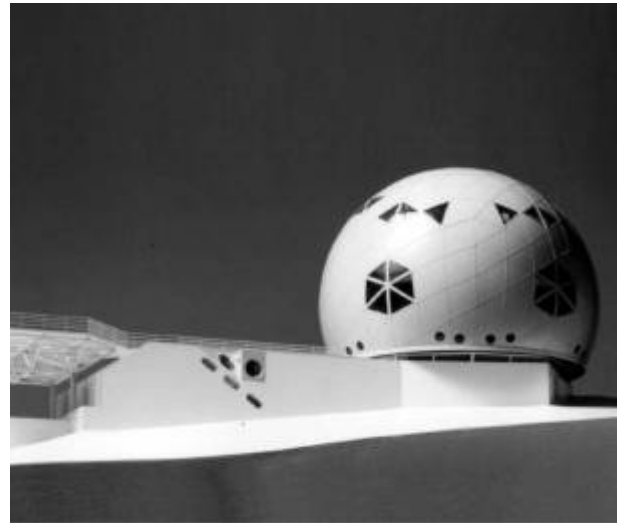


# feature | Form follows Science

## Ein geodätisches Projekt im Riesengebirge

von [Mirko Baum](#)



Die komplementäre Wirkung der bei der Entstehung der Kugel<sup>1)</sup> beteiligten Kräfte, nämlich des Zugs an der Oberfläche der Kugel und des Drucks in ihrem Inneren, ist die Grundlage der Stabilität einer ganzen Reihe von Naturformen, für die das in der Literatur oft zitierte Facettenauge der Insekten als typisches Beispiel angeführt werden kann. Karel Honzík, einer der Architekten der tschechischen Avantgarde und Verfasser von theoretischen Schriften, spricht in seinen „Überlegungen zur Biotechnik“ über das Gleichgewicht zwischen den „zentrischen Kräften des Kollektivs“ und den „exzentrischen Kräften der Individuen“. <sup>2)</sup> Diese „staatsbildende“, im politisch linken Vokabular der 30er Jahre abgefasste Formulierung entspricht sinngemäß der „energetisch-synergetischen“ Theorie des vielseitig begabten amerikanischen Ingenieurs und Philosophen Richard Buckminster Fuller (1895-1983), der im allgemeinen für den Erfinder der geodätischen Kuppelkonstruktion gehalten wird, einer Konstruktion, mit der die Problematik der sphärischen Form ebenso elegant wie endgültig gelöst wurde.

Im „energetischen“ Teil seiner Theorie isoliert Fuller die lokalen Funktionen, während im „synergetischen“ Teil jene Form angesprochen wird, die ihre Stabilität aus der synergetischen Wirkung von komplementären Funktionen bezieht. Im Falle der geodätischen Kuppel geht es um die komplementären Eigenschaften der zwei platonischen Körper, nämlich des Tetraeders (Vierflächner aus vier gleichseitigen Dreiecken) als der Organisationsgrundform der Materie überhaupt und des Ikosaeders (Zwanzigflächner aus zwanzig gleichseitigen Dreiecken), der sich mit seinen Eigenschaften der Kugel am meisten nähert. Unter den regelmäßigen Polyedern umschließt der Tetraeder das kleinste Volumen mit größter Fläche, während der Ikosaeder, ähnlich wie die Kugel, das größte Volumen mit der kleinsten Fläche umschließt. Auch die physische Belastbarkeit verhält sich bei beiden Körpern komplementär. Während der Tetraeder als das einfachste triangulierte Tragwerk gut mit Druck von Außen belastbar ist, ist der Ikosaeder, ähnlich wie die Kugel, sehr gut mit Innendruck belastbar. Ein synergetisches Zusammenspiel der beiden komplementären Körper erreichen wir, wenn wir den Schwerpunkt (die Mitte) des Ikosaeders mit seinen zwölf Knoten verbinden, womit ein zentriertes Raumfachwerk aus zwanzig Tetraedern entsteht, die sich zu einem einzigen Ikosaeder verbinden.

