

Petzer · Steiner (Hg.)  
Synergie

# TRAJEKTE

Eine Reihe des Zentrums für  
Literatur- und Kulturforschung Berlin

Herausgegeben vom  
Zentrum für Literatur- und Kulturforschung

Tatjana Petzer · Stephan Steiner (Hg.)

# Synergie

Kultur- und Wissensgeschichte einer Denkfigur

Wilhelm Fink

Gedruckt mit freundlicher Unterstützung der VolkswagenStiftung

Umschlagabbildung:

Igor Sacharow-Ross: ohne Titel, aus dem Zyklus „Syntopie der Orte“  
Mischtechnik auf Papier, 1995

Mit freundlicher Genehmigung des Künstlers und David Ertl (Fotograf).

#### Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe und der Übersetzung, vorbehalten. Dies betrifft auch die Vervielfältigung und Übertragung einzelner Textabschnitte, Zeichnungen oder Bilder durch alle Verfahren wie Speicherung und Übertragung auf Papier, Transparente, Filme, Bänder, Platten und andere Medien, soweit es nicht §§ 53 und 54 UrhG ausdrücklich gestatten.

© 2016 Wilhelm Fink, Paderborn  
(Wilhelm Fink GmbH & Co. Verlags-KG, Jühenplatz 1, D-33098 Paderborn)

Internet: [www.fink.de](http://www.fink.de)

Einbandgestaltung: Evelyn Ziegler, München  
Printed in Germany  
Herstellung: Ferdinand Schöningh GmbH & Co. KG, Paderborn

ISBN 978-3-7705-5896-4

JOACHIM KRAUSSE

## Im Laboratorium von Synergetics

### Buckminster Fullers Lehre vom Zusammenwirken more geometrico

Der Beitrag kann nicht mehr als eine Hinführung zu den Fragestellungen und Ergebnissen einer Synergetik und energetisch-synergetischen Geometrie sein, die Buckminster Fuller (1895–1983) in seinem Werk *Synergetics* in zwei Bänden 1975 und 1978 zusammengefasst hat.<sup>1</sup> Aber aus dieser Summa des Fullerschen Forschens und Denkens geht nicht ohne Weiteres hervor, dass die geometrischen Forschungen in einer wechselwirkenden Verbindung stehen zu Fullers eminenter Entwurfspraxis und Experimentalbauten, die er in zahllosen Workshops mit Studenten vor allem in den 1940er und 1950er Jahren errichtet und erprobt hat. Diesem experimentellen Bauen von Strukturen schien die Bezeichnung *Architektur aus dem Laboratorium* angemessen zu sein, die Fuller für seine früheste Dokumentation verwendete.<sup>2</sup> Das ambulante Laboratorium, das er immer mit sich geführt hat, um es temporär auf dem Campus einer Arts School, eines Colleges, einer Universität zu errichten, muss immer mitgedacht werden, wenn von Geometrie und Synergie die Rede ist. Fullers Laboratorium ist nicht nur das Testgelände für Konzepte und Theorien. Vielmehr ist seine Hands-on-Praxis in erster Linie Quelle neuer Einsichten und Basis von Erfindungen.<sup>3</sup> Sie sind selbst Ergebnis eines Zusammenwirkens, nämlich des Zusammenwirkens von Menschen in einer stimulierenden Gemeinschaft von Lehrenden und Lernenden in einer Umgebung, die dem Experiment Raum gibt. (Abb. 1, 2)

---

1 R[ichard] Buckminster Fuller in Zusammenarbeit mit E[dgar] J. Applewhite: *Synergetics. Explorations in the Geometry of Thinking*. New York, NY/London: MacMillan 1975. Dies.: *Synergetics 2. Further Explorations in the Geometry of Thinking*, New York, NY/London: MacMillan 1979.

2 R[ichard] Buckminster Fuller: „Architecture out of the Laboratory“, in: *Student Publication University of Michigan, Ann Arbor, College of Architecture and Design*, 1 (Spring 1955) 1, S. 9–34. Vgl. das gleichnamige Kapitel in: Joachim Krausse/Claude Lichtenstein (Hg.): *Your Private Sky. R. Buckminster Fuller. The Art of Design Science*, Baden: Lars Müller 1999, S. 314–343, dt.: *Your Private Sky. R. Buckminster Fuller. Design als Kunst einer Wissenschaft*, Baden: Lars Müller 1999, S. 314–343.

3 Allein bei der Exploration der Tensegrity-Strukturen zwischen 1949 und 1957 sind Studenten und Mitarbeiter durch die Workshops zu Entdeckungen bzw. Erfindungen gelangt; Fuller nennt in diesem Zusammenhang Kenneth Snelson (1949), John Moelman (1951), Francesco della Sala (1952), Lee Hodgen (1953) und Ted Pope (1957). Vgl. Robert Marks: *The Dymaxion World of Buckminster Fuller*, New York, NY: Reinhold 1960, S. 160 f.



Abb. 1: Fullers Architekturklasse am Black Mountain College, 1948



Abb. 2: Necklace Dome, Black Mountain College 1949

### Für eine empirische, nicht-axiomatische Geometrie

Das Insistieren auf Verkörperung von Konzepten und Figuren macht eine zunächst „energetisch“, dann „energetisch-synergetisch“ genannte Geometrie, die schließlich den Namen „Synergetics“ erhält, überhaupt erst möglich. Fuller begnügt sich nicht mit der Bezeichnungsfunktion von Formeln, Figuren und geometrischen Modellen, sondern fragt nach dem Verhalten der Verkörperungen und ergänzt die Bezeichnungsfunktion der Artikulation und Manifestation des Geistes in Artefakten um die Dimension ihrer *performance*. Dass die Bezeichnungsfunktion der geometrischen Gebilde nicht unabhängig von den Hervorbringungsweisen wie auch vom Verhalten ihrer Verkörperungen vorgestellt werden kann, ist 1944, als das erste Papier zur *Energetic Geometry* entsteht, ein neuer Gedanke.<sup>4</sup>

Scheinbar tritt Fuller damit in Widerspruch zu der von der mathematischen Disziplin geforderten Eigenschaftsarmut ihrer Gegenstände. Aber selbst innerhalb der Disziplin tauchte Anfang der 1920er Jahre die Forderung nach einer erneuten Beschäftigung mit der *Anschaulichkeit* insbesondere der Geometrie auf. David Hilbert, ein Wegbereiter der formalen Mathematik, sprach von folgenden zwei Tendenzen:

Die Tendenz zur Abstraktion – sie sucht die logischen Gesichtspunkte aus dem vielfältigen Material herauszuarbeiten und dieses in systematischen Zusammenhang zu

<sup>4</sup> R[ichard] Buckminster Fuller: „Dymaxion Comprehensive System: Introducing Energetic Geometry“ (1944), in: Joachim Krausse/Claude Lichtenstein (Hg.): *Your Private Sky. R. Buckminster Fuller. Discourse*, Baden: Lars Müller 2001, S. 160–168, Kommentar S. 157, dt.: „Dymaxion Comprehensive System. Einführung energetischer Geometrie“ (1944), in: Joachim Krausse/Claude Lichtenstein (Hg.): *Your Private Sky. R. Buckminster Fuller. Diskurs*, Baden: Lars Müller 2001, S. 172–181, Kommentar S. 169.



Abb. 3: Fuller mit Modellen von Raumzellen, 1946

bringen – und die andere Tendenz, die der Anschaulichkeit, die vielmehr auf ein lebendiges Erfassen der Gegenstände und ihrer *inhaltlichen* Beziehungen ausgeht.

Was insbesondere die Geometrie betrifft, so hat bei ihr die abstrakte Tendenz zu den großartigen systematischen Lehrgebäuden der algebraischen Geometrie, der Riemannschen Geometrie und der Topologie geführt, in denen die Methoden der begrifflichen Überlegung, der Symbolik und des Kalküls in ausgiebigem Maße zur Verwendung gelangen. Dennoch kommt auch heute dem *anschaulichen* Erfassen in der Geometrie eine hervorragende Rolle zu, und zwar nicht nur als eine überlegene Kraft des Forschens, sondern auch für die Auffassung und Würdigung der Forschungsergebnisse.<sup>5</sup>

Dieses Plädoyer für Anschaulichkeit, das Hilbert mit seiner Göttinger Vorlesung 1920/1921 einleitet, wird zur selben Zeit von Seiten der Naturforschung flankiert. Es ist Albert Einstein, der in seinem berühmten Vortrag „Geometrie und Erfahrung“ das Problem in äußerster Zuspitzung so formulierte: „Insofern sich die Sätze der Mathematik auf die Wirklichkeit beziehen, sind sie nicht sicher, und insofern sie sicher sind, beziehen sie sich nicht auf die Wirklichkeit.“<sup>6</sup> Dem Physiker geht es nicht in erster Linie um die Rückgewinnung der Anschaulichkeit als Ressource der Forschung wie Vermittlung mathematischer Erkenntnisse, sondern

5 David Hilbert: „Vorwort“, in: ders./Stephan Cohn-Vossen: *Anschauliche Geometrie* (1932), Berlin/Heidelberg/New York, NY: Springer<sup>2</sup>1996, S. V–VI, hier S. V.

