"Flug der Vögel"

Autor(en): **Wenger, P. / Gasser, H.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **109 (1991)**

Heft 51-52

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-86070

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

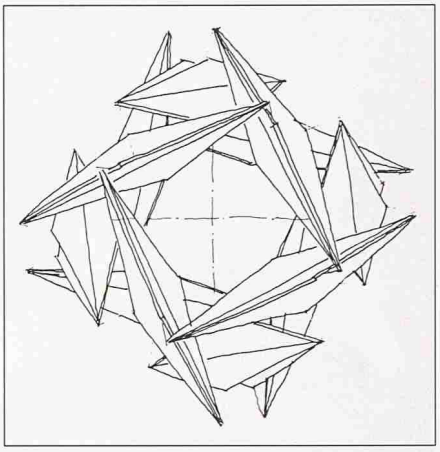
Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

«Flug der Vögel»

Der Fachverband Schweizer Betonvorfabrikanten zeigte an seinem Stand an der Swissbau 91 den «Flug der Vögel» – eine sogenannte «Tensegrity-Struktur», deren besondere Eigenschaft darin besteht, dass sie erst unter Spannung stabil wird. Architekt und Ingenieur äussern sich im folgenden Beitrag zu Gestaltung und Konstruktion dieses sowohl künstlerisch wie technisch anspruchsvollen Gebildes.



Zur Konstruktion

Was sind Tensegrity-Strukturen?

Tensegrity ist ein Kürzel von «tensional integrity» und bezeichnet Strukturen, die erst unter Spannung stabil werden. Ein einfaches Beispiel: Einem Balken werde in der Mitte ein Gelenk eingebaut. Unter Last gibt es keinen stabilen Gleichgewichtszustand mehr. Hält man aber die gelenkig gelagerten Balkenenden starr fest, so kann das Einsenken des Mittelgelenkes unter einer Last nur erfolgen, wenn sich die Balkenhälften dehnen. Hat der Balken eine elastische Zugsteifigkeit, entstehen Zugkräfte, die im Gelenk bei genügender Einsenkung zu einem Gleichgewicht mit der Belastung führen. Die Dehnung und mit ihr die Zugkraft ist proportional zum Quadrat der Einsenkung. Da die zum Gleichgewicht führende Vertikalkomponente der Zugkraft proportional zur Einsenkung zunimmt, ist die quasielastische Rückstellkraft des Mittelgelenkes durch dieses System proportional zur dritten Potenz der Einsenkung. Es liegt somit ein nichtlineares System vor, weshalb alle klassischen Berechnungsmethoden sowie die auf ihr basierenden Computerprogramme versagen. Das System wird als instabil gemeldet.

