



Bilder: Hansruedi Riesen

Der Ingenieur: Zwischen Rechenknecht und Formfinder

Die Ikonen der Arteples sind spektakulär, die Namen der Architekten in aller Munde. Von den Ingenieuren spricht kaum jemand. Ein Besuch auf den Arteples zeigt, dass viele Bauten nur deshalb so selbstverständlich an ihrem Platz stehen, weil ein Bauingenieur – die Szene ist von Männern dominiert – die Register seines Könnens zog. Für die Berechnung der spektakulären Bauten genügte hingegen das einfache Ingenieur-Einmaleins.

Links: Ein feines Kunststoffnetz lässt die Türme auf der Bieler Arteplage metallisch silbern schimmern

Viel Stahl verbirgt sich im Innern der Türme. Sie müssen Windgeschwindigkeiten bis zu 150 Kilometern je Stunde trotzen

Spannkreuze aus feinen Stahlstäben steifen die Dachkonstruktion aus

Die Expo.02 – das sind die vier Arteplages und ihre Ikonen: Biel mit den Türmen von Coop Himmelb(l)au, Neuenburg mit den Galets des Teams Multipack, Murten mit Jean Nouvels Monolithen und Yverdon mit Diller + Scofidios Wolke. Die Namen der Architekten sind in aller Munde, vielleicht kennt man noch einzelne Szenografen von Ausstellungen. Die Ingenieure hingegen gehen vergessen, wie meistens in der Architekturdebatte. Dabei wissen wir alle: Ohne sie geht nichts, sie sind dafür verantwortlich, dass der Wind die Türme nicht fortweht, dass der Monolith nicht im See versinkt.

Imposante Türme – einfach konstruiert

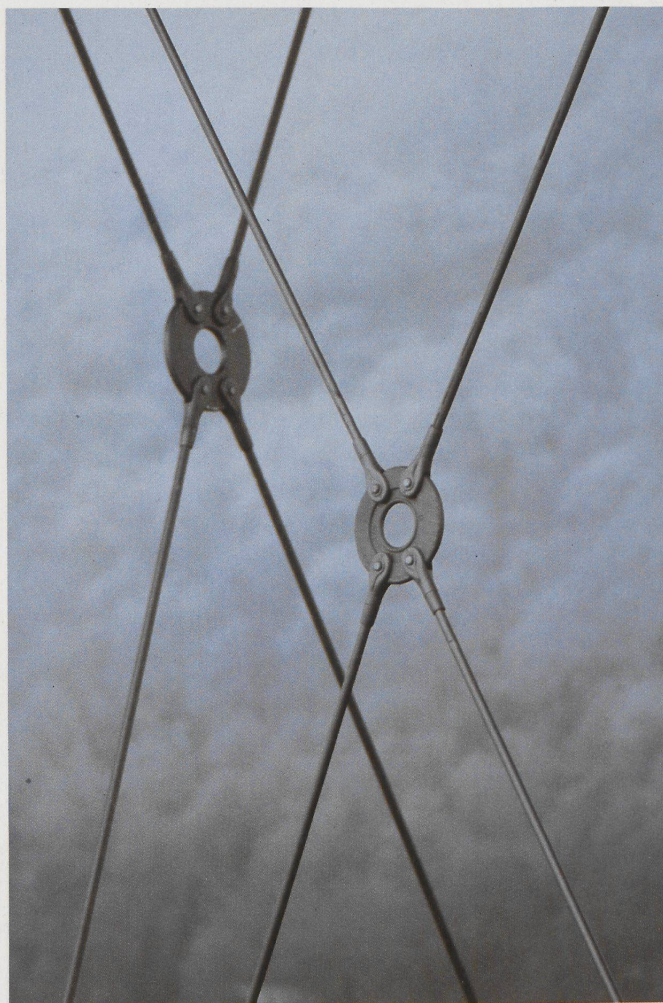
Die drei Türme der Bieler Arteplage symbolisieren eindrücklich die Macht: Vierzig Meter hoch ragen sie auf, der eine entfernt an einen Kühlturm erinnernd, die beiden anderen mehrfach geknickt, mit rechteckigem Grundriss. Aus der Ferne schimmern sie silbern im Licht, genau so wie das hohe lange Dach, das über der Plattform schwebt und in den See stösst. Coop Himmelb(l)au, die Architekten der Bieler Expo-Ikonen, sind bekannt. Dass die Bauten stehen, dafür ist jedoch Daniel Indermühle verantwortlich. Der Berner Ingenieur vom Büro SJB + Partner hat das Dach und weitere Bauten der Arteplage sowie – zusammen mit dem Frauelfelder Christoph Meier – die drei Türme berechnet und konstruiert. Als «Dienstleister der Architekten» hat der Ingenieur dafür gesorgt, dass diese ihre Ideen umsetzen konnten. Zunächst hatte Indermühle befürchtet, die Wiener Architekten hätten Starallüren und die Zusammenarbeit würde schwierig werden. Diese Bedenken waren schnell zerstreut. Den Architekten war es wichtig, dass sie ihr Projekt trotz zahlreicher Sparübungen und Turbulenzen realisieren konnten, weshalb sie zu Kompromissen bereit waren. So liessen sie sich davon überzeugen, dass sich das Stahldach in Holz konstruieren lässt, ohne dass es deswegen gleich heimelig-plump wirken muss. Andererseits verzichtete der Holz-