6 Albert Einstein: *Geometrie und Erfahrung*, Berlin: Julius Springer 1921; Nachdruck in: ders.: *Mein Weltbild*, hg. von Carl Seelig, Frankfurt a. M./Berlin: Ullstein 1984, S. 119–127, hier S. 119 f.

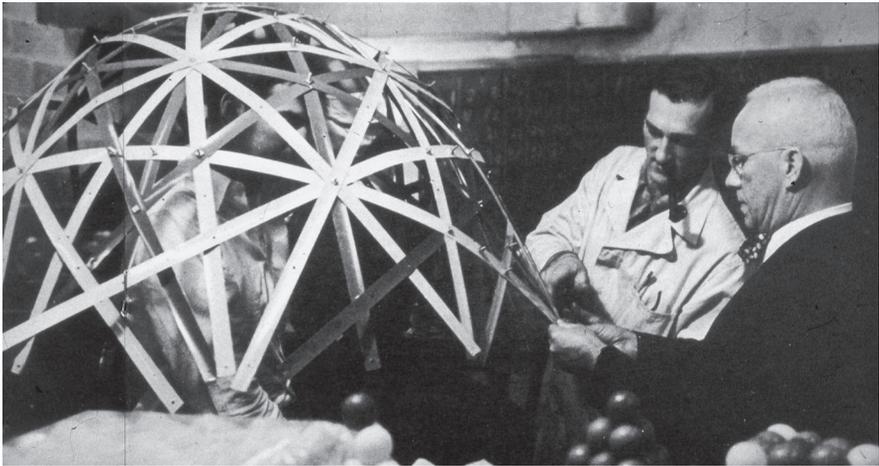


Abb. 4: Fuller mit Großkreismodell, 1948/49

ganz grundsätzlich um deren Wirklichkeitsbezug. Mit einer rein axiomatischen Geometrie kann sich der Naturforscher, so Einstein, nicht zufriedengeben:

Andererseits ist es aber doch sicher, daß die Mathematik überhaupt und im Speziellen auch die Geometrie ihre Entstehung dem Bedürfnis verdankt, etwas zu erfahren über das Verhalten wirklicher Dinge. Das Wort Geometrie, das ja Erdmessung bedeutet, beweist dies schon. Denn die Erdmessung handelt von den Möglichkeiten der relativen Lagerung gewisser Naturkörper zueinander, nämlich von Teilen des Erdkörpers, Meßschnüren, Meßplatten usw. Es ist klar, daß das Begriffssystem der axiomatischen Geometrie allein über das Verhalten derartiger Gegenstände der Wirklichkeit, die wir als praktisch starre Körper bezeichnen wollen, keine Aussage liefern kann. Um derartige Aussagen liefern zu können, muß die Geometrie dadurch ihres nur logisch-formalen Charakters entkleidet werden.<sup>7</sup>

Damit ist ziemlich genau das Feld umrissen, auf dem Fuller ein Vierteljahrhundert später seine energetisch-synergetische Geometrie entwickeln wird. Einstein nennt die ihm erforderlich scheinende Erweiterung oder Ergänzung eine „praktische Geometrie“ und fügt hinzu: „Dieser Auffassung von Geometrie lege ich deshalb eine besondere Bedeutung bei, weil es mir ohne sie unmöglich geworden wäre, die Relativitätstheorie aufzustellen.“<sup>8</sup> In der Hervorhebung des heuristischen Wertes dieser Geometrie als Weltbeschreibung hätte Fuller eine glänzende Bestätigung seines radikal empirischen Ansatzes einer nicht-axiomatischen Geometrie finden können. Er hatte wohl eine richtige Intuition, sich mitten in einer Phase fieberhafter Forschung und Entdeckereuphorie im Januar 1948 in einem Brief an Einstein

<sup>7</sup> Ebd., S. 121.

<sup>8</sup> Ebd.

zu wenden, um mit ihm zwei seiner zentralen Forschungsergebnisse, die isotope Vektormatrix und der Oktaeder-Tetraeder-Raumzellenkomplex, (Abb. 3) zu diskutieren. Dieser Brief scheint jedoch nie abgeschickt worden zu sein, der Entwurf ist aber erhalten.<sup>9</sup> Aus ihm geht hervor, dass Einstein bereit gewesen sei, ihn zu empfangen, allerdings nicht ohne vorher ein Schreiben erhalten zu haben. Von einer ersten Begegnung beider berichtet Fuller in seiner Autobiografie. Es ging um Passagen in *Nine Chains to the Moon*, seinem ersten regulären Buch von 1938, die sich ausdrücklich auf Einstein, die Relativitätstheorie und die berühmte Formel  $E=mc^2$  bezogen. Eine Interpretation dieser das Äquivalenzprinzip von Energie und Masse (im Produkt mit dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit) begründenden Formel findet sich dort als Überschrift zum 9. Kapitel: „ $E=Mc^2$  = Mrs. Murphy's Horse Power“.<sup>10</sup> Fuller äußerte darüber hinaus die Überzeugung, dass dieses Äquivalenzprinzip von größter Bedeutung nicht nur für die Wissenschaft, sondern in Zukunft auch und vor allem für das Alltagsleben sei. Einstein, dem das Buchmanuskript vorlag, hielt seinem Gesprächspartner in New York entgegen: „Junger Mann, Sie versetzen mich in Erstaunen. Ich kann mir nicht vorstellen, jemals etwas getan zu haben, was eine geringste praktische Anwendung findet.“<sup>11</sup> Fuller fährt dann in seinen Erinnerungen fort, wie sich Ende 1938 die Nachrichten über Otto Hahns Kernspaltung von Uran in Deutschland über die von den Nazis nach Dänemark geflohene Lise Meitner, die dort mit Nils Bohr zusammenarbeitete, verbreiteten. Als dann Bohr nach Amerika kam und die Versuche bestätigten, was Hahn und Strassmann gefunden hatten, konsultierte der amerikanische Präsident Franklin D. Roosevelt Albert Einstein. Fuller erinnert sich an Einsteins Bemerkung im New Yorker Gespräch über die praktische Folgenlosigkeit seiner Theorie und den Beweis des Gegenteils durch den Bau der Atombombe im Manhattan Projekt, und sagt dazu:

Ich bin der einzige, der Einstein diese außerordentliche Bemerkung hat sagen hören – und wie mußte er sich angesichts dieser Entwicklung fühlen. Er sagte auch noch, der einzige Grund für seine Arbeit hätte in der Hoffnung bestanden, dass die Kosmologen etwas damit anfangen könnten [...] er habe nicht gedacht, es könnte irgendeine praktische Anwendung haben. Seine Gleichung bestätigte sich durch den Atommeiler und Fermi in Chicago, und man denke an seine erste praktische Anwendung, die Hiroshima war, und wie Einstein für den Rest seines Lebens darüber nicht hinweg kam.<sup>12</sup>

Diese biografischen Zusammenhänge werfen ein Licht nicht nur auf den zeitgeschichtlichen Hintergrund, vor dem Fullers Geometrie eine „energetische“ wird, sondern auch, welche Rolle bei der Auseinandersetzung mit der modernen Physik

9 R[ichard] Buckminster Fuller: „Einstein Letter“, Jan. 17th 1948 in: Krausse/Lichtenstein: *Your Private Sky, Discourse* (Anm. 4), S. 171–173. Ders. „Brief an Albert Einstein“, in: Krausse/Lichtenstein (Hg.): *Your Private Sky, Diskurs* (Anm. 4), S. 184–187.

10 R[ichard] Buckminster Fuller: *Nine Chains to the Moon*, Philadelphia: J. B. Lippincott 1938, S.70–82.

11 Zit. nach Robert Snyder (Hg.): *Buckminster Fuller. An Autobiographical Monologue/Scenario*, New York, NY: St Martin's Press 1980, S. 68. Alle Übersetzungen aus dem Engl., sofern nicht anders angegeben, vom Autor.

