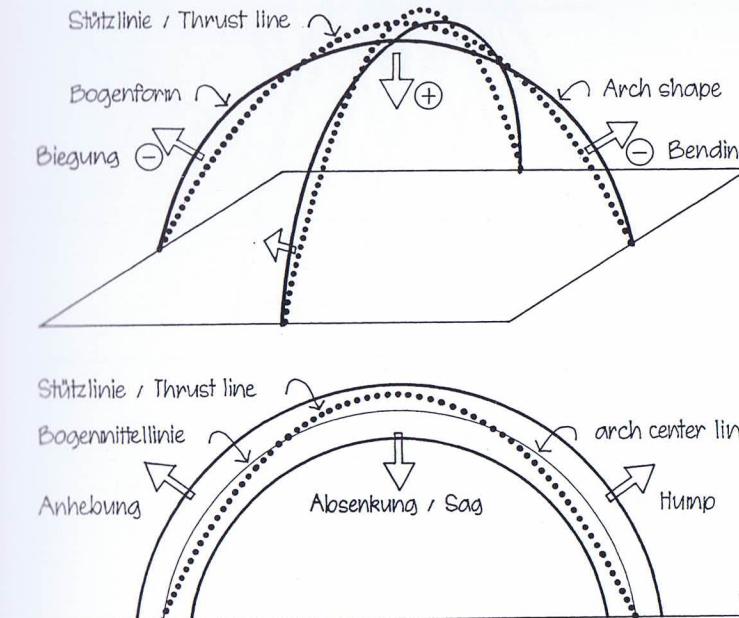
Basics of the 3-dimensional thrust lattice systems
Bearing mechanism and structure form as inverted suspension system



Bildung einer Viereck-Maschenstruktur durch Parallelreihung und gegenseitige Durchdringung der Bogen- (bzw. Hänge-) Linien
Formation of a quadrangular mesh pattern through parallel juxtaposition and interpenetration of arch (alternately suspension) lines

Biegebeanspruchung des Stützgitters

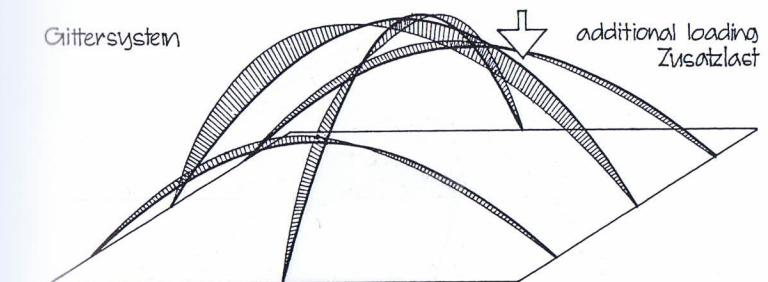
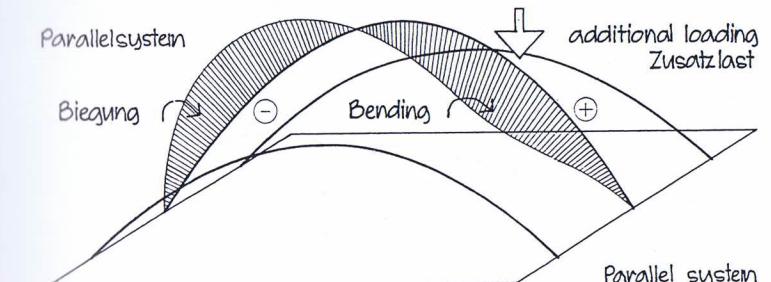
Abweichung von Stützlinie / Deviation from funicular thrust line



Abweichung der Bogenmittellinie von der Stützlinie erzeugt Kräfte quer zur Achse und damit Biegebeanspruchung des Querschnittes
Deviation of the arch center line from the funicular thrust line produces forces normal to the axis and thus bending stresses in the arch section

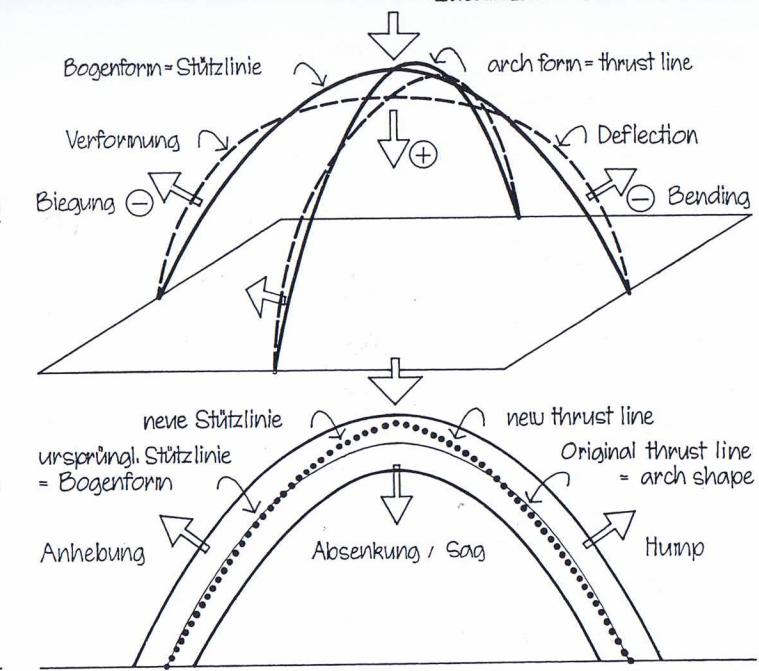
Widerstandsmechanik des Stützgitters bei Zusatzlasten / Resistance mechanics of thrust lattice under additional loading

Unterschied zwischen Parallelsystem und Gittersystem bei Punktbelastung
Difference between parallel system and lattice system under point loading



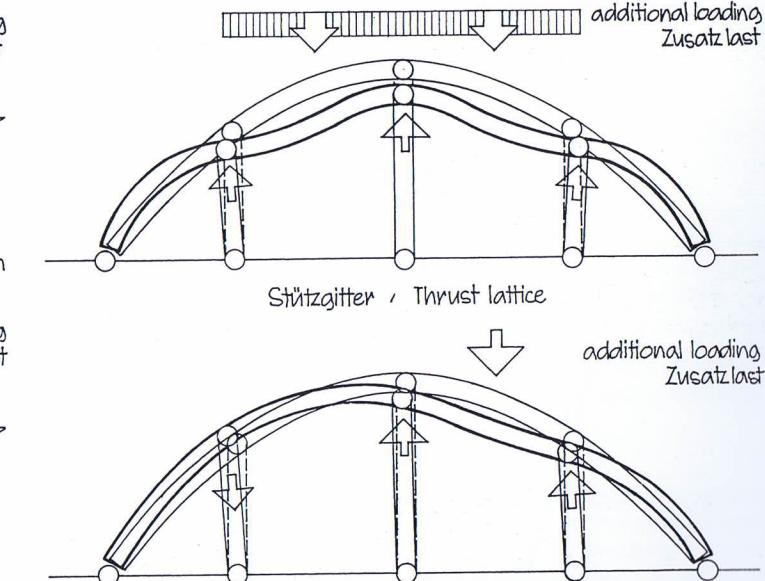
Durch kreuzweise Durchdringung mit steifen Verbindungen nehmen auch die unbelasteten Stützbögen an der Widerstandsmechanik gegen Verformungen teil
Due to crosswise interpenetration and rigid connection, also the arches without loading are drawn into the resistance mechanics against deformations