Dieses verführerische Denkmodell stimmt aber leider nur scheinbar. Die Seiten der zwanzig Dreiecke auf der Oberfläche des Ikosaeders sind nämlich in Wirklichkeit um ca. 5% länger als die Entfernungen

seiner Ecken zum Mittelpunkt.<sup>3)</sup> Aufgrund dieser in der Festkörperphysik als „Frustration“ bezeichneten Erkenntnis führt eine vom Tetraeder ausgehende dichte Kugelpackung nicht zu einem immer größer werdenden Ikosaeder, sondern zu einem sog. Kubooktaeder, d. h. einem Polyeder, dessen Oberfläche aus acht gleichseitigen Dreiecken und sechs Quadraten besteht. Somit fehlt an sechs Stellen die für die Stabilität eines Fachwerks notwendige Dreiecksverbindung, was eine Instabilität der Form zur Folge hat. Daher wurde lange die fünffache Symmetrie des Ikosaeders als Organisationsmuster der Materie für untauglich gehalten. Dieses „Attentat“ auf die „energetisch-synergetische“ Theorie war jedoch kaum ein Hindernis für das Entstehen einer genialen Konstruktion, die sich Fuller 1954 patentieren ließ und die er bei einer ganzen Reihe von militärischen und zivilen Bauten, u. a. auch dem Pavillon der USA auf der Expo 67 im kanadischen Montreal, verwendete.<sup>4)</sup>

Das Problem der „Frustration“ ist aber nicht das einzige Problem, das seinen Schatten auf die Leistung des amerikanischen Genies wirft. Anfang der 20er Jahre beauftragte das Deutsche Museum in München die Firma Zeiss in Jena mit der Entwicklung und dem Bau eines Gestirnsprojektors, der als Teil eines in München geplanten Planetariums installiert werden sollte. Walter Bauersfeld (1897-1959), der bei Zeiss mit dieser Aufgabe betraut war, entwickelte nicht nur einen Gestirnsprojektor, sondern auch eine sphärische Kuppel, die dem ersten Planetarium als Projektionsfläche dienen sollte. Die gefundene Lösung beschrieb er in seinen Notizen mit folgenden Worten: „Geht man von dem bekannten regelmäßigen Körper aus, dessen Oberfläche aus 20 gleichseitigen Dreiecken besteht, und schneidet jede der 12 Ecken, die dieser Körper hat, durch ebene Schnitte ab, so entstehen an der Oberfläche 20 Sechsecke und 12 Fünfecke. Mit passender Lage der Schnitte lässt sich leicht erreichen, dass die Fünfecke und Sechsecke den gleichen umschließenden Kreis aufweisen. Denkt man nun noch die Kanten dieses Körpers vom Mittelpunkt auf eine Kugelfläche projiziert, so entsteht die ausgeführte Kugeleinteilung“.<sup>5)</sup> Diese nüchterne und ohne „energetisch-synergetisches“ Beiwerk verfasste Beschreibung stellt nichts anderes dar, als die Erfindung der geodätischen Kuppel, und zwar in derselben Form, wie sie sich Fuller 30 Jahre später hat patentieren lassen. So entstand die erste geodätische Kuppel nicht in den USA der 50er Jahre, sondern 1924 in der Form eines 16 m überspannenden Experimentalbaus auf dem Dach der Zeiss-Werke in Jena. Seine aus Stahlstäben ausgeführte Konstruktion wurde von der Münchener Firma Dyckerhoff & Widmann mit Maschendraht bespannt und mit einer 60 mm starken Betonschicht torkretiert. Die 3.840 Stahlstäbe mit rechteckigem Querschnitt 22 x 8 mm und 600 mm Länge wurden bei Zeiss produziert, und zwar mit einer wahrhaft „optischen“ Präzision. Die zulässige Längentoleranz betrug nur 1/20 mm, was dem 1/12.000 der Stablänge entsprach.

Nicht nur die Einteilung der Kuppel, sondern auch die Ausbildung ihrer Knoten war mit Fullers Konstruktion nahezu identisch. Die Funktionsweise von Bauersfelds Knoten baut auf der „optischen“ Präzision der Fertigung auf. Sie bestehen aus zwei runden Platten, in deren kreisförmige Rillen die Hammerköpfe der Stäbe einrasten. Der Kraftschluss wird durch eine Zentralschraube erreicht, die Winkelabweichung zur Tangentialebene (d. h. der Krümmung der Kuppel) entspricht der Differenz im Rillradius der beiden Platten.