bauspezialist darauf, die Türme auch in Holz zu bauen, denn Indermühle musste mit Windgeschwindigkeiten von 150 Kilometern je Stunde rechnen, die vom See her auf die Türme – so hoch wie 14-geschossige Hochhäuser – treffen. 170 kg/m² beträgt der durchschnittliche Staudruck, doppelt so viel wie an Land. In Holz gebaut wären die Machtsymbole zu einem zusammengebastelten Haufen geworden, denn die Türme sind statisch keine optimierten Formen, im Gegenteil: Der Ingenieur hatte auf die Formfindung keinen Einfluss. Er war ein «klassischer Rechenknecht», wie er sagt. Dies meint er ohne Bitterkeit gegenüber den Architekten, denn das Prinzip von «Form follows Function» versagt hier, wo der Zweck allein die Form ist.

Ein Höhepunkt für Daniel Indermühle war die Konstruktion der Helix, die sich von der Plattform spiralförmig zur Brücke über das Bieler Hafenbecken dreht. Indermühle hat kastenförmige, räumlich verwundene Holzelemente entworfen – eine für die Laien vielleicht unspektakuläre Konstruktion, die an den Ingenieur und die Zimmerleute jedoch hohe Anforderungen stellte. In der elliptischen Spirale wechseln die Radien ständig, ausserdem dürfen die weit ausladenden Elemente nicht kippen. Indermühle freut sich, dass die Helix in letzter Minute doch noch gerettet werden konnte, wenn auch ein Wermutstropfen bleibt: Massive Gerüsttürme stützen sie und führen die Lasten auf die Plattform ab. Diese würden nämlich punktförmige Lasten nicht verkraften und für zusätzliche Pfähle fehlt das Geld. Der Ingenieur fürchtet, dass die Gerüsttürme, selbst wenn sie mit Blachen eingekleidet sind, den Schwung der filigranen Helix brechen werden. Dies schmerzt ihn, denn schliesslich habe selbst ein Ingenieur «ein minimales gestalterisches Gespür», meint Daniel Indermühle.