Bending stressing in the vaulted thrust lattice
Zusatz-Last / Additional load



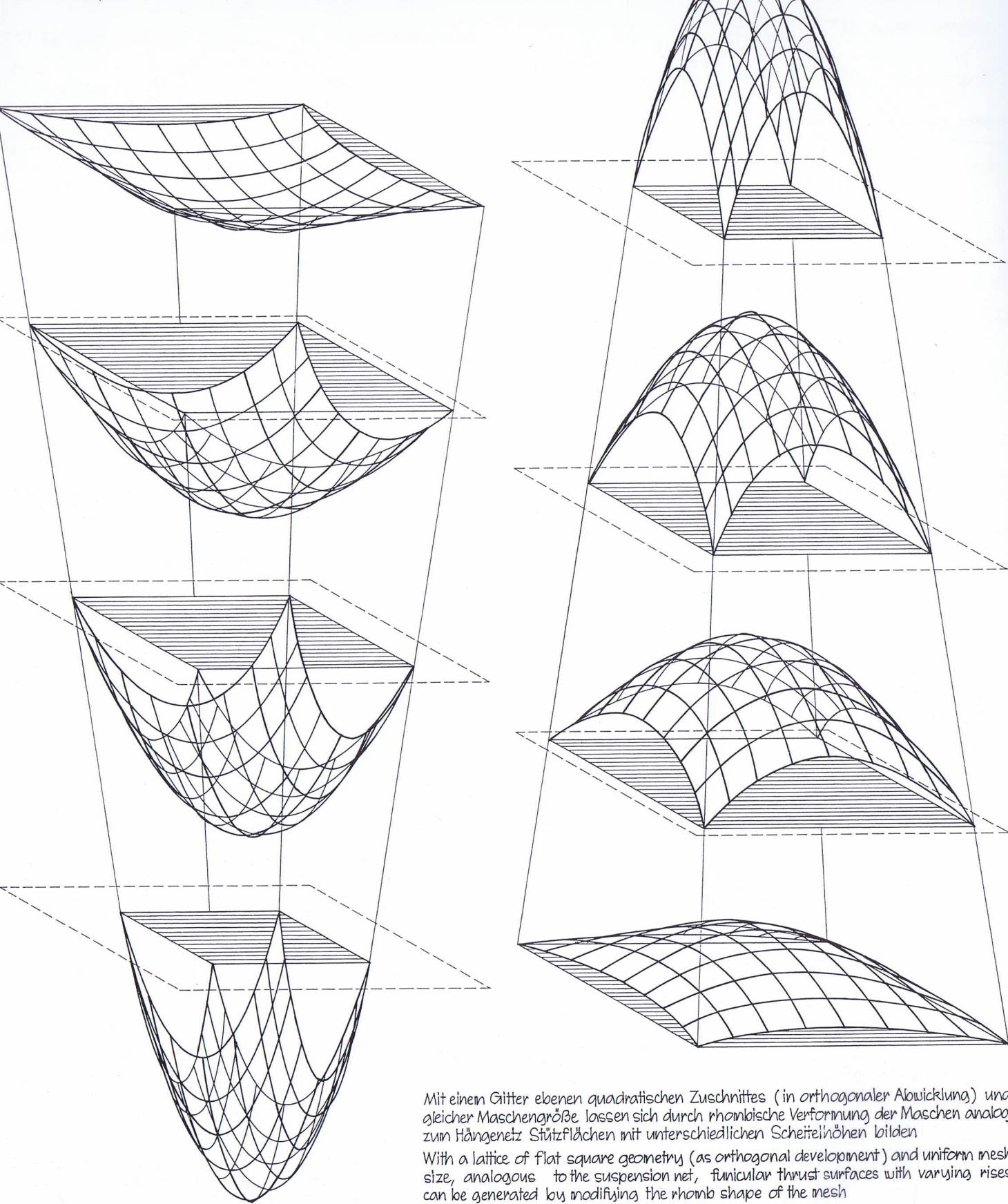
Bei zusätzlichen Lasten entspricht die Stützlinien-Bogenform nicht mehr dem neuen Belastungszustand. Im Bogen entsteht Biegung.
Under additional loading the funicular arch form no longer matches with the new load condition resulting in bending of the arch

Widerstand des Gesamtsystems im Stützgitter bei zusätzlicher Belastung
Resistance of total system in the thrust lattice under additional loading



Die Widerstandsmechanik resultiert aus: Biegung der Bogenachse, Torsion des Bogenquerschnittes, Verschiebung des Kreuzungs-(Maschen-)Winkels
The resistance mechanics results from: Bending of arch axis, torsion of arch cross section, wrenching of intersection angles (mesh angles)

Entwicklungen von Hängeflächen und Stützflächen
Form developments of suspension surfaces and thrust surfaces



Stützgitter: Definition und Merkmale

Funicular thrust lattice: Definition and characteristics

Definition

Das Stützgitter ist ein räumlich gekrümmtes flächiges Maschen-Tragwerk mit durchlaufenden Linienelementen in dem die Lasten durch Stützmechanismus in zwei Achsen abgetragen werden.

The funicular thrust lattice is a doubly curved planar mesh structure with continuous lineal members, in which the loads are transmitted into two dimensions through thrust mechanics.

Merkmale

Zwei Scharen von Stützbögen

Das Tragsystem wird gebildet aus zwei Scharen einander durchdringender Stützbogen-Linien. Die Linien-Elemente müssen wie beim unabhängigen Stützbogen biegesteif gegenüber Sekundär-Lasten sein.

Gleiche Maschengröße

Die Durchdringung der Bogenlinien muß so erfolgen, daß Meshes mit gleichen Seitenlängen (= gleichen Knotenabständen für alle Bogenlinien) entstehen.

Unterschiedliche Meshwinkel, fixiert

Die Gesamtform des Tragsystems wird, außer durch die Bogenkrümmungen, durch die einzelnen Meshwinkel bestimmt. Zur Erhaltung der Strukturform muß daher die Fixierung der Meshwinkel sichergestellt sein.

Umgekehrte Hängeform

Die optimale Stützgitterform kann empirisch durch Umkehrung des entsprechenden Hängesystems mit gleichmäßigen Netz gewonnen werden.

Characteristics

Two sheaves of funicular arches

The structure system is formed by two sheaves of funicular arch lines interpenetrating each other. The lineal members, as with the independent funicular arch, must be bending-resistant against secondary loads.

Equal mesh size

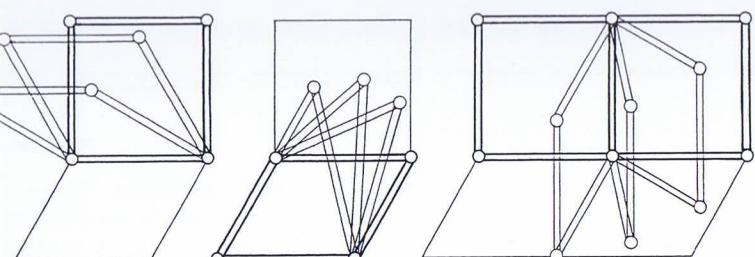
The interpenetration of arch lines must be in such a way that meshes with equal side length (= equal knot distances in all arch lines) will result.

Differing mesh angles, fixed

The overall shape of the structure is determined not only by the arch curvatures, but also by the individual mesh angles. Thus, for maintaining the structure form, the fixing of mesh angles is prerequisite.