Fullers Leichtbauknoten verrät einen mit dem Flugzeugbau vertrauten Konstrukteur. Sein Knoten ist zwar komplizierter, lässt aber durch seine elastische Ausführung größere Fertigungs- und Montagetoleranzen zu. Auch hier geht es um eine zweiteilige Klemmverbindung, nur sind beide Platten schüsselförmig ausgebildet, und die Enden der runden Stäbe besitzen an Stelle des Hammerkopfes einen Linsenkopf. Diese in beiden Schüsseln bewegliche Linse passt sich selbsttätig der Kuppelkrümmung an. Auch hier erfolgt der Kraftschluss durch eine Zentralschraube, nur ist diese um eine Spiralfeder ergänzt, womit die Elastizität des Kraftschlusses erreicht wird. Es ist mehr als unwahrscheinlich, dass Fuller Bauersfelds Konstruktion nicht kannte. In den 20er Jahren wurde sie oft publiziert und in vielen Ländern, darunter auch die USA, durch ein Patent geschützt. Die Ähnlichkeit beider Konstruktionen könnte folgendermaßen erklärt werden: Nach dem zweiten Weltkrieg wurde auf

dem amerikanischen Flugplatz Wright Field in Dayton/Ohio ein Zentralarchiv eingerichtet, in dem das wissenschaftliche Material aus dem besiegten Deutschland, darunter auch die Unterlagen von Zeiss, gesammelt und von Experten der amerikanischen Armee ausgewertet wurde. Es fällt nicht schwer sich vorzustellen, dass Fuller, der zeit seines Lebens sehr gute Kontakte zur Armee unterhielt, hier die Gelegenheit fand, Bauersfelds Konstruktion zu studieren, auch wenn (zumindest soweit dem Verfasser bekannt) in seinem gesamten Schrifttum der Name Bauersfeld nicht erwähnt wird.

Die Architektengruppe Školka SIAL, eine Gruppe von jungen und gleichgesinnten Absolventen der TH Prag, die 1969 unter der Mitwirkung des Verfassers im nordböhmischen Liberec (Reichenberg) entstand, war ein Produkt des politischen Vakuums, das in der kurzen Zeitspanne zwischen der gewaltsamen Zerschlagung des „Sozialismus mit menschlichem Antlitz“ und der langsam fortschreitenden Restauration des Neostalinismus in der damaligen Tschechoslowakei herrschte. So ist es heute kaum vorstellbar, dass gerade in dieser labilen Zeit, in der nichts und alles möglich war, diese Gruppe an ihrem technologisch anspruchsvollsten Auftrag, dem Bau einer Seilbahnstation auf dem Gipfel der 1.600 m hohen Schneekoppe im Riesengebirge, gearbeitet hat, einem Bau, der das durch einen Großbrand zerstörte alte Gebäude ersetzen sollte.

Die Baubedingungen auf dem Berggipfel waren durch das rauhe Klima zeitlich stark eingeschränkt und für den Materialtransport kamen nur die Seilbahn und der Hubschrauber in Frage. Deshalb wurde für den Hauptbau die Konstruktion einer geodätischen Kuppel gewählt (vgl. Abb.).<sup>6)</sup> Als Form des größten Inhalts bei kleinster Fläche versprach sie die geringsten thermischen Verluste sowie gute aerodynamische und statische Eigenschaften. Die Dreiviertelkugel, begrenzt durch einen horizontalen Schnitt auf der unteren Ebene des Basis-Ikosaeders, wurde in 15 sphärische Dreiecke unterteilt, was auch der Geometrie der darunter liegenden Primärkonstruktion entsprach. Diese sollte aus nahtlosen Stahlröhren mit 400 mm Durchmesser bestehen und drei fünfeckige Etagen tragen, von denen die erste und letzte mit dem Mantel in fünf Punkten beweglich verbunden werden sollte. Diese Etagen wurden als triangulierte Roste entworfen, die dreieckigen Felder des Rostes sollten mit gekanteten Blechen verschlossen und mit bewehrtem Beton verfüllt werden. Dieser einzige „wassergebundene“ Bauvorgang sollte bereits unter der schützenden Hülle ausgeführt und damit vom Wetter unabhängig werden. Alle am zweiten Abschnitt durchzuführenden Arbeiten sollten die ein Jahr zuvor fertiggestellte technische Infrastruktur des ersten Abschnittes nutzen, einschließlich der Seilbahn.