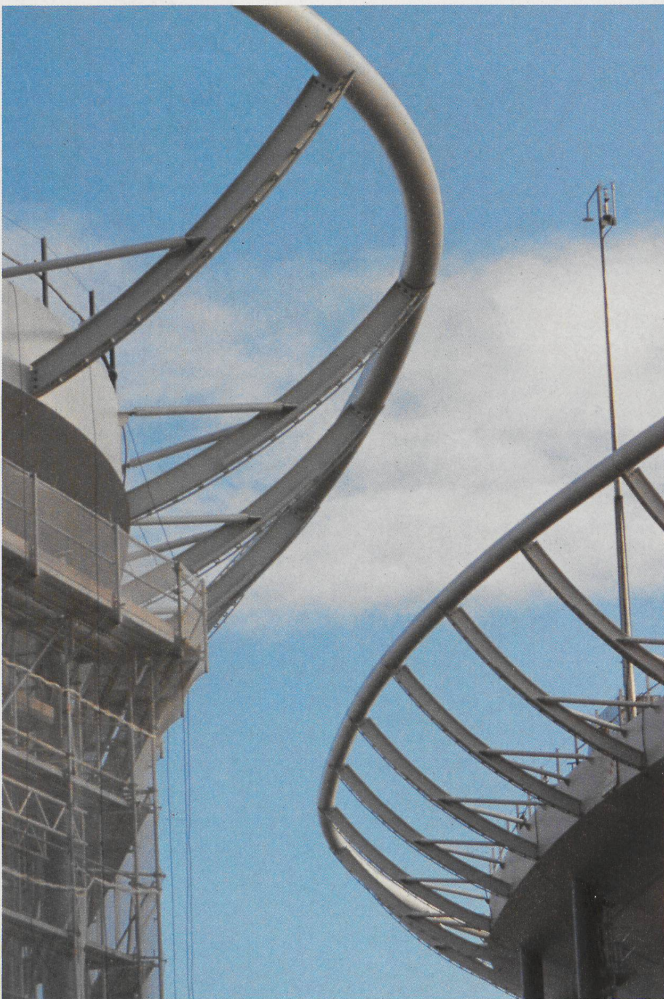
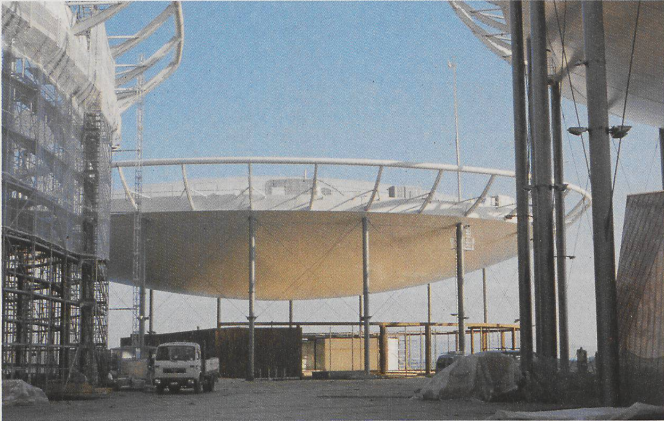
Luft hält die Kiesel in Form

Wie in Biel gilt auch in Neuenburg die Hauptsorge der Ingenieure den Windkräften. «Galets», Kieselsteine, heissen



Die scheinbar leichtfüssigen Galets auf der Artepilage Neuenburg wiegen insgesamt 1400 Tonnen. Um die beschädigte untere Membran des Galets 3 (links) zu ersetzen, sind aufwändige Gerüste notwendig

Der Druckring, zwischen dem die Membranen gespannt sind, ist ein Stahlkasten von zwei auf zwei Meter. In ihm befinden sich die Ventilatoren und die Heizluftgebläse. Der auskragende «Dachrand» der Kiesel wird ebenfalls mit einer Membran bespannt



die Ikonen der Artepilage – was leicht untertrieben ist: Die «Kiesel» sind drei Luftkissen, die auf 18, 20 und 22 Meter über der Plattform im Neuenburgersee zu schweben scheinen; allein der grösste hat einen Durchmesser von hundert Metern. Die Luftkissen sind in Stahlringe eingespannt, die auf Stützen im Seegrund stehen. Ventilatoren sorgen für den nötigen Innendruck, der die Galets stabil hält – ein ähnliches Prinzip wie bei Traglufthallen. Das statische Konzept stammt von GVH aus St. Blaise, den Ingenieuren des Neuenburger Projektteams «Multipack». Im Konsortium «Galexpo» hat René Rysler von der Stahlbaufirma Zwahlen & Mayr aus Aigle zusammen mit Membranspezialisten das Projekt umgesetzt.

So einfach das Konzept scheint, desto grösser waren die Schwierigkeiten, es zu realisieren. Damit die Galets ihre Form behalten, muss im Innern ein konstanter Druck von 20 bis 25 kg/m² herrschen – bei Windstille. Wenn der Wind weht und die Kiesel aus der Form zu bringen droht, erhöhen die Ventilatoren den Innendruck automatisch auf bis zu 40 kg/m². Damit können die Galets selbst Stürmen mit 180 km/h trotzen. Mit diesen Parametern erreicht das grösste Galet mit hundert Metern Durchmesser die Grenze einer frei tragenden Membran. Grössere Flächen müssten mit Seilen gestützt werden, was die Architekten keinesfalls wollten, denn dann würden die Galets wie Rollschinken aussehen.