Inverted suspension shape

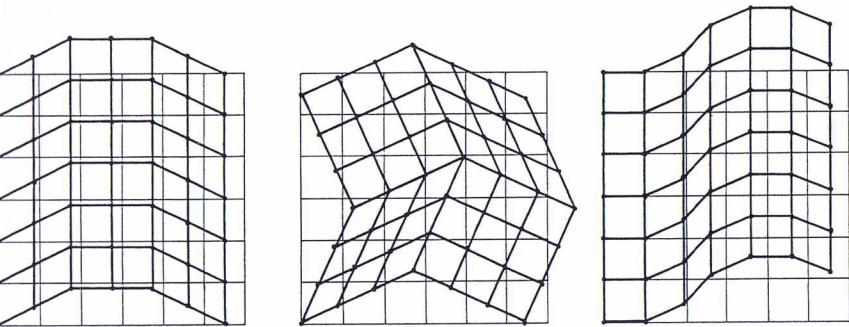
The optimum shape for the thrust lattice can be developed empirically by inverting the analogous suspension system with uniform meshes.



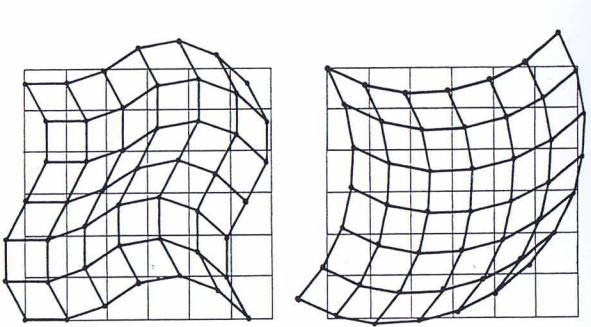
Geometrie des gleichmaschigen Gitters
Geometry of the lattice with uniform meshes

Die gleichseitige Gittermasche ist das Grundelement der Stützgitter-Geometrie. Die (theoretisch) flexiblen Maschenknoten ermöglichen Gitterflächen jeder Formgebung.
The equilateral lattice mesh is the basic element of the vaulted lattice geometry. The (theoretically) flexible knots allow for lattice surfaces of any shape.

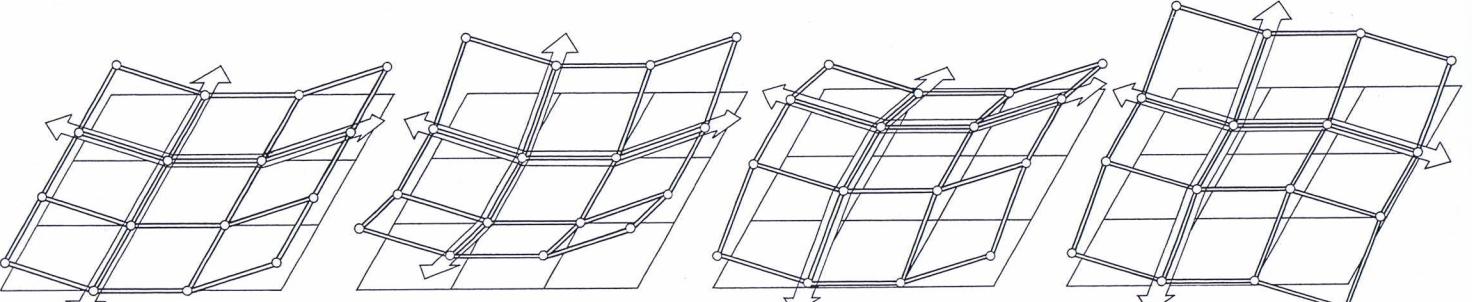
Formsteuerung durch Maschenwinkel / Form manipulation through mesh angle