12 Ebd., S. 69–70.

Einsteins Weltbild spielte. Er ist der Exponent einer Revolution, die sich den begrifflichen Sicherheiten der klassischen Mechanik, aber eben auch des Alltagshandelns entzieht. Fuller schreibt 1963:

Vor einem halben Jahrhundert waren die fundamentalen Unterschiede zwischen Isaac Newtons universeller Norm des *Zustands der Ruhe* und Albert Einsteins universeller Norm der *ständigen Veränderung* nur von akademischem Interesse. Heute erschüttert die ökonomische Signifikanz dieses Wechsels vom *Zustand der Ruhe* zur *ständigen Veränderung* als normale Bedingung des Alltagslebens fast alle traditionellen Praktiken der Menschheit. Früher waren Umbrüche gefürchtet, heute werden sie willkommen geheißen, nicht nur intuitiv in den Regungen der jungen Welt, sondern auch von den Managern der Massenproduktion. „Square shooters“ von gestern sind heute nur noch „square“. Das heißt aber nicht, dass unsere junge Welt keine Integrität besäße. Es bedeutet jedoch, daß das Vertrauen der jungen Generation in ihre Integrität so stark ist, daß sie die statischen Sicherheiten zugunsten von Einsteins Norm des Wandels über Bord werfen.<sup>13</sup>

Dieser kontinuierliche Wandel betrifft auch mit der Geometrie verbundene Begrifflichkeiten. Natürlich bleibt ein Quadrat eine geometrische Figur mit rechten Winkeln und gleichlangen Seiten, aber im reichen Umfeld der Konnotationen von *square* zeichnen sich gerade in der Zeit, in der Fuller dies schreibt, Veränderungen ab, die einen ‚habit of thought‘ im Moment seiner Auflösung sichtbar machen. Ein ‚square shooter‘ ist einfach ein braver Spieler, der sich regelkonform verhält, aber ‚square‘ erhält dann im Folgenden die Bedeutung von spießig, langweilig, und in dieser neuen pejorativen Bedeutung kündigt sich die Rebellion der Jugend in den nachfolgenden 1960er Jahren an.<sup>14</sup> Eine Devise dieser amerikanischen Jugendrebellion wird: „don’t be square“ – sei kein Spießier! Wie konnte so etwas dem unschuldigen Quadrat widerfahren? Und was hat das Quadratische mit Newton zu tun? In einer Tischrede zu Ehren Einsteins gab George Bernard Shaw 1930 eine ebenso erhellende wie humorvolle Antwort:

Als Engländer war Newton fähig, erstaunliche geistige Fähigkeiten mit einer Leichtgläubigkeit und Verblendung zu vereinigen, die einem Kaninchen Schande gemacht hätte. Als Engländer nahm er eine gradlinige Welt an, da die Engländer das Wort „viereckig“ stets dazu verwendeten, um mit ihm Ehrbarkeit, Vertrauenswürdigkeit, kurz Geradlinigkeit zu bezeichnen. Newton wußte, daß das Universum aus bewegten Himmelskörpern bestand und daß keiner sich in gerader Linie bewegte noch bewegen konnte. Durch solche Tatsachen war jedoch kein Engländer zu entmutigen. Um zu erklären, weshalb alle diese Linien in einem gradlinigen Weltall gebogen waren, erfand Newton eine

13 R[ichard] Buckminster Fuller: *Ideas and Integrities. A Spontaneous Autobiographical Disclosure*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall 1963, S. 273 f. Hvh. d. Autors. In Newtons Axiomen lautet sein berühmtes erstes Bewegungsgesetz: „Jeder Körper verharrt in seinem Zustand der Ruhe oder der gleichförmig – geradlinigen Bewegung, sofern er nicht durch eingedrückte Kräfte zur Änderung seines Zustands gezwungen wird.“ Isaac Newton: *Mathematische Grundlagen der Naturphilosophie* (1687), übers., eingl. und hg. von Ed Dellian, Hamburg: Felix Meiner 1988, S. 53.

14 Die Wörterbücher Anfang der 50er Jahre des 20. Jahrhunderts verzeichnen nur neutrale und positive Wortbedeutungen von ‚square‘. Vgl. *Webster’s New Collegiate Dictionary*, Springfield, MA: C&C. Merriam 1951, S. 821.

Kraft, die Gravitation genannt, und schuf damit ein vollständiges britisches Universum, an das 300 Jahre lang andächtig wie an eine Religion geglaubt wurde.<sup>15</sup>

Immerhin hielt Einstein Newtons Gravitationstheorie für eine „äußerst nützliche Hypothese“, die in den meisten Fällen ziemlich genaue Resultate ergäbe. Allerdings könne er ohne sie auskommen. Aber wie würde er dann erklären, wurde er gefragt, dass die Himmelskörper sich nicht in geraden Linien bewegen und aus dem Universum davonfliegen? Dafür sei keine Erklärung notwendig, da das Universum nicht geradlinig und im Übrigen nicht ausschließlich britisch sei, antwortete Einstein, es sei nämlich gebogen.<sup>16</sup>

### Tisch und Kugel

Das Werk, das hier näher betrachtet werden soll, ist eine Rauminstallation des Bildhauers Rainer Ruthenbeck aus dem Jahr 1985. (Abb. 5) Es trägt den Titel *Tisch mit gelber Kugel* und zeigt beide Objekte in einer merkwürdigen Anordnung in einem nur durch Fußboden, eine graue rückwärtige Wand und Lichteinfall von rechts angedeuteten neutralen Raum. Der Tisch ist in eine Schiefelage versetzt und steht nur mit den zwei Vorderbeinen auf dem Boden, weil die Kugel zwischen Boden und dem rechten Hinterbein gelagert ist und damit den ganzen Tisch fast zum Umkippen bringt. Das frei in der Luft schwebende linke Hinterbein, von dem nur ein kleines Stück zu sehen ist, verstärkt den Eindruck eines prekären Gleichgewichts, das diese Zusammenstellung von Tisch und Kugel produziert. Obwohl dieses Zustandsbild, das uns die Beziehung zwischen den Objekten vermittelt, zweifellos statisch ist, ruft es beim Betrachter doch die Vorstellung von mehreren denkbaren Zuständen bzw. Veränderungen in der Beziehung beider Objekte hervor. Da die Statik unbefriedigend ist, muss man an Dynamik denken.

Ruthenbeck hat selbst dem hier noch nicht eingetretenen Ereignis eine ganze Werkgruppe gewidmet und diese *umgekippte Möbel* genannt.<sup>17</sup> Mit ihren exponierten Unterseiten und in die Luft gereckten Beinen offenbaren sie die Bedürftigkeit, wieder mit den Füßen auf den Boden gestellt zu werden. Füße verlangen einen Boden, auf dem sie stehen, und eine gekippte Tischplatte ist ab einem bestimmten Neigungswinkel dabei, ihren Sinn zu verlieren. Die Tischplatte zeigt sich nur dann in der Lage, ihren wesentlichen Zweck zu erfüllen, wenn sie den Boden, auf dem der Tisch steht, in der gewünschten Höhe wiederholt. Man könnte sagen, die Tischplatte bereitet den Boden für Tätigkeiten von Sitzenden. In dieser Position nehmen auch sie ein Stück des Bodens in gehobener Stellung ihrer Sitzflächen ein. Die Tischplatte wiederholt den Boden, streift aber vermittels

<sup>15</sup> George Bernard Shaw zit. nach Carl Seelig: „Anmerkungen des Herausgebers“, in: Einstein: *Mein Weltbild* (Anm. 6), S. 174–201, hier S. 184.

<sup>16</sup> Ebd., S. 185.

<sup>17</sup> Andreas Bee: *Rainer Ruthenbeck*, hg. vom Museum für Moderne Kunst, Frankfurt a. M./Nürnberg: Verlag für Moderne Kunst 1996, S. 58–79.



Abb. 5: Rainer Ruthenbeck:  
Tisch mit gelber Kugel, 1985

der Tischbeine alles fußbodenhaft Rohe ab, um dem Oberkörper und vor allem den Händen eine Basis zu bieten. Die Platte kann sich dem Ideal der glatten, ebenen Fläche annähern, womit auch die feineren Betätigungen von Auge, Hand und Geist eine Grundlage und einen Halt finden.

In Ruthenbecks Installation werden wir mit einer gegenseitigen Blockade konfrontiert: Die Kugel ist eingeklemmt, und der Tisch kann nicht richtig stehen. Damit ist eine Übergangssituation entstanden, die auf beunruhigende Dauer gestellt wurde. Eine Änderung der Lage ist eher von der Kugel her zu erwarten und nicht vom Tisch. Der Kugel ist Beweglichkeit zuzutrauen, sie vertritt ein dynamisches Prinzip, der Tisch im Gegenteil scheint pure Statik zu sein. Wie oft ärgert es Tischgenossen, wenn der Tisch nicht fest steht, sondern kipzelt. Die Kugel finden wir im Leben als Geschoss, als reibungsarmes Element in Kugellagern, als Murmel, als Ball ganz unterschiedlicher Größe, als Fesselballon, als Himmelskörper – immer ist die Kugelform mit Bewegung verbunden. Gegenüber dem Tisch hat die Kugel in der Installation einen Durchmesser von genau der halben Länge eines Tischbeins, also etwa die Größe eines Medizinballs. Aber Ruthenbeck gibt keinerlei Hinweis auf einen konkreten Gegenstand. Im Unterschied zum Tisch, der mit seinen 84 cm Höhe sogar ein Standardmaß einhält, und der immer an ein menschliches Maß gebunden bleibt, besitzt die Kugel kein derartiges Maß, sie ist maßstabslos. Daher können wir uns ohne weiteres eine Verkleinerung bis auf die Größe eines Stecknadelkopfes vorstellen, oder die Vergrößerung bis zu den Ausmaßen eines Planeten, sagen wir der Erde: In beiden Fällen fände der Tisch einen sicheren Stand. Das ließe uns vergessen, dass es im Verhältnis von Tisch und Kugel um einen prinzipiellen Unterschied ihrer Geometrien geht, der von Riemann, Einstein und Fuller, als ein systemischer erkannt wird.