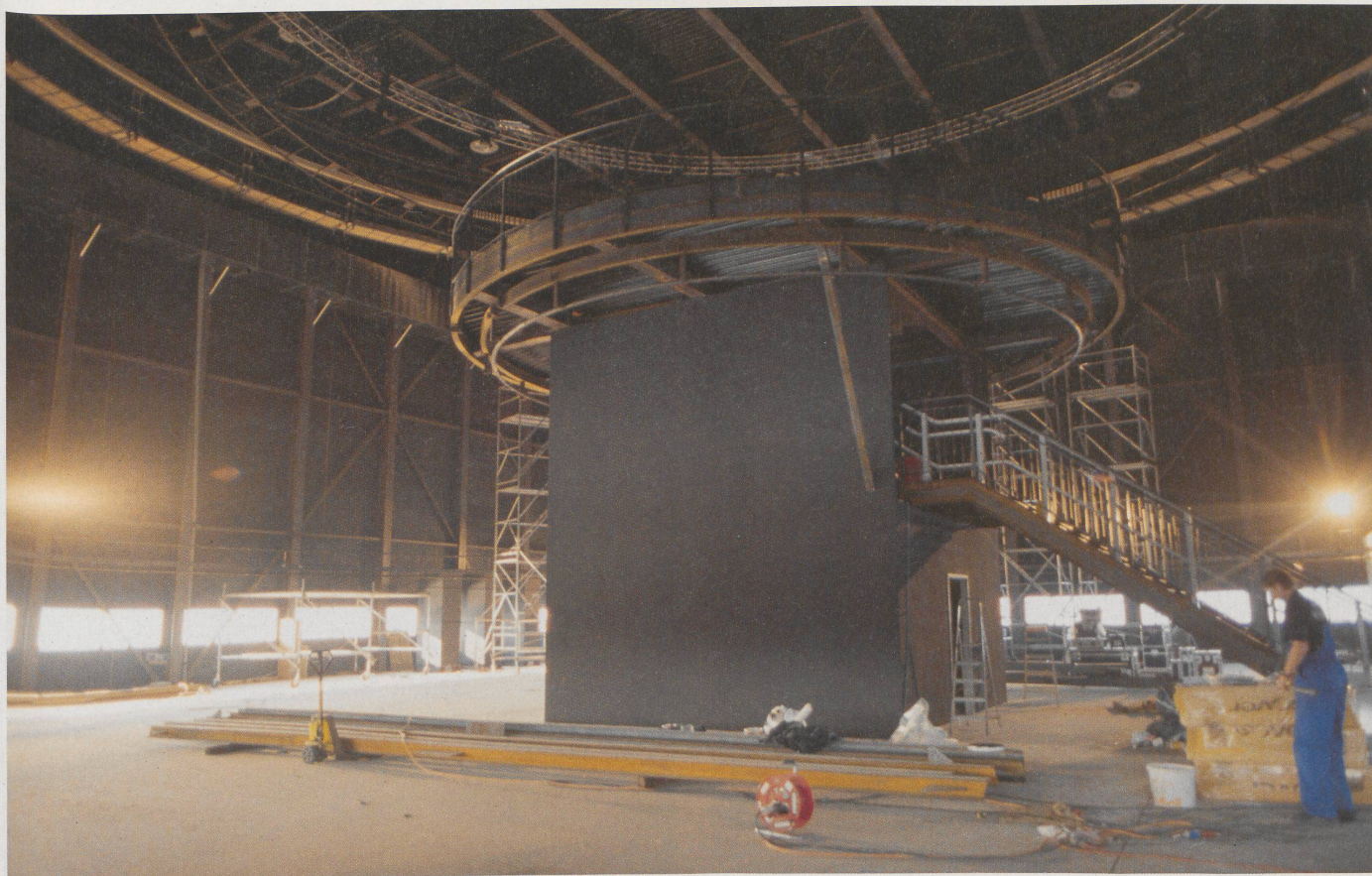
Da die Expo eine Sommerveranstaltung ist, mussten die Ingenieure keine Schneelasten berücksichtigen – denkt man. Doch René Rysler erinnert daran, dass die Kieselsteine bereits im Oktober montiert wurden und die Demontage erst im Frühjahr 2003 abgeschlossen sein wird, dass sie also zwei Winter überstehen müssen. Damit die Ingenieure die Schneelasten nicht in die Konstruktion einrechnen mussten, fanden sie eine einfache Lösung: Sie blasen warme Luft in die drei Kissen ein. Jeder Kieselstein besitzt seine eigene Wetterstation, die den Wind misst und bei Schneefall die Heissluft-