Flexibilität der gleichmaschigen Struktur im ebenen Gitter

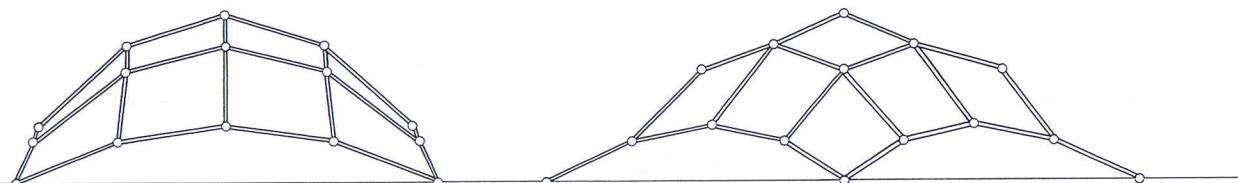


Flexibility of the uniform mesh pattern in the plane lattice

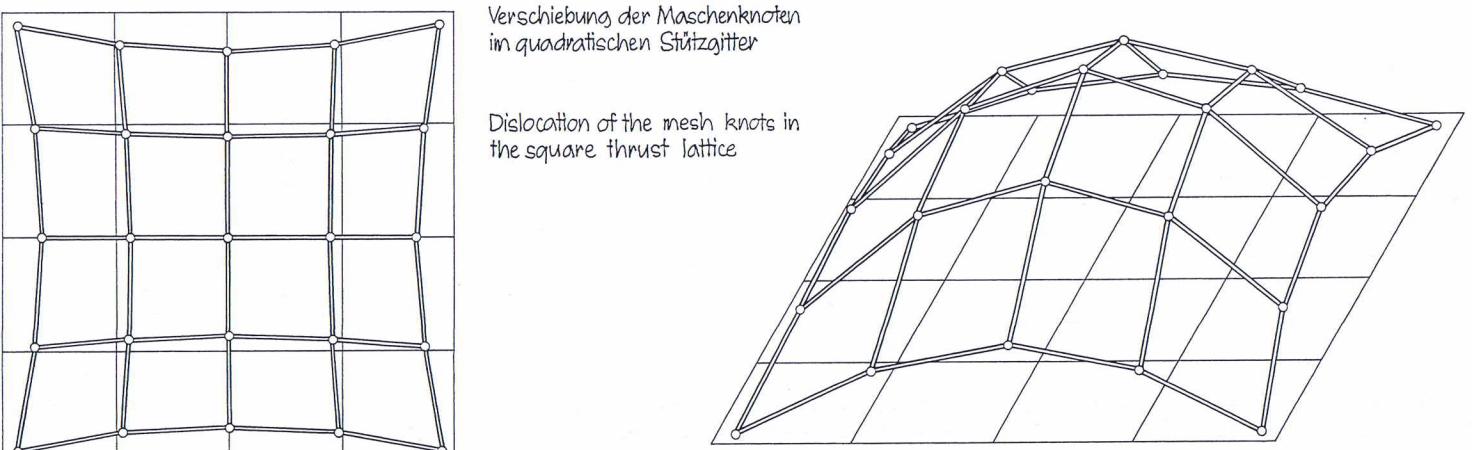


Räumliche Flexibilität der gleichmaschigen Gitterstruktur

3-dimensional flexibility of the uniform mesh lattice



Verschiebung der Maschenknoten
in quadratischen Stützgitter



Dislocation of the mesh knots in
the square thrust lattice

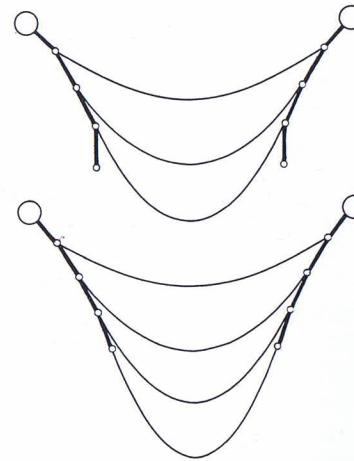
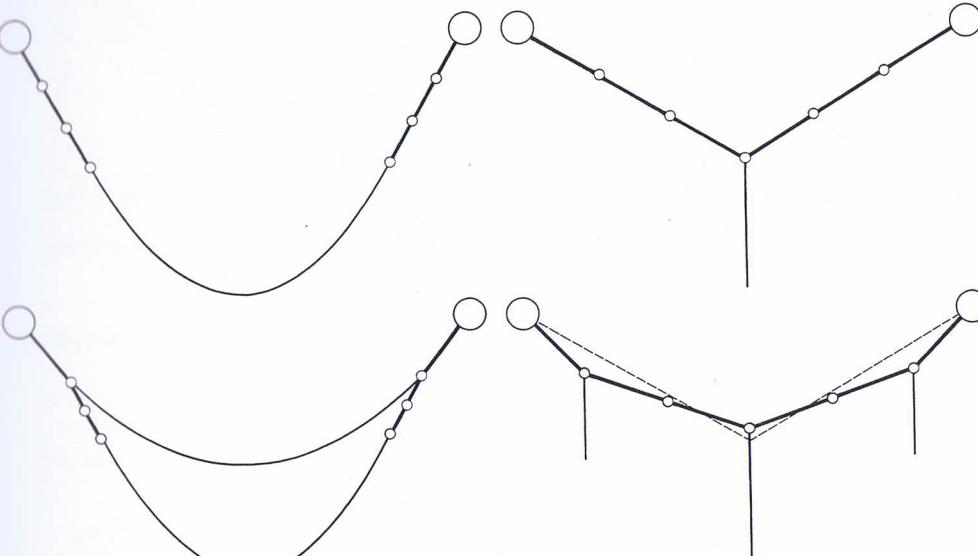
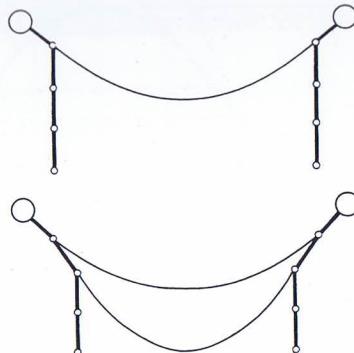
Doppelte Krümmung des Randbogens im Stützgitter = Ableitung vom Hängenetz
Double curving of boundary arch in thrust lattice = Derivation from suspension net

Zwei gegenüberliegende, einfach aufgehängte Randseile werden durch eingehängte Tragseile in Richtung der angreifenden Seilkräfte bewegt
Entsprechend dem abnehmenden Angriffswinkel entsteht eine Krümmung in Ebene der Tragseile
Analog wird das zwei seitig aufgehängte Randseil zusätzlich in Projektion der Tragseile gekrümmmt

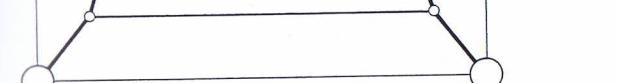
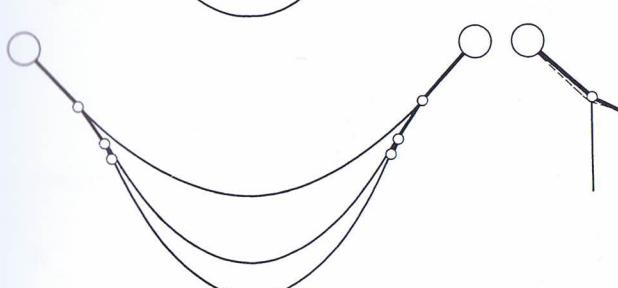
Two opposite, singly suspended edge cables, when interlocked with load cables, will follow the direction of acting cable forces

According to the decreasing angle of load onset a curving in the plane of load cables will develop

Analogously, an end-suspended edge cable will also be curved in projection of load cables

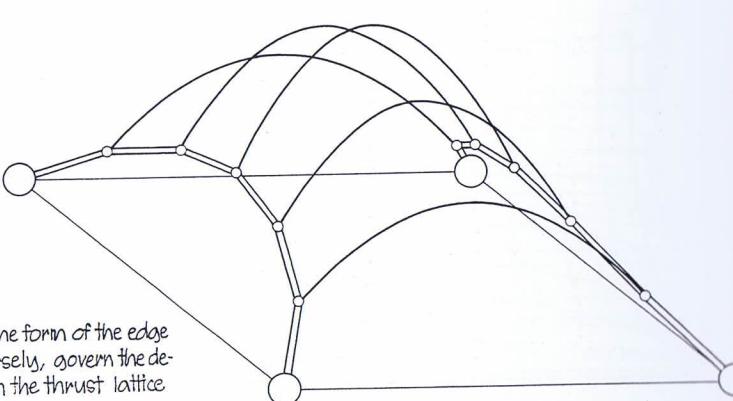


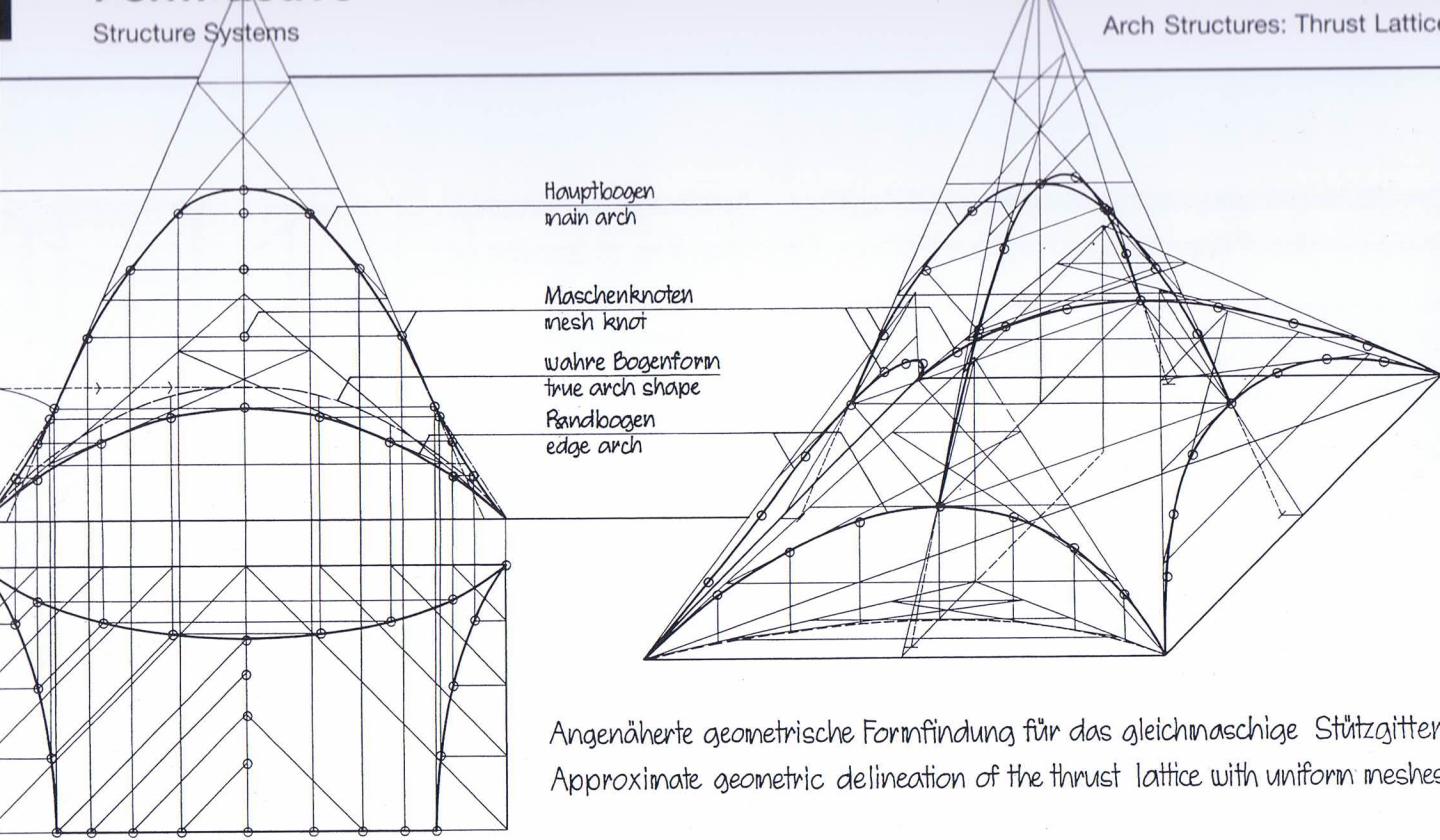
Krümmung der beiden Randseile infolge
Einhängung von einzelnen Tragseilen
Curving of both edge cables due to
linkage with separate load cables