Einstein benutzt in seiner Schrift *Über Spezielle und allgemeine Relativitätstheorie* Tisch und Kugel als theoretisches Modell, an denen er die Unterschiede zwischen einem „euklidischen Kontinuum“ (Tischplatte) und einer nicht-euklidischen „Fläche konstanter Krümmung“ (Kugel) demonstriert. Es dient ihm als Ausgangspunkt zur Verdeutlichung eines „Riemannschen Raums“. Mit der Kugel­fläche eröffnet sich die „Möglichkeit einer endlichen und doch nicht begrenzten

Welt.“<sup>18</sup> Fuller reflektiert diese beiden Welten von den operativen Bedingungen der geometrischen Einschreibung her. Er prüft die Werkzeuge, die Euklid und die anderen antiken Geometer bereits verwendet haben. In dem bereits eingangs zitierten Text „Dymaxion Comprehensive System“ ist diese Kritik an Euklids *Elementen* erstmals formuliert: „In seinen Theorien zu Konstruktion und Beweis hat er sich die Beschränkung auf drei Werkzeuge auferlegt – Lineal, Zirkel und Griffel. Er benutze jedoch“, schreibt Fuller „ein viertes Werkzeug, ohne ihm Rechnung zu tragen, und das war die Oberfläche, der er seine diagrammatischen Konstruktionen einschrieb“.<sup>19</sup> Dann wird darauf verwiesen, dass zur Zeit Euklids das sphärische Konzept des Universums wieder verlorengegangen sei, das die alten Philosophen schon kannten, und die Gelehrten hätten sich dem Konzept einer flachen und ebenen Erde verschrieben. Es sei daher nicht überraschend, fährt er fort, „dass der Gebrauch dieser ebenen Fläche als Arbeitsfläche axiomatisch wurde. Logischerweise ergab sich aus der falschen Konzeption, dass der Anfang (von Euklids Beweisen) in dem besonderen und abstrakten Bereich einer imaginären ebenen Geometrie lag“.<sup>20</sup>

Dass ein nicht bedachtes Werkzeug, ohne das es freilich keine Operation der Einschreibung geben kann, in die Axiomatik dieser geometrischen Operationen eingehen kann, also jene Lehrsätze, die als selbstverständlich gelten, ist ein Gedanke, der uns heute im Lichte neuer Medientheorien und Kulturtechnikforschung nachvollziehbar erscheint. In der Zeit seiner Entstehung fand Fuller, trotz seiner Kontakte zu Naturwissenschaftlern und Ingenieuren, keine adäquaten Gesprächspartner. Für sein Forschungsprogramm der Synergetics ist das Konzept insofern grundlegend, als die Einschreibungen der geometrischen Operationen von vornherein als das Zusammenwirken zweier interagierender Bestandteile oder Subsysteme aufgefasst werden kann, deren Wechselwirkung von Fuller dann als eine der zahlreichen Formen von Interferenz (*interference*) beschrieben werden kann. Den systemischen Unterschied, den wir am Beispiel von Tisch und Kugel vergegenwärtigt haben, fasst Fuller in *Synergetics* wie folgt zusammen:

Realistischerweise waren die griechischen Geometer sich nicht der Tatsache bewusst, auf einem sphärischen Planeten zu sein, und sie beschäftigten sich zunächst nur mit der Geometrie der Fläche. Diesen griechischen Flächengeometern gelang es nicht, die gleichermaßen wichtige individuelle Integrität des Systems zu erkennen und zu identifizieren, auf dessen unsichtbar strukturierter Oberfläche sie ihre Einschreibungen machten. Die euklidischen Mathematiker hatten eine geozentrische Fixierung und keinen Sinn dafür, unseren Planeten als inkludierbaren Teil in ihren Werkzeugbestand aufzunehmen.<sup>21</sup>

18 Albert Einstein: *Über spezielle und allgemeine Relativitätstheorie* (1917), Braunschweig: Vieweg 1920, S. 55–60 und 71 f.

19 Fuller: „Dymaxion Comprehensive System“ (Anm. 4), S. 164, dt.: S. 175.

20 Ebd.

21 Fuller: *Synergetics 2* (Anm. 1), 986.042, S. 221.

Die Folgen des systemischen Unterschieds, wie ihn Fuller versteht, werden durch das Zeichnen eines Dreiecks auf der Erdoberfläche demonstriert, also nicht auf dem Tisch mit einem Papier darauf oder einer Tafel, und auch nicht auf jenem Sandbrett, auf dem die antiken Geometer ihre Figuren und figurierten Zahlen einschrieben. In *Synergetics* heißt es:

Wir alle sind mit ebener Geometrie erzogen worden, wo ein Dreieck als eine Fläche verstanden und definiert wird, die von einer geschlossenen Linie *begrenzt* wird sowie drei Seiten und einen Winkel hat. Ein Kreis ist eine Fläche, *begrenzt* von einer geschlossenen Linie mit gleichem Abstand zum Flächenmittelpunkt. Die Fläche außerhalb der geschlossenen Grenzlinie war nicht nur undefiniert, sondern auch unvorstellbar und nicht in die Überlegung einbezogen.<sup>22</sup>

Fuller nennt das eine „Voreingenommenheit für eine Seite der Linie“,<sup>23</sup> um dann auf die systemtheoretische Bedeutung der Linie aufmerksam zu machen:

Eine „Linie ziehen“ kann man nur auf der Oberfläche eines Systems. Alle Systeme teilen das Universum in ein Inneres [insiderness] und ein Äußeres [outsiderness]. Systeme sind endlich. Gleichberechtigung heißt, weder die eine noch die andere Seite der Linie zu bevorzugen. Jedes Mal, wenn wir operational eine Linie auf einem System ziehen, kehrt sie zu sich selbst zurück. Die Linie teilt immer die Flächeneinheit eines Systemganzen in zwei Teile, beide gleichberechtigt als Flächeneinheit.<sup>24</sup>

Ein Dreieck auf der Kugel ist ein sphärisches Dreieck. Wie das ebene hat auch das sphärische Dreieck drei Winkel, deren Winkelsumme allerdings größer ist als 180 Grad, und drei Kanten, die jedoch keine Geraden sind, sondern Bogensegmente von Großkreisen bzw. Geodäten. (Abb. 4, 6) Der Hauptunterschied zwischen einer ebenen Figur und einer sphärischen ist aber der, dass ein sphärisches Dreieck niemals allein kommt, sondern mit ihm immer ein zweites entsteht, das die übrige Fläche der Kugel einnimmt. Dieses zweite Dreieck, das mit der Einschreibung des ersten entsteht, ist dessen Komplementär: Das eine existiert nicht ohne das andere, und zusammen haben sie eine konstante Winkelsumme.

Da Fuller dieses Ziehen einer Linie als elementare Operation versteht, kann er es als Essenz menschlichen Planens und Agierens auf dem Planeten behandeln. So entsteht beiläufig, mit dem Zeichnen eines kleinen Dreiecks auf der Erde, eine *more geometrico* begründete Ethik der Globalität:

Die Flächenfigur, die von einer geschlossenen Linie umschrieben wird, teilt immer und nur die Gesamtfläche in zwei komplementäre Teilflächen. Wer diese Entdeckung experimentell macht, sagt spontan: „Aber ich hatte doch gar nicht im Sinn, das große Dreieck zu machen“, oder „das große Quadrat“ oder tatsächlich eine solche Schweinerei anzurichten wie die Umweltverschmutzung. Diese Unabsichtlichkeit ändert nichts an den universalen Wahrheiten. Wir alle sind gleichermaßen ver-

22 Fuller: *Synergetics* (Anm. 1), 811.00, S. 441.

23 Ebd., S. 442.

24 Ebd.

antwortlich. [...] Wir sind von Natur aus verantwortlich für die komplementären Transformationen des Universums, einwärts, auswärts und um jedes System herum, das wir verändern.<sup>25</sup>

## Was ist Struktur?

Fuller schreibt einleitend zu Tensegrity-Strukturen:

Jeder meint zu wissen, was das Wort *structure* bedeutet. Man zeigt auf eine Mauer aus Steinen, eine Brücke oder eine Scheune und sagt: „Das ist eine Struktur.“ Was haben eine Stahlbrücke, eine Holzscheune, eine Jumbo Jet, ein Eisberg, ein Seeigel, ein Stern, ein Farn, ein Diamantjuwel, ein Elefant, eine Wolke und ein menschliches Baby gemeinsam? Sie alle sind Strukturen. Einige sind flexibler, einige sind dauerhafter als andere. Warum? Warum haben Steine, Holz und Stahl überhaupt einen Zusammenhalt?<sup>26</sup>

Diese faustische Frage wird hier angesichts einer Enttäuschung gestellt: Weder die Natur- noch die Ingenieurwissenschaften verfügen über einen Strukturbegriff, den Fuller hätte befriedigend finden können, obwohl es einige Versuche der Zusammenführung der Disziplinen gegeben hat.<sup>27</sup> Um besser zu verstehen, wo Fullers Ansatz zur Klärung des Strukturbegriffs sich abhebt von den traditionellen, aus dem Bauen hergeleiteten Vorstellungen, ist es hilfreich, zunächst einen Blick auf diese Tradition zu werfen und das Bauen als fundamentale Kulturtechnik aufzufassen, aus der die Modelle für die zahlreichen Übertragungen stammen.