gebläse einschaltet. Dem Schnee haben die Galets im ersten Winter erfolgreich getrotzt. Zum Verhängnis wurde ihnen ein Gerüstpfeiler, der einen der Kiesel durchstossen hat. Die untere Membran riss und muss jetzt mühsam über den bereits erstellten Ausstellungsbauten ersetzt werden. Während der Expo werden keine mechanischen Einwirkungen die Galets bedrohen. Doch darf der Innendruck keinesfalls nachlassen, denn sonst werden die Kiesel instabil und der Wind könnte sie zerreißen. Riesige Kräfte würden sich freisetzen und die Besucher bedrohen. Deshalb haben die Verantwortlichen ein Alarmsystem aufgebaut. In jedem Galet gibt es zwei Gebläse und ein Notstromaggregat würde Stromausfälle überbrücken.

Simpler Kubus – raffiniert schwimmend

Im Gegensatz zu den Türmen in Biel wirkt Jean Nouvel's Monolith in Murten zunächst wenig spektakulär: Ein Würfel, der im See steht, massstabslos, unnahbar, unfassbar. Erst wenn man sich ihm im Boot nähert, zeigt er seine wahren Dimensionen. 34 Meter messen die beiden Seiten, 34 Meter hoch ist er – wie ein 12-geschossiges Hochhaus. Im Innern werden Rolltreppen die Besucher transportieren, damit sie im oberen Stock das Panorama der Schlacht von Murten bewundern können und im unteren Teil mit «Schweiz Version 2.1» ein aktuelles Panorama des Landes erhalten. Wer den Monolith im Wasser ruhen sieht, nimmt an, dass er wohl in einer Untiefe auf dem Seegrund abgestellt ist. Doch weit gefehlt. Der Monolith ist auch ein Schiff, wie Anna Schindler in der Reportage 8 dieser Expo-Serie (HP 8/01) festgestellt hat. Ausführlich hat sie beschrieben, wie hundert Betonschwimmkörper unter enormem Zeitdruck hergestellt, montiert und wie ein riesiges Floss von Sugiez durch den Broyekanal nach Murten geschleppt wurden.

Schon im Wettbewerbsentwurf wollten Jean Nouvel und der Ingenieur Philippe Menétrey von Emch & Berger den Würfel schwimmen lassen, doch die raffi-