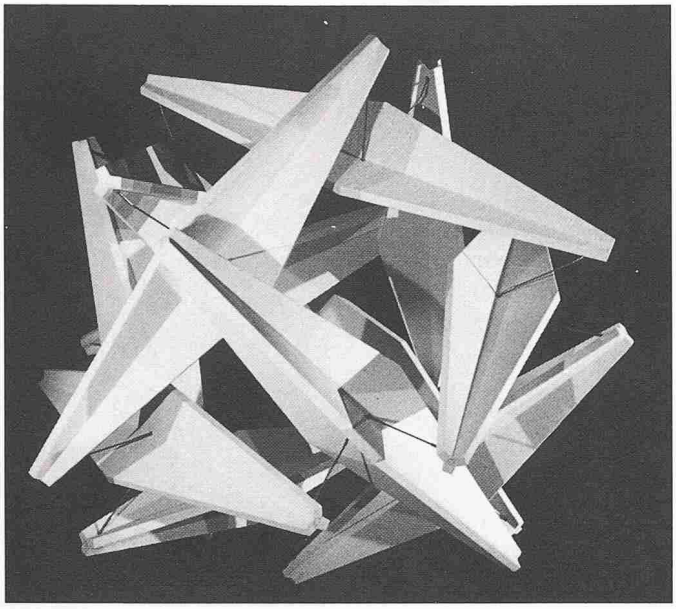
VON P. WENGER UND H. GASSER, BRIG/LUNGERN

Grundtheorien für die Erzeugung von Tensegrity-Strukturen

Es gibt eine Anzahl von Gruppen oder Familien, denen Tensegrity-Strukturen zugeordnet werden können. Die einfachsten Formen benützen lediglich drucksteife, gerade Stäbe und Seile, die die Stabenden untereinander verbinden. Die Stäbe erfahren somit keine Biegung, wenn man ihr Eigengewicht vernachlässigt. Man kann unterscheiden zwischen Strukturen, deren Stabenden mit zwei, drei und mehr Seilen gehalten werden. Es gibt u.a. regelmässig lineare, aber auch sphärisch reguläre Konfigurationen, etwa vergleichbar mit den regelmässigen Polyedern. Man kann statt gerade Stäbe geknickte oder zusammengesetzte Stäbe verwenden, die dann auch Biegemomenten ausgesetzt werden.

Flug der Vögel

Bei der Tensegrity-Struktur «Flug der Vögel» hat Peter Wenger aus der Gruppe der sphärisch regelmässigen Strukturen die Zwölfstab-Konfiguration gewählt.



Man formt und zeigt die Möglichkeiten des Betons – und findet die Leichtigkeit

In seiner Originalform ist jedes Stabende mit 4 Seilen verbunden, so dass sich total 48 Seile ergeben. Da die Betonelemente aber biegesteif sind, haben wir die Struktur auf 24 Seile vereinfachen können.

Statische Berechnung

Es scheint, dass Tensegrity bisher vornehmlich ein Thema für Topologen, Mathematiker und – als Anwender – Architekten und Künstler war. Das rührt daher, weil Tensegrity-Strukturen bisher lediglich als künstlerischer Schmuck für Stadtpärke oder Verwaltungsgebäude dienten. Zu baupraktischer Bedeutung sind sie bis heute nicht gelangt. Über Anweisungen für eine über eine Näherung hinausgehende statische Berechnung ist uns nichts bekannt. Wir haben uns daher eingehend mit den Grundlagen der Statik von Tensegrity-Strukturen befasst und sind dabei zu einigen erstaunlichen Ergebnissen gelangt. Unter anderem fällt auf, dass solche Elemente signifikante Unterschiede im Verformungsverhalten aufweisen, je nachdem ob sie auf Druck, Querkraft oder Biegung beansprucht werden.

Diese Voruntersuchungen kamen uns zustatten, als es darum ging, den «Flug der Vögel» statisch zu berechnen und zu dimensionieren. Die 12 rund 500 kg wiegenden Betonelemente passten nicht mehr in die mathematische Theorie der Struktur, die hiefür den schwerelosen Raum annimmt. Es war auch für eine ausreichende Sicherheit zu sorgen, zumal das Objekt an einer Ausstellung ja die Neugier vieler Zuschauer anlocken soll.

Wie am eingangs vorgestellten Grundmodell erkennbar, sind Tensegrity-Strukturen, ausgehend von der Ursprungslage, gegen äussere Kräfte sehr weich. Bei kleinen Seilquerschnitten würden die Deformationen gross werden; die Struktur würde, ähnlich einem schwachgepumpten Pneu, unter ihrem Eigengewicht praktisch zusammensakken. Spannt man die Seile in der Ursprungslage vor, wird die Struktur steifer und die Zugfestigkeit der Seile wird besser ausgenützt. Um die erforderlichen Vorspannkräfte zu ermitteln, kann man z.B. so vorgehen: Man erhält aus einer nichtlinearen Berechnung – etwa mit dem Programm «Flowers» – die zu einem vorgewählten Seilquerschnitt und den gegebenen Lasten gehörenden Verschiebungsvektoren, ausgehend von der spannungslosen Ursprungslage. Diese Berechnung wiederholt man unter Variierung der Seilquerschnitte so oft, bis die Deformationen das wünschbare Mass einhalten. Wenn dieses Ziel erreicht ist, wird man in der Regel feststellen, dass die Zugfestigkeit der Seile nicht ausgenützt ist. Nun reduziert man den Seilquerschnitt entsprechend der Spannungsreserve. Die mit dieser Massnahme erhöhte Dehnung ist durch eine entsprechende Vorspannung zu kompensieren.