Im Deutschen wird das Wort Struktur in viel abstrakterem Sinne gebraucht als beispielsweise im Englischen,<sup>28</sup> wo *structure* zu allererst ‚Bau‘, ‚Aufbau‘ bezeichnet, in zweiter Linie das Bauwerk oder Gebäude, drittens die Anordnung von Teilen und schließlich figürlich die Wechselbeziehung von Teilen hinsichtlich eines – dominierenden – Ganzen.<sup>29</sup> Während im Deutschen der organisatorische Aspekt von Struktur im Vordergrund steht, ist das englische *structure* näher an seinem lateinischen Ursprung, wo *structura* die Zusammenführung von Bauteilen und Baumaterial meint. Es ist dort so konkret verstanden, dass nicht nur der Bau, sondern eine bestimmte, über viele Jahrhunderte vorherrschende Bauweise bezeichnet wird, nämlich der Mauerwerksbau. Lateinisch *structor* ist der Maurer und *structura* das

25 Fuller: *Synergetics* (Anm. 1), 814.01, S. 446.

26 Fuller: *Synergetics 2* (Anm. 1), 790.11, S. 165. Vgl. auch die sich auf Fuller berufende geodätische Mathematik seines Freundes Hugh Kenner: *Geodesic Math. And how to use it*, Berkeley, CA: University of California Press 1976.

27 Vgl. Gyorgy Kepes (Hg.): *Structure in Art and Science*, New York, NY: Georg Braziller 1965, darin insb. R[ichard] Buckminster Fuller: „Conceptuality of Fundamental Structures“, in: ebd., S. 66–88.

28 Diese zutreffende Beobachtung macht der Übersetzer Alex Bewersdorff in: J[ames] E. Gordon: *Strukturen unter Stress. Mechanische Belastbarkeit in Natur und Technik*, aus dem Amerik. von Alex Bewersdorff, Heidelberg: Spektrum des Wissens 1989, S. 11.

29 So in *Webster's Dictionary* (Anm. 14), S. 841.

Mauerwerk. Das Allgemeine am Mauerwerksbau, dass nämlich Schicht um Schicht der Mauersteine übereinander und nebeneinander aufgebracht werden muss, um die Mauer des Bauwerks zu errichten, bringt das Verb *struere* (*struo, struxi, structum*) zum Ausdruck, das einfach ‚schichten‘, ‚anhäufen‘ meint. In diesem Sinne verwendet es der römische Architekt und Architekturtheoretiker Vitruv, um eine sehr alte Bauweise, das Aufschichten von Mauern aus luftgetrockneten Lehmklumpen, zu beschreiben.<sup>30</sup> Das Aufschichten der Massen zu einem Haufen ist wohl das Allgemeinste, was *struere* und, davon auch abgeleitet, *strues* ‚Schicht‘, ‚Haufen‘ bezeichnet.

Der erste Schritt zu irgendeiner Ordnung wäre demnach die Bildung eines Haufens. Im Haufen begegnen sich Gewordensein und Gemachtsein, geworden wie die Erde selber, gemacht durch wiederholte Tätigkeit, die einem Entschluss zur Akkumulation und einer Entscheidung über Ort und Stelle folgt. Eine formende Absicht oder eine Disposition über die Lage der Teile ist nicht zu erkennen. Lieengelassen wird er übergangslos Teil der Erde, auf der er sich bildet, wenn er zunimmt, so wächst er additiv. Der ganze Haufen ist nichts als die Summe seiner Teile.

Die höheren Ordnungen des Aufschichtens von Massen entstehen jedoch erst mit einer Zurichtung der rohen Baustoffe in Hinblick auf ein geregeltes Zusammenfügen verschiedener Teilstücke zu einer wie auch immer vorgestellten größeren Einheit. Das entspricht etwa dem, was unter dem baulichen Gesichtspunkt als Struktur verstanden werden kann. Der Mauerwerksbau ist prägend für ein solches Verständnis, und er gibt eine Vorstellung von der gegenseitigen Bedingtheit der Materialien und dem Gefüge. Bereits Vitruv nennt vier verschiedene Arten, die Steine zu verlegen, je nachdem, ob es sich um rohe oder behauene Bruchsteine oder Ziegelsteine handelt.<sup>31</sup> Die Muster ihrer Anordnung in der Horizontalen und Vertikalen, also das Reihen und Stapeln sowie das Verzahnen der Bausteine zeigen sich in den sehr unterschiedlichen Verbänden. (Abb. 7) Sie variieren sowohl nach den Bauaufgaben wie auch nach den regionalen Ressourcen und Traditionen.

Einen Begriff davon geben die Studien Frank B. Gilbreths (1868–1924), dessen praktischen Überlegungen Fullers Strukturverständnis, wie noch zu zeigen sein wird, grundlegend beeinflusst haben. Gilbreth schreibt über die Methoden des Mauerns zu Beginn des 20. Jahrhunderts in Amerika, wohin die Einwanderer die Mauerwerkstradition ihrer Herkunftsländer mitbringen.<sup>32</sup> Dies fällt in eine Zeit, in der sich prinzipielle Änderungen in der Baukonstruktion durchsetzen und der massive Mauerwerksbau an die Grenzen seiner technischen und vor allem ökonomischen Leistungsfähigkeit stößt. Gilbreth sucht nach Möglichkeiten,

30 „Alii luteas glebas arefacientes struebant parietes [...]“, *Vitruvii de architectura libri decem*, lateinisch und deutsch, aus dem Lat. und mit Anmerkungen versehen von Curt Fensterbusch, Darmstadt: WBG 1987, II, 2,15, S. 80.

31 Vgl. ebd., II, 8,1 und II 8,6, S. 102–105.

32 Vgl. Frank B[unkers] Gilbreth: *Bricklaying System*, New York, NY: McGraw Hill Book Co. 1909.

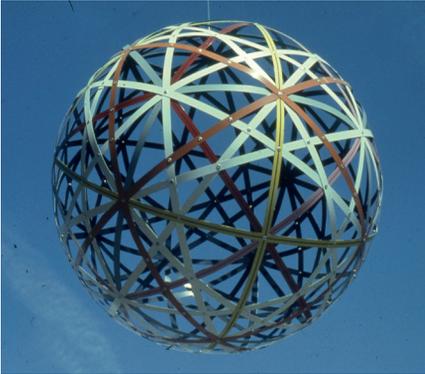


Abb. 6: Fullers: Großkreismodell, 1948

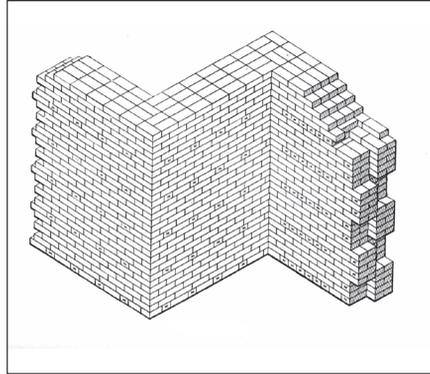


Abb. 7: Mauerwerksverband nach Gilbreth

[...] die Kosten von Mauerwerk soweit zu senken, dass es mit Beton konkurrieren kann. Die jüngsten Verbesserungen bei den Methoden des Mischens, des Transports und der Verdichtung des Betons in Gießformen aus Metall stellen das Mauerwerk grundsätzlich in Frage, wenn es nur noch für das Aussehen gebraucht wird. Hinsichtlich Stärke, Dichtigkeit, Schnelligkeit des Bauens, geringem Gewerkschaftswiderstand und geringer Kosten kann Mauerwerksbau unter den gegenwärtigen Bedingungen mit Beton nicht konkurrieren.<sup>33</sup>

## Die Baustelle als Bewegungslabor und Strukturwandler

Gilbreth steht mit seinen Arbeiten selber exemplarisch für den Übergang von einem statischen zu einem dynamischen Strukturbegriff. Da er ein Mann vom Bau ist und *structure* im Englischen, wie gesagt, einfach Bau heißt, verwendet Gilbreth zur Bezeichnung der unterschiedlichen Bauweisen das Wort ‚System‘, so in den Titeln seiner ersten drei Bücher: *Field System* (1905), *Concrete System* (1908) und *Bricklaying System* (1909).<sup>34</sup> Der dynamische Aspekt von Struktur ist im Werk von Gilbreth von vornherein implizit enthalten, weil er in seinen Untersuchungen der Baukonstruktion seiner Zeit nicht nur den historischen Umbruch in der Bauproduktion – vom Mauerwerksbau zum Stahl- und Betonbau – dokumentierend bezeugt. Vielmehr fokussiert er im Unterschied zu den zeitgenössischen Ingenieuren und Architekten nicht das Gebäude als Objekt, sondern die Baustelle und die Gesamtheit der vielfach zusammengesetzten Bauarbeiten. (Abb. 8 a–b)

Als der gelernte Maurer sich 1895 selbstständig macht und Bauunternehmer (*building contractor*) in Boston wird, ist er mit der Aufgabe beschäftigt, die Bauab-

<sup>33</sup> Frank B[un]ker Gilbreth: *Motion Study*, New York, NY: D. van Nostrand Co. 1911, S. 97.

<sup>34</sup> Die Erstauflagen dieser Bücher erschienen im Verlag The Myron C. Clark Publishing Co., New York, NY, *Bricklaying System* im Verlag Mc Graw Hill, New York, NY.