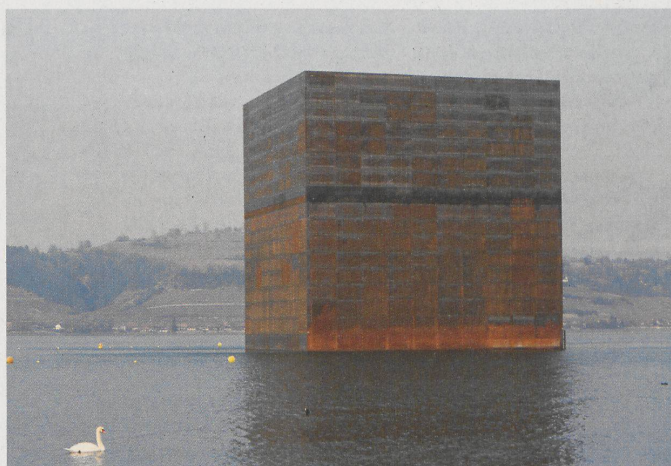


nierten Pläne drohten zu scheitern. Bagroup erhielt von der Expo den Auftrag, die vier Arteplages als Pfahlkonstruktionen in den See zu stellen. Menétrey musste seine Schiffbauexperimente abbrechen und sich auf die Konstruktion des eigentlichen Würfels konzentrieren. Doch bei der Plattform liefen die Budgetzahlen wegen des schwierigen Seegrundes und den konzentrierten Lasten bald aus dem Ruder. Der Monolith geriet in finanzielle Schieflage und drohte zu ertrinken. Menétrey, der die Probleme an vorderster Front miterlebte, brachte wieder die schwimmende Lösung ins Spiel. Innerhalb eines Monats arbeitete er das Vorprojekt mit Kostenvoranschlag aus. Die Expo stimmte zu, der Monolith – und mit ihm wohl die ganze Arteplage Murten – waren gerettet.

Diese Lösung war zwar für alle Beteiligten neu, doch sie schien machbar, die Risiken kalkulierbar. Seetiefe und Wellengang waren bekannt, der Ingenieur konnte sein Projekt auf diese Parameter abstimmen. Bei Pfahlbaulösungen hingegen weiss man nie genau, was sich im Untergrund verbirgt. Die Konstruktion muss also entweder von Anfang an auf den schlechtesten Fall berechnet sein oder die Ingenieure müssen während den Bauarbeiten auf die Verhältnisse reagieren, was ein präzises Budget verunmöglicht. Für die beiden anderen Plattformen in Biel und

Neuenburg wäre die schwimmende Plattform dennoch keine Alternative gewesen, denn erstens nehmen diese eine viel grössere Fläche ein und zweitens ist der Wellengang auf dem Bieler- und dem Neuenburgersee viel stärker als auf dem kleinen Murtensee. Hingegen lässt Menétrey das Argument nicht gelten, dass die schwimmende Konstruktion nur möglich war, weil die Ausstellung auf ein paar wenige Monate beschränkt ist. Das vor Murten verankerte Floss wäre auch längerfristig nutzbar. Ohnehin ist es eine Illusion, wenn man meint, mit temporären Tragkonstruktionen lasse sich viel Geld sparen, denn schliesslich darf der Ingenieur bei der Sicherheit keine Kompromisse eingehen. «Ob ein Bauwerk nun zwei oder zwanzig Jahre steht, beeinflusst die Kosten der Tragstruktur wenig», meint Philippe Menétrey.

Dennoch ist es für die Ingenieure ein grosser Unterschied, ob sie Temporärbauten konstruieren oder solche, die für «die Ewigkeit» bestimmt sind. Wer einen Expo-Bau plant, muss immer gleich auch dessen Demontage mitplanen. Nur in Ausnahmefällen können ganze Bauten später wieder verwendet werden, wie etwa die Halle der Ausstellung «Geld und Wert» der Nationalbank, die später eine Produktionshalle werden soll, oder die Verkaufspavillons der Bieler Arteplage, für die es bereits zahlreiche Interessenten gebe.



In der oberen Ebene des Monolithen in Murten wird man das Schlachtenpanorama am Originalschauplatz bewundern können. Philipp Menétrey von Emch & Berger hat die Aufhängekonstruktion für das Rundgemälde konstruiert

Die homogene Aussenhaut lässt den Monolithen massstabslos erscheinen. Erst aus der Nähe und im Innern zeigt er seine Dimensionen



Auch die einzelnen Bauteile können selten *tel quel* auf einer anderen Baustelle eingesetzt, also rezykliert, werden, meist sind sie bloss der Rohstoff für neue Teile. Dann werden aus einem langen Träger fünf kurze, was weniger ein «Recycling», sondern vielmehr ein «Downcycling» ist, wie es Daniel Indermühle nennt. Dennoch müssen die Konstrukteure darauf achten, dass die Teile bei der Montage möglichst wenig Schaden nehmen; sie halten die stählernen Verbindungsstücke der Holzbalken kurz, schrauben den Stahl, statt ihn zu schweißen.