Die Gesetzmäßigkeit der Randseil-Ausbildung im
Hängenetz gilt im umgekehrten Sinn für die Ge-
staltung des Randbogens im Stützgitter

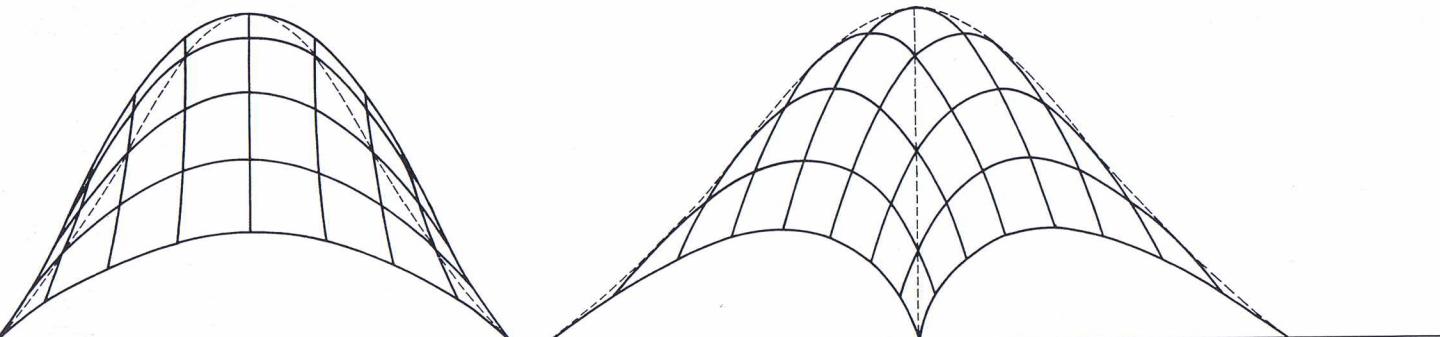
The principles conditioning the form of the edge
cable in the hanging net, inversely, govern the de-
sign of the boundary arch in the thrust lattice



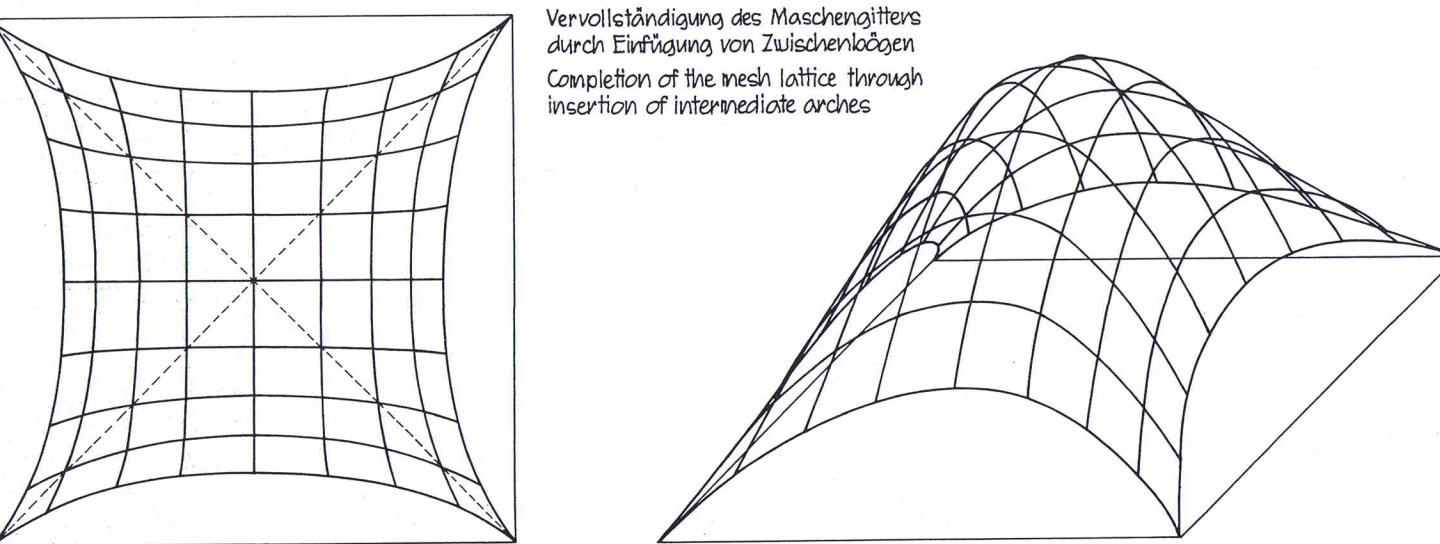


Die Bögen haben die gleiche Lauflänge. Die Stützlinienform wird zur Vereinfachung als Parabel konstruiert
Mit der Wahl der beiden sich kreuzenden senkrechten Hauptbögen werden
Grundform, Bogen-Lauflänge und Maschenteilung festgelegt
Die Randbögen werden in eine Ebene gelegt, deren Neigung größer ist
als die Endtangente der Hauptbögen

All arches have the same lineal length. The funicular arch configuration, the thrust line, for simplicity will be delineated as a parabola
With the choice of the two main arches crossing each other the structural form basis, the lineal arch length and the mesh division are determined
The edge arches are laid out in a plane having an inclination larger than the final tangent of the main arches