Abb. 8 a: Gilbreth: Baustellenfoto



Abb. 8 b: Gilbreth: Baustellenfoto

läufe seiner Baustellen rationell zu organisieren. Seinen Klienten verspricht er kurze Bauzeiten, *Speed Work* – ein Laboratoriumsgebäude für das Massachusetts Institute of Technology (MIT) wird binnen elf Wochen fertiggestellt – was ein kontrolliertes Zusammenwirken von der Logistik der Stoffströme und Materialien wie der Akkordarbeit der verschiedenen Gewerke und Bauarbeiterkolonnen auf der Baustelle verlangt.<sup>35</sup> An deren Schnittstelle arbeitet Gilbreth. Aus seinen 15 Patenten zwischen 1895 und 1916 lässt sich ablesen, dass die Vorrichtungen, Verfahren und Konstruktionen sämtlich der Steigerung von Effizienz im Baubetrieb dienen.<sup>36</sup> Diese aber ist das Ergebnis einer möglichst reibungslosen Interaktion zwischen den Bewegungen der Materialien und den Bewegungen der lebendigen Arbeit – vermittelt durch Werkzeuge, Gerätschaften, Gerüste und Arbeitsumgebungen. Sie alle stehen im Zeichen einer Verflüssigung der konstruktiven Arbeit, und Gilbreth geht es darum, alles aus dem Weg zu räumen, was deren Fluss stört oder eben überflüssig ist.

In der Organisation solcher dynamischer Systeme<sup>37</sup> wird Gilbreth ein Experte weit über das Bauwesen hinaus. Als zeitweiliger Mitstreiter von Frederick Winslow Taylor (1856–1915) wird er auch ein führender Vertreter des *Scientific Management*. Sein eigenständiger Beitrag verdankt sich jedoch der engen Zusammenarbeit mit seiner Ehefrau Lillian Moller Gilbreth (1878–1972), einer promovierten Psychologin, die seit ihrer Heirat 1904 die Richtung der Gilbreth'schen Forschungen maßgeblich mitbestimmt.<sup>38</sup> (Abb. 9 a–b) Sie fokussieren den menschlichen Faktor bei der Arbeit und anderswo (Sport, Militär etc.) mit der Methode der *Motion Study*, einer bildgestützten Untersuchungspraxis. Auf Ablehnung stößt diese Me-

---

35 Erst in der zweiten Hälfte der 1920er Jahre wird dies ein Thema der Architekten des Neuen Bauens in Europa, z. B. bei Walter Gropius, Ernst May und Martin Wagner. Vgl. Walter Gropius: „Der Architekt als Organisator der modernen Bauwirtschaft und seine Forderungen an die Industrie“ (1928), in: ders., *Ausgewählte Schriften*, hg. von Hartmut Probst/Christian Schädlich, Berlin: Verlag für Bauwesen/Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und Technisches Wissen, 1988, Bd. 3, S. 118–122.

36 Lillian [Evelyn] M[oller] Gilbreth: *The quest of the one best way. A sketch of the life of Frank Bunker Gilbreth* (1973), dt.: *Das Leben eines amerikanischen Organisations: F.B. Gilbreth*, übers., mit einer Einleitung und fachlichen und kritischen Würdigung von I[rene] M[argarete] Witte, Stuttgart: C.E. Poeschel 1925, S. 86.

37 Eine für die Generalisierung geeignete Theorie entwickelt der Biologe Ludwig von Bertalanffy um 1940: die allgemeine Systemtheorie, mit der Fullers Synergetics in wesentlichen Punkten übereinstimmt. Ludwig von Bertalanffy: „Der Organismus als physikalisches System betrachtet“, in: *Die Naturwissenschaften* 28 (1940) 33, S. 521–531. Ders.: *General System Theory. Foundations, Developments, Applications*, New York, NY: George Braziller 1968. R[ichard] Buckminster Fuller: „Philosophy, Invention, Experience“, in: Boston Architectural Center (Hg.): *Systems. Proceedings of the second Boston Architectural Center Lecture Series 1968*, Boston, MA: The Center 1970, S. 7–29, hier S. 7.

38 Siegfried Giedion: *Mechanization Takes Command. A contribution to anonymous history*, New York, NY: Oxford University Press/Ann Arbor, MI: University of Michigan Library, Scholarly Publishing Office 1948, S. 100. Jane Lancaster: *Making Time. Lillian Moller Gilbreth – A Life Beyond ‚Cheaper by the Dozen‘*, Boston, MA: Northeastern University Press 2004, S. 65 *passim*.



Abb. 9 a: Frank Gilbreth, Filmstill



Abb. 9 b: Lillian Moller Gilbreth mit ihren Kindern, Filmstill

thode bei Taylor, dessen Zeitstudien durch Bewegungsstudien, die Stoppuhr durch die Kamera abgelöst werden.<sup>39</sup>

Vorbereitet durch seine Baudokumentationen, in denen die Phasen der Errichtung des Gebäudes ebenso wie die Operationen der Bauarbeiter auch fotografisch aufgezeichnet werden,<sup>40</sup> wendet sich Gilbreth um 1910 der kinematographischen Bewegungsanalyse zu, um in die Feinstrukturen menschlicher Motorik vorzudringen. Diese Strukturen sind dem bloßem Auge ebenso wenig zugänglich wie die Energien und Bindekräfte im Beton, sie müssen durch eine immer komplexer werdende Instrumentierung zunächst als visuelle Muster sichtbar gemacht und schließlich – im doppelten Wortsinn – realisiert werden: objektiviert und wahrgenommen. Gilbreth erreicht dieses Ziel über viele Zwischenschritte mit einer opto-elektrischen Installation, die er *Chronocyclegraph* nennt und als *Method and Apparatus for the Study and Correction of Motions* im Mai 1913 patentieren lässt.<sup>41</sup> (Abb. 10 a–c, 11 a–c) Bis dahin bewegen sich Gilbreths Aufzeichnungsversuche auf einem der Experimentalwissenschaft wohlbekannten Terrain, nämlich dem der bahnbrechenden Arbeiten des Physiologen Étienne-Jules Marey (1830–1904), der seine *graphische Methode* der Bewegungsanalyse zur *Chronophotographie* und zuletzt zur *Kinematographie* weiterentwickelt. Wie sehr sich Gilbreth in dessen Fußstapfen bewegt, hat Martha Braun gezeigt.<sup>42</sup>

39 [rene] M[argarete] Witte: *Taylor – Gilbreth – Ford. Gegenwartsfragen der amerikanischen und europäischen Arbeitswissenschaft*, München/Berlin: Oldenbourg 1925, S. 31 f.

40 Vgl. die Bildtafeln in Gilbreth: *Bricklaying System* (Anm. 32), u. a. S. 22–26, 67 und ders.: *Motion Study* (Anm. 33), insbes. S. 103–104.

41 U.S. Patent 1.199.980, Application filed May 23, 1913, patentiert am 3. Oktober 1916. Zwei Seiten daraus mit den entsprechenden Zeichnungen sind abgebildet in: Frank Bunker Gilbreth/Lillian Moller Gilbreth: *Die Magie des Bewegungsstudiums. Photographie und Film im Dienst der Psychotechnik und der wissenschaftlichen Betriebsführung*, hg. von Bernd Stiegler unter Mitarbeit von Alexander Müller, München: Wilhelm Fink 2012, S. 92 f. Der Band enthält eine Auswahl vor allem der späteren Texte in deutscher Übersetzung sowie Bild- und Textdokumente aus dem Nachlass.

42 Martha Braun: *Picturing Time. The Work of Etienne-Jules Marey (1930–1904)*, Chicago, IL: University of Chicago Press 1992, S. 340 f.

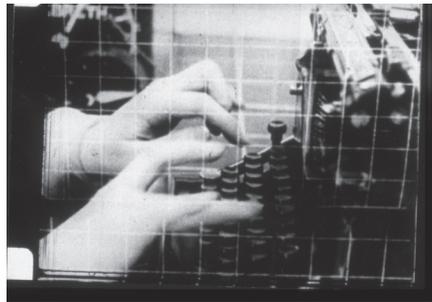
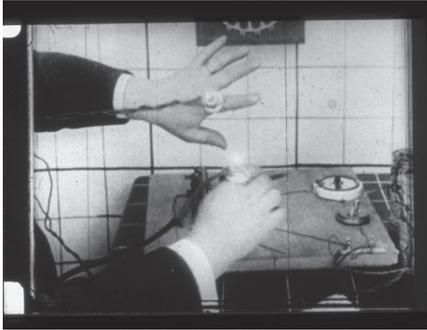


Abb. 10 a–c: Demonstration des Chronozyklographen

Abb. 11 a–c: Bewegungszyklus Schreibmaschine

Allerdings muss man an Gilbreths Ausgangspunkt erinnern, in den diversen Arten des Steineverlegens und Aufmauerns den *einen besten Weg der Arbeitsverrichtung* („the one best way of doing work“) zu suchen<sup>43</sup> und damit unnötige körperliche Anstrengung zu vermeiden. So wird mit dem Arbeitsgerüst von 1895 (*vertical scaffold*) dem

43 So auch der Originaltitel der Biographie: Lillian [Evelyn] M[oller] Gilbreth: *The Quest for the One Best Way. A sketch of the Life of Frank Bunker Gilbreth*, Chicago, IL: Society of Industrial Engineers 1924; Nachdruck: Easton, PA: Hive Publishing Company 1985.