Die Wolke aus dem Tessin

Vor vier Jahren war «Tensegrity» das Zauberwort der Expo-Techniker. «Tensegrity» meint «Zusammenhalt durch Spannung», ein Prinzip, das Richard Buckminster Fuller entdeckt hatte. Er wies nach, dass sich aus drei Druckstäben, die sich nicht berühren, und aus neun Seilen eine stabile räumliche Struktur bilden lässt. Für den Alltagsgebrauch war diese Struktur jedoch kaum geeignet – wie sollte man drei Stäbe, die sich nicht berühren, mit vernünftigem Aufwand montieren können? Weiterentwicklungen von Buckminster Fullers «Ur-Tensegrity» lassen hingegen zu, dass sich die Stäbe berühren, und dank einfacher geometrischer Grundformen kann man die Elemente auch zu vielfältigen Gebilden

zusammensetzen. Paolo Ugolini, der Technische Direktor der Expo bis Herbst 1998, beauftragte die Ingenieure Passera & Pedretti aus Grancia bei Lugano, ein Bausystem für die Expo zu entwerfen. Tensegrity-Strukturen, die praktisch uneingeschränkte Gestaltungsfreiheiten lassen, hätten als universales System auf allen Arteplages eingesetzt werden sollen.

Rinaldo Passera, Mauro Pedretti und Antonio Paronesso haben mit ihren Mitarbeitern seit längerem an der Weiterentwicklung der Tensegrity-Strukturen gearbeitet. Sie ergänzten die Druck- und die Zugstäbe mit einer Computersteuerung, die die Spanne der Zugelemente optimiert. Computerprogramme, ursprünglich von der NASA entwickelt, berechnen in komplizierten, grossflächigen Gebilden die Kräfte in jedem einzelnen Element – und zwar nicht nur im Endzustand, sondern auch während der Montage. Ein erstes Mal konnten sie ihre Erkenntnisse 1991 beim Zelt von Mario Botta für die 700-Jahr-Feier anwenden, einer Tensegrity-ähnlichen Konstruktion.

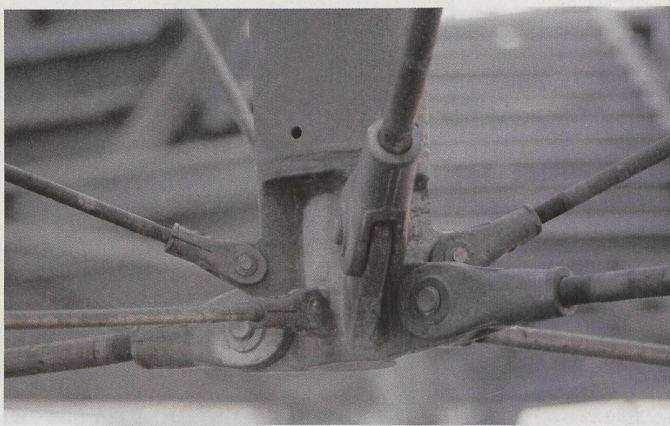
Dem Tensegrity als Universalsystem für die Expo war kein Erfolg beschieden. Für die Architekten der Arteplages war die Methode zu kompliziert, deren gestalterischer Ausdruck zu technisch. Im Projektwettbewerb für die Arteplages hat nur das Team «Extasia» aus Yverdon auf Tensegrity zurückgegriffen: Die



Links: Ein Grundrahmen, ein vertikaler «schwebender» Stab und acht Zugstangen bilden eine «bi-pyramidale» Zelle, das Grundelement der Wolkenkonstruktion

In die Konstruktion eingeflochten sind die Wasserleitungen mit den feinen Düsen. Sie produzieren die eigentliche Wolke

Wegen der unregelmässigen Geometrie sieht jeder der Knotenpunkte anders aus. Damit auf der Baustelle alles passt, haben die Ingenieure jeden Knoten im Computer konstruiert



New Yorker Architekten Diller + Scofidio wollten, damals zusammen mit den Ingenieuren von Emch & Berger, ihre Wolke als Tensegrity konstruieren. Inzwischen sind Passera & Pedretti für die Konstruktion verantwortlich, die im Neuenburgersee steht.