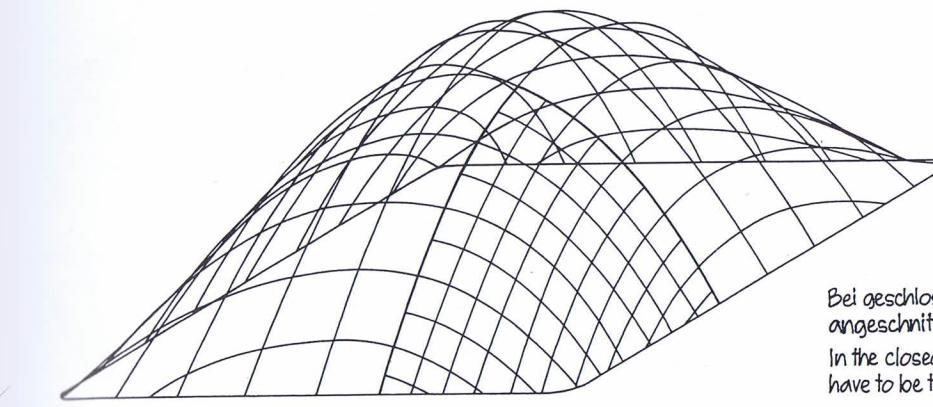
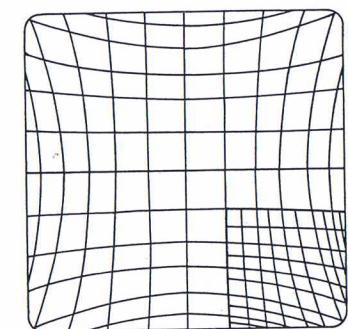
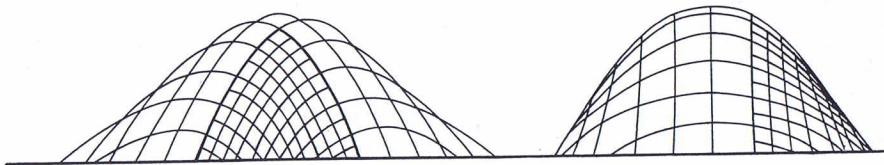
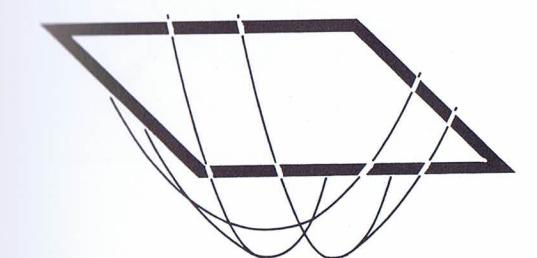
Vervollständigung des Maschengitters
durch Einfügung von Zwischenbögen
Completion of the mesh lattice through
insertion of intermediate arches



Haupttypen der Ausbildung des Stützgitter-Randes

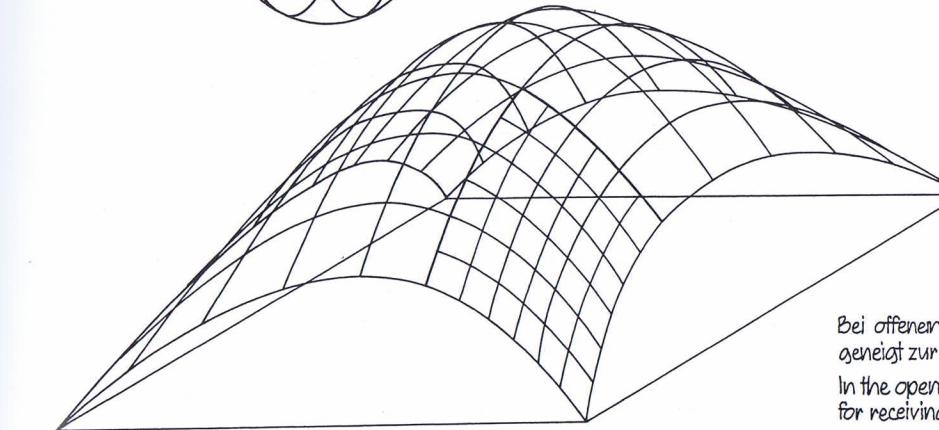
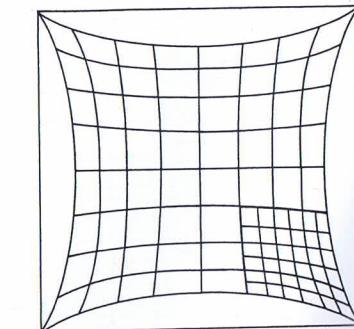
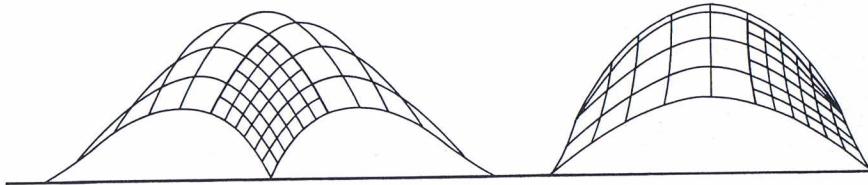
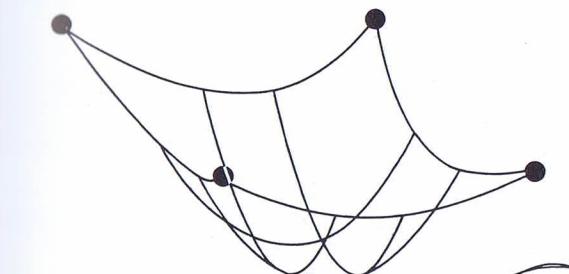
Major types of boundary design in the funicular thrust lattice

Geschlossener ebener Randschnitt / Closed flat boundary cut



Bei geschlossenem Rand mit geradlinigen Seiten werden die Randmaschen
angeschnitten. Der Randschnitt wird auf Horizontalbiegung beansprucht
In the closed boundary type with rectilinear sides the boundary meshes
have to be truncated. The flat edge is subjected to horizontal bending