Auch der sphärische Mantel wurde in eine primäre und eine sekundäre Konstruktion unterteilt. Die Primärkonstruktion sollte aus Stahlröhren von 240 mm Durchmesser gefertigt werden und in ihrer Struktur dem Basis-Ikosaeder entsprechen, während die Sekundärstruktur aus rechteckigen Stahlrohren von 120/100 mm an die Elementierung des sphärischen Mantels angelehnt war. Ähnlich wie bei der Konstruktion von Bauersfeld-Fuller sollten alle Rohre mit zweiteiligen Klemmverbindungen verschraubt werden. Diese verhältnismäßig komplizierte Tragstruktur trug die Spuren einer durch die Betretung des Neulandes bedingten Unsicherheit. Eine freitragende Konstruktion der Kuppel schien im Hinblick auf die zu erwartenden Windkräfte zu riskant, und auch das Material für die Herstellung der Außenhaut blieb eine lange Zeit im Dunkeln. Die Lösung brachte schließlich eine Firma in Ejpvovice bei Pilsen, die auf die Fertigung von Polyurethansitzen für Busse und Straßenbahnen spezialisiert war. Diese freitragenden Sandwich-Produkte entsprachen genau jenen Kriterien, denen auch die Eigenschaften des Mantels genügen sollten. Die von dieser Firma entwickelten Integralpaneele bestanden aus einem isolierenden Polyurethankern, der allseitig mit einer tragenden Haut aus demselben Material umhüllt wurde. Einige dieser Paneele sollten mit einer integrierten, nicht zu öffnenden Verglasung versehen werden. Innerhalb der Kugel waren ein Restaurant, ein Café, einige Notunterkünfte sowie eine Aussichtsterrasse vorgesehen.

Sowohl außen als auch innen sollte das Bauwerk die kompromisslose Sprache der Technik sprechen und das Gefühl eines Aufenthaltes an einem extremen Ort deutlich machen. Alle subjektiven Kriterien

wurden beiseite gelassen, allein die Objektivität der technischen Kriterien und deren Erfüllung auf der höchsterreichbaren Stufe der zur Verfügung stehenden Produktionsmittel waren das erklärte Ziel. Mit seiner technologischen Auffassung war dieses Projekt die erste Arbeit der Gruppe, mit der sie von den Formen des infantilen „Maschinismus“ Abschied nahm und dem Ideal eines kompromisslosen technologischen Determinismus am nächsten kam. Mit den Worten des radikalen Propagandisten des „wissenschaftlichen Funktionalismus“ Hannes Meyer gesprochen, war es ein Gebäude, das als „weder schön noch hässlich, sondern nur als konstruktive Erfindung gewertet werden wollte“.<sup>7)</sup> Dem hohen Grad der Ausarbeitung zum Trotz wurde dieses Gebäude nicht realisiert. Sogar die bereits gedruckten Poster, die es als Fotomontage auf dem Berggipfel darstellten, wurden zurückgezogen, denn die Gruppe wurde mit einem Publikationsverbot belegt. Genauso wie die Existenz der Gruppe selbst war auch diese Restriktion ein typisches Produkt jener Zeit, in der alles und nichts möglich war.

1982, ein Jahr vor Fullers Tod, veröffentlichten mehrere Fachzeitschriften ein Foto, das als wissenschaftliche Sensation eine große Beachtung fand. Auf einem 10.000fach vergrößerten Bild, das in den Laboratorien des U.S. National Bureau of Standards aufgenommen wurde, war die Struktur einer Legierung von Aluminium und Mangan sichtbar, die durch ultraschnelles Abkühlen vom flüssigen in den festen Zustand transformiert wurde. Aus diesem Bild ging eindeutig hervor, dass sich die Materie, zumindest in einer extremen Stresssituation, in einer fünffachen Symmetrie zu organisieren vermag, d. h. in einer Konfiguration, die bis dahin für unmöglich gehalten worden war. Die definitive Bestätigung dieser Organisationsform folgte drei Jahre später mit der Entdeckung eines Kohlenstoffmoleküls, dessen 60 Atome in einer Struktur angeordnet sind, die mit der Konstruktion von Bauersfeld-Fuller vollkommen identisch ist. Ihre Entdecker, Harold W. Kroto, Richard F. Smaley und Robert F. Curl (Jr.), seit 1996 Nobelpreisträger für Chemie, nannten sie „Buckminsterfullerene“, die Presse sprach von einem „Buckyball“.<sup>8)</sup> Heute ist Kohlenstoff C60 ein Gegenstand intensiver Forschung, denn seine der „energetisch-synergetischen“ Theorie entsprechende hohe Festigkeit verspricht seine Nutzung in einer ganzen Reihe von Technologien, von den hochfesten Kohlefasern über Halb- und Supraleiter bis zur Herstellung von künstlichen Diamanten.