Das Grundelement der Wolke ist eine «bi-pyramidale» Zelle: Vier Stäbe bilden ein Rechteck als Grundfläche, in dessen Schwerpunkt «schwebt» senkrecht ein fünfter Stab. Acht Zugstangen verbinden die Enden des Vertikalstabes mit den Ecken der Grundfläche und bilden so zwei Pyramiden. 48 solcher in sich stabiler Einzelteile haben Passera & Pedretti zu einer elliptischen Grundfläche von 100 auf 60 Meter zusammengefügt und auf vier Pfählen in den See gestellt. Aus der Ferne betrachtet scheinen die vertikalen Stäbe in der Plattform zu schweben. Aus der Nähe werden jedoch alle Einzelteile, auch die Zugstäbe, sichtbar, und man erkennt, wie kompliziert das System ist. Nur gerade die Elemente in der Feldmitte sind identisch, gegen den Rand ist jedes Teil unterschiedlich. Dies heisst, jeder Knotenpunkt, an dem sich mehrere Druck- und Zugelemente treffen, unterscheidet sich von den anderen Knoten. Die Ingenieure mussten also jeden einzelnen detailliert zeichnen, denn, wie Rinaldo Passera meint: «Wir wollten die Fehler am Computer machen und nicht auf der Baustelle. Das wäre ver-

heerend gewesen.» Andrea Schmid hat seinen Computer so programmiert, dass er für jedes Teil die einzelnen Parameter eingeben konnte. Auf dem Bildschirm erscheint der Knoten in dreidimensionaler Darstellung, zerlegbar in seine Einzelteile. Das einzige, was Schmid auf dem Bildschirm «von Hand» einfügen musste, waren die Befestigungsbolzen. Und da konnte es schon passieren, dass er den Knoten neu justieren musste, damit man den Bolzen auf dem Bildschirm und auf der Baustelle einführen konnte.

Lust und Frust des Ingenieurs

Wer mit den Ingenieuren der Expo spricht, spürt immer wieder ihr Engagement und ihre Freude. Und alle begrüsst, dass – endlich – einmal auch die Arbeit der Ingenieure das Thema eines Artikels sei. Vor allem im Zeitalter der Stararchitekten spricht kaum jemand von den Bauingenieuren und wenn doch, «dann wollen immer alle nur Ove Arup», wie Philippe Menétrey meint. Wie er hofft auch Daniel Indermühle, dass die Ingenieure dank der Expo etwas aus dem Schatten der Architekten treten, denn die Ingenieure plagen Nachwuchssorgen. Vielleicht können die mächtigen Türme, der schwimmende Monolith oder die filigrane Wolke die junge Generation zum Ingenieurstudium animieren.

Werner Huber

Energie sparen, Gratisticket erhalten

Expo-Energy ist eine Aktion der Expo.02 und der Arbeitsgemeinschaft Solar 91. Sie gehört zum Energiekonzept der Expo.02, das dafür sorgen will, dass der Energieverbrauch der Expo an anderen Orten eingespart werden kann. «Damit die Balance stimmt», wie der Slogan heisst. Deshalb soll der Energiebedarf der Expo innert zweier Jahre durch zusätzliche Produktionsanlagen für erneuerbare Energien und mit energiesparenden Massnahmen kompensiert werden. Diese Anlagen sollen auch über die Expo hinaus wirken, weshalb sie dezentral im ganzen Land gebaut werden. Dort, wo die Energie auch nach Abschluss der Landesausstellung benötigt wird. Expo-Energy honoriert beispielsweise Anlagen für Wärme und Strom aus erneuerbaren Energien, energieeffiziente Bauten und Bauten nach Minergie-Standard.

Wer bis zum 31. Oktober 2002 in derartige Massnahmen investiert, wird von der Expo mit Gratistickets belohnt. An der Aktion können Gemeinden, Unternehmen und Private teilnehmen.

Expo-Energy läuft seit dem 1. April 2001. Bei Halbzeit der Aktion wurden bereits über 20 Gigawattstunden dezentral mit neuen Anlagen produziert oder mit Energieeffizienz kompensiert. Dies sind zwei Drittel des geschätzten Energieverbrauchs der Expo.02. Dafür hat Expo-Energy bereits rund 3000 Gratistickets an die Bauherrschaften abgegeben.

Info: Expo-Energy
Schachenallee 29
5000 Aarau
Telefon: 062 / 834 03 00
E-Mail: info@expoenergy.ch
www.expoenergy.ch