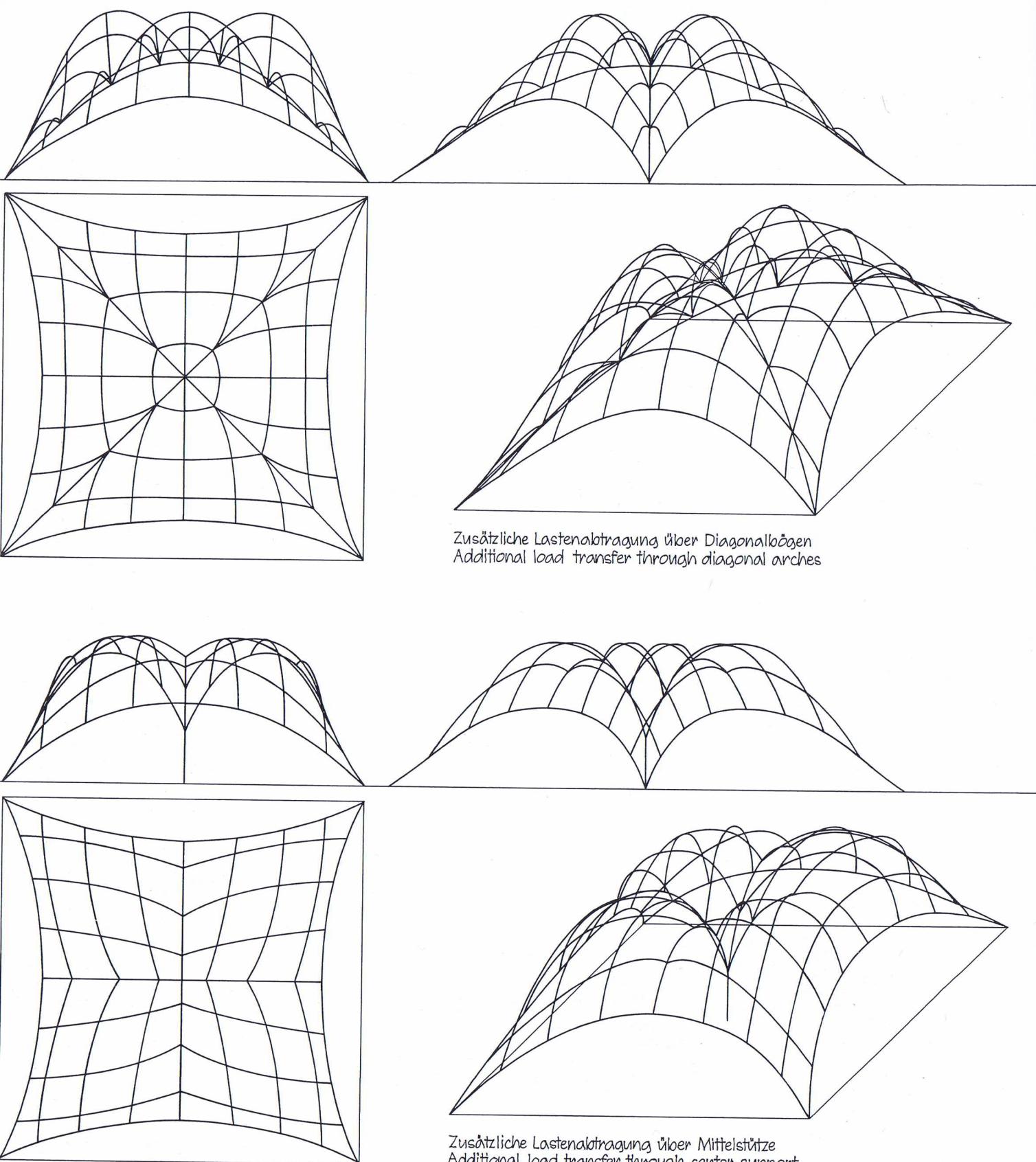
Offener Maschenbogen-Rand / Open mesh arch boundary



Bei offenem Rand bildet ein Maschenbogen den Abschluß. Er ist nach innen
geneigt zur Aufnahme des Gitterschlusses und wird nur auf Druck belastet
In the open boundary type a mesh arch forms the edge. It is inclined inwardly
for receiving the lattice thrust and is subjected to compressive stresses only

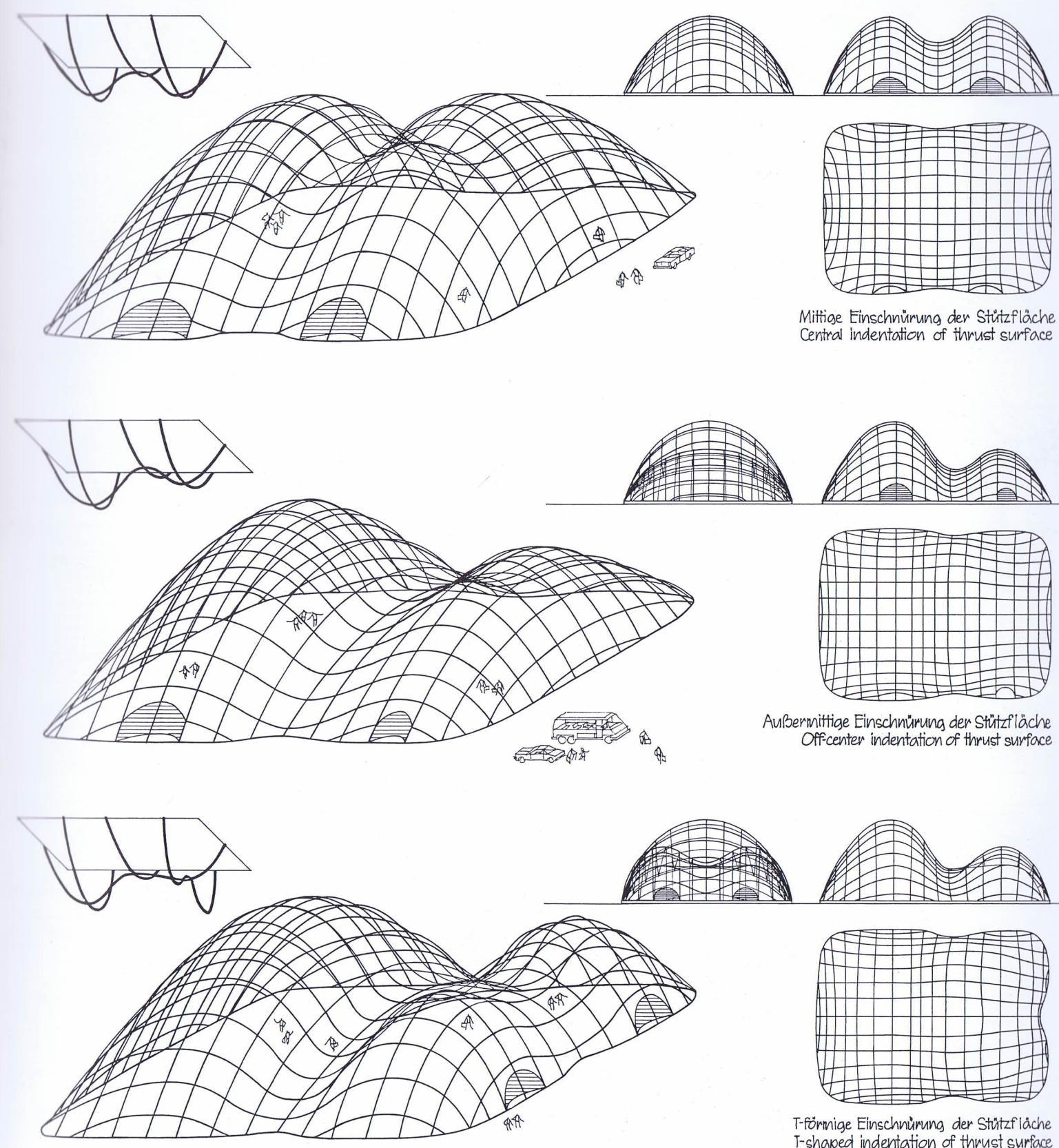
Stützflächen-Geometrie bei veränderter Lastabtragung