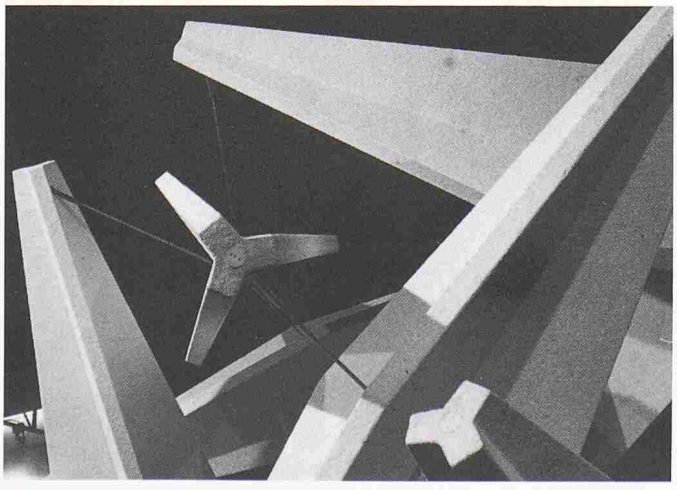
Ein Problem stellt sich nun bei der Montage. Die einzelne Elemente sind räumlich in der berechneten Lage zu stützen, die Seilverbindungen werden eingebaut und vorgespannt. Alsdann kann die Fixierung ausgebaut werden. Wählt man bei der Fixierung die Ursprungslage, müssen die Vorspannkräfte sehr genau dosiert werden, was messtechnisch nicht ganz einfach ist. Schneller kommt man zum Ziel, wenn die Fixierung in der berechneten deformierten Lage vorgenommen wird. Auf diese Weise ergibt sich als Mass für die Vorspannung der Moment, wo die Elemente sich von der Fixierung abheben. Am Beispiel der Struktur «Flug der Vögel» hat sich die Theorie gut bestätigt.