Maurer kräftezehrendes Bücken erspart und die Arbeitsproduktivität ohne zunehmende Ermüdung um 25 Prozent gesteigert. In den Erfindungen zum Betonbau, wie etwa dem transportablen Betonmischer von 1899, fällt auf, dass Gilbreth die Schwerkraft nicht etwa ‚überwinden‘, sondern für sich arbeiten lassen will. „Gravitation bot Gilbreth die Gelegenheit zur Ersparung von Bewegung, Zeit und Verausgabung von Energie durch Menschen oder Maschinen. [...] Als Fachmann vom Bau hatte er erkannt, dass oft der beste Weg der Arbeit darin bestand, nicht gegen die Schwerkraft zu arbeiten, sondern mit ihr.“<sup>44</sup> Dies wiederum entspricht der Auffassung von Fuller, dessen Erfahrung als Bauleiter von 240 Baustellen in den Jahren 1922–27 die Grundlage für seine Kritik des sorglosen Umgangs mit dem Gewicht im Bauen bildet und seine berühmte Frage an die Architekten hervorruft „Was wiegt Ihr Haus?“ („What does your building weigh?“). Und darüber hinaus ist Fullers Strategie des Leichtbauens dem der Gilbreth’schen Strategie der Arbeiterleichterung verwandt, wie es sein Slogan „Don’t fight forces – use them“ auf den Punkt bringt.<sup>45</sup>

Gilbreth geht nicht nur in seinen Anwendungen, vor allem in der Industrie, über Marey hinaus, indem er die Arbeitsprozesse wie auch die Arbeitsmittel und -umgebungen umgestaltet, sondern auch dort, wo er den Weg zu einer Elementarisierung menschlicher Bewegung einschlägt. „Bewegungsstudium“, so definieren es Frank und Lillian Moller Gilbreth 1917, „besteht darin, die Arbeit möglichst in die grundlegendsten Elemente zu zerlegen, diese Elemente einzeln und in ihrem Verhältnis zueinander zu studieren und aus diesen studierten Elementen nach Feststellung der zu ihrer Ausführung erforderlichen Zeit das wirksamste Verfahren auszuarbeiten.“<sup>46</sup> Ganz unvermutet führte uns Gilbreths Weg von den Baustellen der Maurer, der Bausteine und Gerüste, der Betonmischer, Einschaltungen und Gießformen auf eine Baustelle der Bewegungsstrukturen, Bewegungsstrukturen, die sich dem Auge als solche aber erst in der Ablösung vom Performer und seinem ausübenden oder ausführenden Körper enthüllen und der Analyse zugänglich machen.

Diese Art der nicht verbalen, sondern medientechnischen Abstraktion ist nirgendwo besser nachzuvollziehen als in den Filmbeispielen, die uns aus den nahezu 100.000 m belichteten Filmmaterials der Gilbreth’schen Bewegungsstudien überliefert sind.<sup>47</sup> Abstrahiert vom Körper in Bewegung wird zunächst die Bahn, die eines seiner Glieder beschreibt. Um diese Bahn als Spur aufzuzeichnen, wird eine helle punktförmige Markierung etwa am Handgelenk, am Finger oder am Fußknöchel angebracht, die das Licht auf die photosensitive Schicht der Platte oder des Films

44 Jane Morley: „Frank Bunker Gilbreth’s Concrete System“, in: *Concrete International* 12 (1990) 11, S. 57–62, hier S. 62.

45 Vgl. Krausse/Lichtenstein: *Your Private Sky, Design Science* (Anm. 2), S. 402–403.

46 Frank B[unker] Gilbreth/Lillian [Evelyn] M[oller] Gilbreth: *Applied Motion Study* (1917), dt.: *Angewandte Bewegungsstudien*, aus dem Amerikan. von Irene M[argarete] Witte, Berlin: Verlag des Vereins deutscher Ingenieure 1920, S. 41.

47 Eine Sammlung der historischen Filme aus dem Zeitraum 1912–1917 wurde 1945 auf Betreiben von Lillian M. Gilbreth zusammengestellt: *The Original Films of Frank B. Gilbreth Presented by James S. Perkins in Collaboration with Dr. Lillian M. Gilbreth and Dr. Ralph M. Barnes*, sponsored by the Chicago Chapter of the Society for the Advancement of Management. O. J. (1946), s/w, 35 mm Stummfilm mit Schriftinserts, ca. 30 Minuten; 16 mm Kopie im Archiv des Autors.

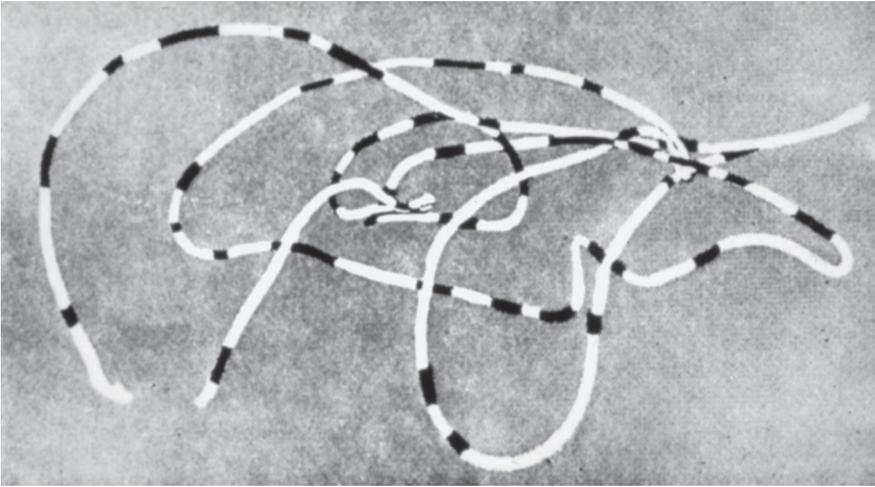


Abb. 12: Vierdimensionale Drahtskulptur eines Bewegungszyklus

wirft. Da alle diese Bewegungen zyklisch verlaufen, nennt Gilbreth ihre Spurformen *cyclegrams*. Sie können als Drahtskulpturen nachgebaut werden, (Abb. 12) wenn die drei Raumkoordinaten und eine Zeitkoordinate mit entsprechenden Messvorrichtungen, vor allem Rastern und Uhren, in die Aufnahmen eingeführt werden. Die abgelesenen Daten werden auf einer Bewegungskarte eingetragen, womit der Bau eines dreidimensionalen Bewegungsmodells in beliebigem Maßstab möglich ist. Solche Bewegungsmodelle können vierdimensionale Skulpturen werden, die mit den unterschiedlichen Geschwindigkeiten des Bewegungsverlaufs korrespondieren. Gewonnen werden die Intervalle durch Ersetzen der reflektierenden Markierung an dem betreffenden Körperteil durch eine kleine Glühlampe, deren periodisches Aufleuchten durch einen Stromkreis mit Unterbrecherkontakt gesteuert wird. Im Film wird dies demonstriert in einer Sequenz, in der man die verkabelte Versuchsperson mit Glühlämpchen an den Händen Bewegungen ausführen sieht, deren unterbrochene Lichtspuren mit dem langsamen Abblenden der Kamera als zunehmend abstrakt werdende Trajektorien hervortreten, um schließlich völlig vom Körper gelöst zu sein. Jede Bewegung dieser Art kehrt zu ihrem Ausgangspunkt zurück, bei repetitiven Arbeiten folgt darauf ein ähnlicher neuer Zyklus.

Diese Demonstrationen machen die Einzelbewegung analysierbar und korrigierbar. Aber die Körperbewegung ist komplex, immer sind andere Körperteile involviert, bei der Mauerarbeit etwa ist die Beanspruchung von Händen, Armen, Oberkörper ganz entscheidend abhängig von der Stellung der Füße, die Gilbreth in ein Diagramm seines Mauergerüsts einzeichnet.<sup>48</sup> (Abb. 13) Schon hier, auf der

<sup>48</sup> Gilbreth: *Motion Study* (Anm. 33), S. 30 f.

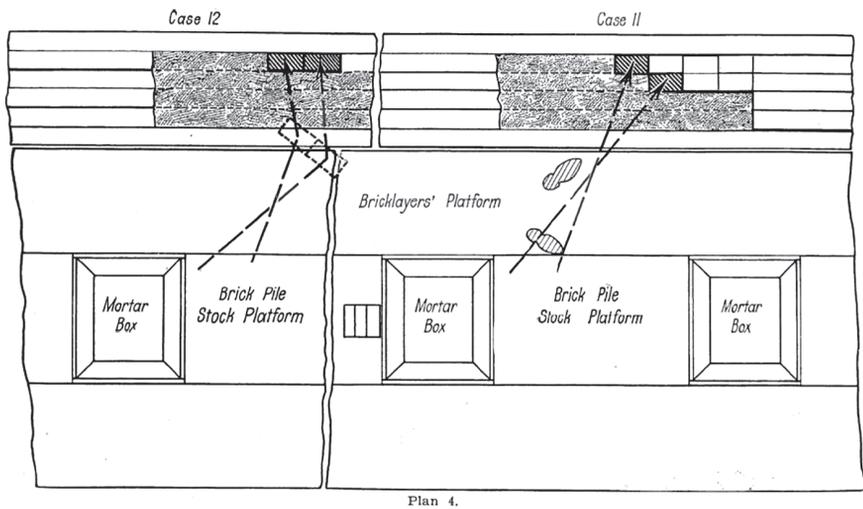


Abb. 13: Fußstellungen beim Mauern, Bewegungsdiagramm von Gilbreth

Baustelle, geht es um einen Mehrwert des guten Zusammenwirkens der Bewegungen, wofür freilich weder im Bauwesen, noch im *Scientific Management* ein passender Begriff vorhanden ist.