Geometry of thrust surface with altered load transfer



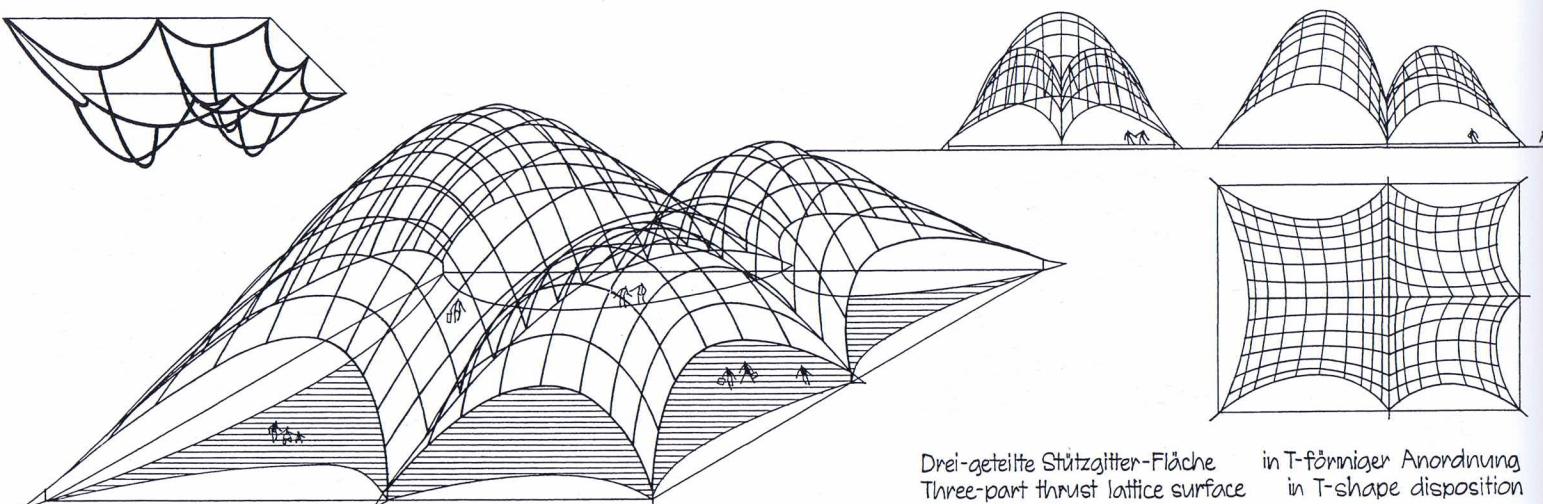
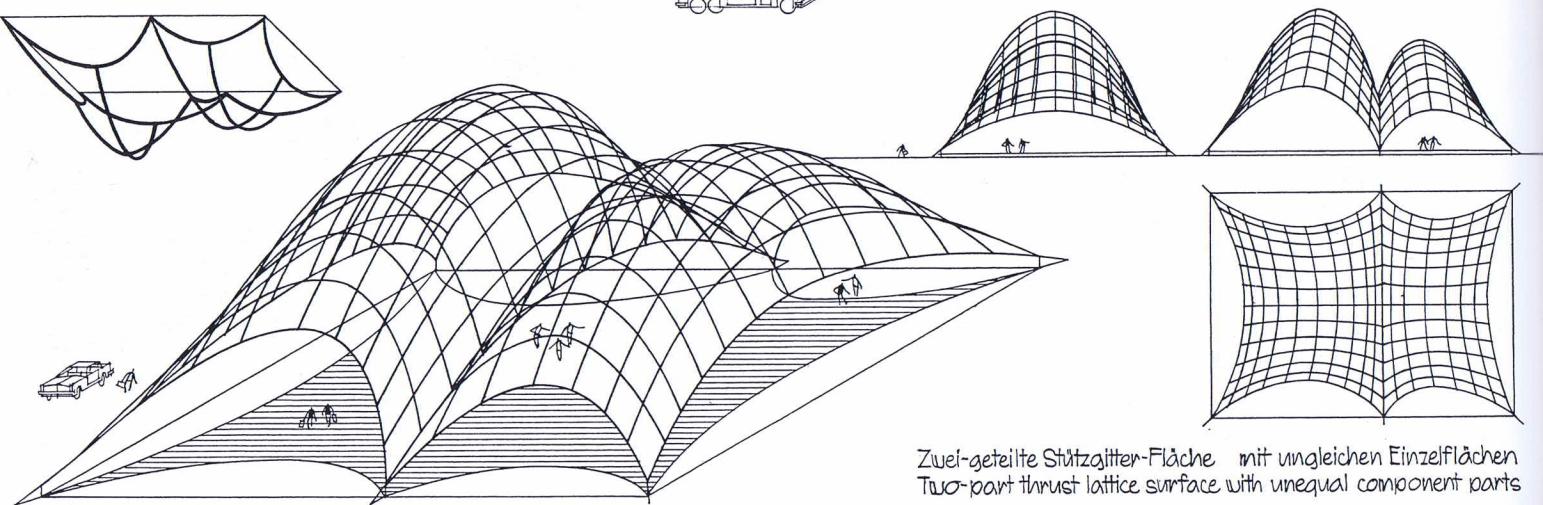
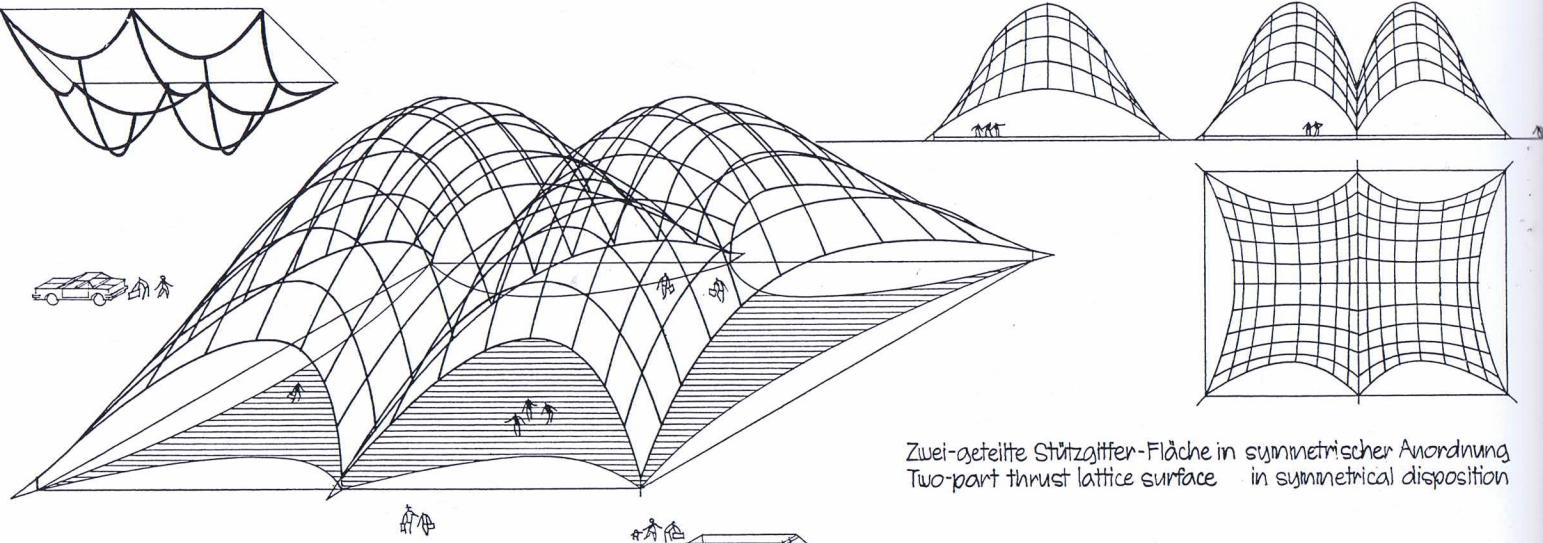
Stützgitter-Systeme mit ebener Randschnitt-Abschluß
gegliedert durch Flächen-Einschnürung

Thrust lattice systems with level-cut edge definition
articulated through surface indentation



Stützgittersysteme mit Maschenbögen als Randabschluß und als Gitter-Unterteilung

Thrust lattice systems with mesh arch as edge definition and as lattice subdivision



Stützgitter-Systeme für unregelmäßige Grundrißgestaltung

Thrust lattice for free-form design of floor plan