Diese Geschichte, die zunächst als eine bloße Episode aus dem Bereich der Physik und der Molekularchemie anmutet, wird dadurch einzigartig, dass ein Demonstrationsmodell des 1985 entdeckten Kohlenstoffs C60 bereits 1924 auf dem Dach der Zeiss-Werke in Jena entstand, von vielen Nachfolgebauten im zivilen und militärischen Bereich ganz zu schweigen. Durch die Entdeckung des Kohlenstoffs C60 erfuhr nicht nur Fullers „energetisch-synergetische“ Theorie eine großartige Bestätigung, sondern auch die uralte Theorie von den analogen Funktionen des Mikrokosmos und Makrokosmos, die uns hier von der Molekularchemie der Gegenwart bis zur Naturphilosophie des antiken Griechenlands führt.

Dem französischen Physiker, Mathematiker und Philosophen Blaise Pascal (1623-1662) wird jene Metapher zugeschrieben, die das Pensum des menschlichen Wissens mit einer Kugel vergleicht, die im unendlichen Raum des Unbekannten schwebt. Mit dem Mehren des Wissens wächst auch die Fläche dieser Kugel und damit auch ihre Kontaktfläche mit dem Unbekannten. Nicht einmal das Verhältnis zwischen dem Wachstum des Inhalts in der dritten und der Fläche in der zweiten Potenz vermag darüber hinwegzutäuschen, dass, je mehr wir wissen, um so mehr wissen wir, wie wenig wir wissen. Im Hinblick auf den unendlichen Raum des Unbekannten ist die Wissenschaft nur ein Schlüsselloch, durch das wir ab und zu in die Werkstatt des Schöpfers schauen, ohne ihre wahre Dimension je erfassen zu können. Diese Erkenntnis der Unendlichkeit des menschlichen Bemühens führt genauso zur Ehrfurcht vor der Vollkommenheit der Schöpfung wie zur Demut, die auch in Fullers weisen Worten gespürt wird, mit denen er kurz vor seinem Tod sein Lebenswerk beschrieb: „My task was not to preach God, but to serve God in silence about God.“

Synergetisch-energetische Geometrien, Architektur, Synergetik (Design), Kugel, Sphäre, Avantgarde, geodesic domes, Design, Dreieck, Polyeder, Oktaeder-Tetraeder-Struktur, Architektur, Zusammenwirken, Symmetrie, Instabilität, komplementär, Tetraeder, Schöpfung, Materie, Kugelpackung

1)

Zur symbolischen Bedeutung der Kugel vgl. auch Falkenhausen in Synergiefeature04.

2)

K. Honzík, Tvorba životního slohu, Václav Petr, zweite Auflage, Prag 1947, S. 234.

3)

Vgl. Thomas F. Banchoff, Dimensionen. Figuren und Körper in geometrischen Räumen, Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg 1991, S. 102.

4)

In Wirklichkeit folgt die Montreal-Kuppel nur oberhalb des Äquators der fünffachen Symmetrie. Zwischen dem Äquator und der Basis wurde sie als Ringnetz-kuppel ausgeführt.

5)

Vom Verfasser im Zeiss-Archiv Jena gesichtete Handnotiz Bauersfelds. Diese Formulierung Bauersfelds ist irreführend. In Wirklichkeit sind nicht die gleichen Radien der umschließenden Kreise wichtig, sondern die Seitengleichheit der beiden Polygone.

6)

Školka SIAL unter Projektleitung von: Dalibor Vokáč und Zdeněk Zavřel *Seilbahnstation auf der Schneekoppe* im Riesengebirge (Tschechien), 1972.

7)

C. Schnaidt, Hannes Meyer. Bauten, Projekte und Schriften, Teufen 1965, S. 22.

8)

H. W. Kroto, J. R. Heath, S. C. O'Brien, R. F. Curl, R. E. Smaley, C 60 - Buckminsterfullerene, Nature 318/1985, S. 162-163.

Zitierung:

Mirko Baum: Form follows Science: ein geodätisches Projekt im Riesengebirge, in: Tatjana Petzer (Hg.): SynergieWissen. Interdisziplinäres Forum & Open Access Lexikon, 15.11.2012, <http://www.synergiewissen.de>

From:

<https://synergiewissen.de/> - °°° synergiewissen

Permanent link:

[https://synergiewissen.de/doku.php?id=features:form\\_follows\\_science](https://synergiewissen.de/doku.php?id=features:form_follows_science)

Last update: **2022/04/29 00:28**