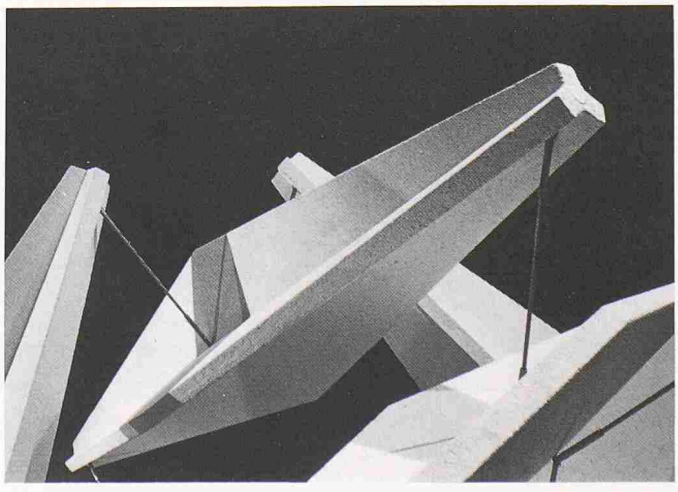
H. Gasser

Zur Gestalt

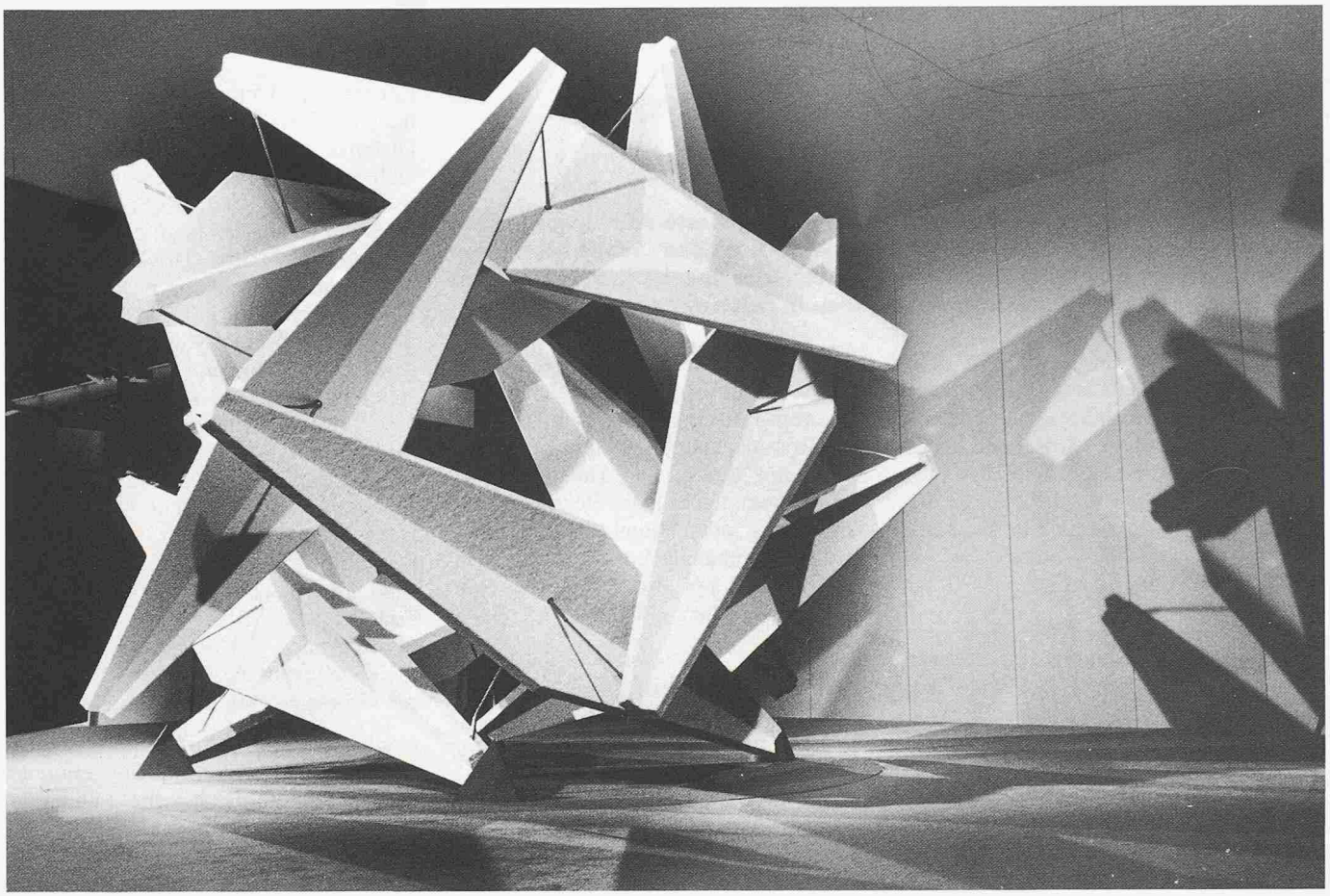
Warum man solche Übungen macht

Um sich zu lösen vom Fixiertsein auf das Gewohnte, um Distanz zu gewinnen





Die Stäbe sind in weissem Beton gegossen. Die 12 Elemente sind mit Stahlkabeln gegenseitig verspannt, so dass kein Element das andere berührt



Es ist die Suche nach der Struktur des Raumes, der Genese der Form und der Geometrien der Natur, die uns eine Strategie für den Entwurf bietet

– Freiraum – zu neuem Denken, Improvisation und Poesie.

Das Gewohnte beim Bauen, das sind Balken, Stützen und Mauern, Auflager, Gewicht und Gravitation. Man leitet – in einem kontinuierlichen System – die Druckkräfte einer Konstruktion von einem Teil auf den untern, jeder Bau ist seit Jahrtausenden «gestützt», im Unglücksfall stürzt er in sich zusammen.

Tensegrity

Dieses Wort, zusammengezogen aus «tension-integrity», birgt schon im Namen eine neue Konstruktionsphilosophie. Buckminster Fuller – der Schöpfer dieses Begriffs – hat ihn so definiert: «Ein Tensegrity-System entsteht, wenn diskontinuierliche Druckkräfte und kontinuierliche Zugkräfte aufeinander wirken und so ein stabiles Volumen im Raum erzeugen.»

Als Beispiel eine kugelförmige Raumhülle – auch ein Kuboktaeder lässt sich in eine Kugel einschreiben. Sie entsteht durch ein System von Zugkräften, die in alle Richtungen wirken und im Gleichgewicht sind. Diese Struktur ist nicht «gestützt», innere Zugkräfte ziehen sie von innen nach aussen in die Kugelform, Kräfte, die von ihrer Geometrie bestimmt sind. Im Unglücksfall würden Kugel und Kuboktaeder explodieren.

Vom Sinn dieser Experimente

Es sind Modelle zur Untersuchung der Struktur des Raumes, der Genese der Form und der Frage, ob man in den Ordnungen der Natur – in Mustern und Raumnetzen – spielerische Entwurfsstrategien finden kann; zur Untersuchung auch, ob diese neuartigen Konstruktionsprinzipien nicht zu leichteren Bauweisen führen könnten, was – in einer Zeit der Ressourcenverknappung – wirklich sinnvoll wäre.

Betonvögel fliegen

Der künstlerische Ausdruck des Konstruktiven und Vorfabrizierten

Man formt und zeigt die Möglichkeiten des Betons und findet die Leichtigkeit.

Kühnheit des Konzepts und Unbedingtheit der Idee, der Fantasie lassen das Materielle ins Geistige, das Technische ins Künstlerische umschlagen – bei einem Material, dem Beton, der meist plump und kopflos angewendet wird.

Zur Ausführung der Struktur

Der Flug der Vögel ist eine Tensegrity-Struktur, die einen Kuboktaeder bildet. Sie besteht aus 12 «Stäben» die pfeilförmig ausgebildet sind. Der Querschnitt ist immer ein Dreieckstern. Länge des Stabes: 3 m, Gewicht 480 kg. Die Stäbe sind in weissem Beton gegossen und die Oberfläche bearbeitet. Die 12 Elemente sind mit kurzen Stahlkabeln gegenseitig verspannt, so dass kein Element das andere berührt, sie schweben sozusagen in der Luft. Die Endpunkte der Elemente liegen auf der umschreibenden Kugel, je 3 Elemente liegen auf einem von 4 Grosskreisen.

Die Struktur hat ein Gewicht von total 5,7 t und war auf einem Drehteller montiert.

P. Wenger

Tensegrity-Strukturen

1985: Biennale der Schweizer Kunst, Stäbe und Saiten, definitiver Standort beim CIP-Erwachsenenbildungszentrum in Tramelan 1991

1986: Merkzeichen – Repères im Wallis, Arc-en-Ciel in Monthey, Riesenmolekül C-60 Visp, definitiver Standort vor den Lonzawerken in Visp

1986: 8. Schweizer Plastikausstellung Biel, Münchhausens Leiter zum Mund, definitiver Standort vor dem Polizeigebäude Brig

1991: Flug der Vögel für den Stand des Fachverbandes Schweizer Vorfabrikanten an der Swissbau 91 in Basel. Jetzt im Besitz der G. D. SBB

Adressen der Verfasser: *Peter Wenger*, Architekt BSA/SIA/SWB, Furkastrasse 7, 3900 Brig; Dr. *Hans-Heini Gasser*, dipl. Ing. ETH/SIA, Oberseestrasse, 6078 Lungern.