Zu einer systematischen Untersuchung dieses Zusammenwirkens kommt es jedoch erst, als Frank Gilbreth durch seine umfangreichen Arbeiten für deutsche Firmen in den Jahren 1914–1915<sup>49</sup> mit Kriegsverletzten in Kontakt kam und sich ihm das Problem ihrer Wiedereingliederung in den Arbeitsprozess stellte.<sup>50</sup> Für die Arbeit mit den Kriegsversehrten wurde von Gilbreth ein System der elementaren Körperbewegungen ausgearbeitet, das es erlaubt, die Bewegungen der Glieder im Verhältnis zueinander im Zeitverlauf zu studieren. Auf die Berührungspunkte oder Überlappungen, die sich hier zwischen Bewegungsforschern unterschiedlicher Disziplinen, vor allem der Choreographie und der Architektur, ergeben, habe ich an anderer Stelle hingewiesen.<sup>51</sup>

49 I[rene] M[argarete] Witte: *Alles schon dagewesen. Wie alles anfing. Meine Begegnung mit Frank B. Gilbreth 1914 in Berlin*, in: *Fortschrittliche Betriebsführung* 21 (1972) 2, S. 67–70; Lancaster: *Making Time* (Anm. 38), S. 83, 163, 191.

50 Vgl. F[rank] B[unker]/L[illian Evelyn] M[oller] Gilbreth: *Motion Study for the Handicapped*, New York, NY: Macmillan Co. 1920.

51 Vgl. Joachim Krausse: „Das Zwinkern der Winkel. Vom Bewegungsraum zu den Phasenübergängen“, in: Tom Fecht/Dietmar Kamper (Hg.): *Umzug ins Offene. Vier Versuche über den Raum*, Wien/New York, NY: Springer 2000, S. 187–214, hier S. 190–192.



Teile bildet genau den Übergang von einer analytischen Untersuchung zu einer synthetischen Konstruktion, die vom Diagramm der *Simultanbewegungskarte* ihren Ausgang nehmen kann:

Auf der Darstellung ist in konkreter Form ersichtlich, welche Glieder oder Sinne des menschlichen Körpers die Arbeit verrichten, welche ungenügend beschäftigt sind oder welche zur Verrichtung eines Teiles oder der ganzen Arbeit zur Verfügung stehen. Die Karte setzt uns in den Stand, nicht nur auf einen Blick zu sehen, wie die Bewegungen gegenwärtig ausgeführt werden, sondern sie zeigt uns auch die Möglichkeit, diese Bewegungen auf andere Glieder des Körpers zu übertragen.<sup>53</sup>

Hier aber, nämlich bei der Aufgabe, „die notwendigsten Bewegungen sofort auf die noch vorhandenen Glieder des Körpers wirksam zu verteilen“,<sup>54</sup> gibt es keinen Grund, die Verteilung auf die Glieder nur innerhalb der Körpereinheit im Sinne einer leiblichen Integrität vorzusehen. Die Gehandikapten müssen diese Einheit ohnehin neu aufbauen. Für die Arbeitswissenschaftler in der Industrie, so sehen es die Gilbreths vor, müssen immer drei Gruppen von Variablen berücksichtigt werden, „und zwar die Variablen des Arbeiters, die der Umgebung, Ausrüstung und Werkzeuge und schließlich die der Bewegungen.“<sup>55</sup> Das heißt aber, dass Lösungen innerhalb dieses Interaktionsfeldes zu suchen sind – wie auf einer Baustelle.

### Synergetisch Bauen: Bewegungsökonomie und Octet Truss

Die Gilbreth'schen *Motion Studies* und insbesondere die *Therblig Studies* wurden von Fuller aufmerksam und detailliert studiert. Eine längere Passage in seinem Buch *Nine Chains to the Moon* widmet sich diesem System der Bewegungsökonomie, das er in der Industrie angewandt vorfand.<sup>56</sup> Er spricht von den „therblig studies der Link Belt Company“, ohne Gilbreth namentlich zu erwähnen. Das ist auch gar nicht nötig, weil THERBLIG ein Anagramm von GILBRETH ist, ein Ergebnis von dessen Experimenten mit Schreiben und Schrift,<sup>57</sup> auch dem Lichtschreiben auf Film, und nicht zuletzt der Erfahrung, dass beim Vor- und Zurückspulen der Filmstreifen Bewegungen – anders als in Wirklichkeit – auch rückwärts laufen können.

Die *Therblig Studies* sind Fuller so vertraut, vielleicht sogar ein Modell, weil er im bekanntesten Kapitel seines Buches *Nine Chains to the Moon*, „The Phantom Captain“, eine literarische Form entwickelt, den Menschen in seiner Körperlich-

---

vorgang, 12. Loslassen, 13. Zurückführen (leer), 14. Warten (unvermeidbare Verzögerung), 15. Warten (vermeidbare Verzögerung), 16. Ruhephase (zur Überwältigung der Ermüdung).“ In: Gilbreth/Gilbreth: *Angewandte Bewegungsstudien* (Anm. 46), S. 85.

53 Ebd., S. 86.

54 Ebd.

55 Ebd., S. 84.

56 Fuller: *Nine Chains to the Moon* (Anm. 10), S. 91–94.

57 Bernd Stiegler: „Normalisierung, als Lebenskunst“, Nachwort zu: Gilbreth/Gilbreth: *Die Magie des Bewegungsstudiums* (Anm. 41), S. 245–270, hier S. 268–270.

keit verfremdend als technisches Aggregat darzustellen.<sup>58</sup> Er geht dabei analog dem Gilbreth'schen Verfahren der *Therblig Studies* vor und beschreibt es so:

Ein *therblig* ist der kleinste gemeinsame Nenner mechanischer Bewegung des Menschen. [...] Eine mechanische Untersuchung der menschlichen Struktur wurde gemacht (so ähnlich wie in unserer *phantom captain*-Analyse). So viele „Kräne“ usw. wurden katalogisiert und zusammen mit den begrenzenden Schwüngen und der Balance der Kräne festgelegt, um zu prüfen, zu drehen und ihre Arbeit auszurichten auf externe Maschinen, die das Formen, Polieren usw. übernehmen. Die Untersuchungen mit der Zeitlupenkamera zeigten, ob die gesamte verfügbare Energie effizient eingesetzt wurde, oder ob der fragliche „Kran“ einen ineffizienten Bogen beschrieb und möglicherweise unnötig verkompliziert wurde durch unnötige Muskelkontraktionen und -expansionen.

Auf diese Weise war es möglich, herauszufinden, was die einfachste *Bewegung* des Krans wäre und wie viel Energie sie erfordern würde.<sup>59</sup>

Den Beschreibungsmodus des *Homme Machine*, den Fuller im „Phantom Captain“-Kapitel virtuos durchführt, behält er hier bei. Wenn er von den Armen als Kränen spricht, wird er gleichzeitig den Wandlungen gerecht, die Gilbreth' Baustelle der Maurer und Betonmischer zur Baustelle der Bewegungsökonomie im kinematographischen Laboratorium durchmacht.

Die Betrachtung der Baustelle als Strukturwandler wäre jedoch wesentlich unvollständig, ohne einen näheren Blick auf eben jenes zentrale Werkzeug zu werfen, ohne das modernes Bauen generell und Bauen in der Höhe seit alters her undenkbar wäre, das eine Werkzeug, das Fuller anstelle des menschlichen Armes setzt: den Kran. (Abb. 15) Sein Ausleger, der ja auch als ‚Arm‘ bezeichnet wird, mit dessen Hilfe auch die schwersten Lasten in Position gebracht werden, macht selbst signifikante Strukturveränderungen durch, deren vorläufig letzte (seit den 1970er Jahren des 20. Jahrhunderts) die Umwandlung von einem kastenförmigen Gitterträger zu einem Raumbauwerk ist. Wirft man im Angesicht irgendeines Krans auf den Baustellen der Welt den Blick nach oben, wo der Kranarm sich gegen den Himmel abhebt, so sieht man den Verband eines Stabwerks, das keinen rechten Winkel bildet, sondern Winkel von 60 Grad, die das gleichseitige Dreieck bestimmen. Der Querschnitt des Arms ist ein Dreieck, und bei genauerem Hinsehen wird man gewahr, dass die Dreiecke Raumbauzellen bilden und abwechselnd Tetraeder (Vierflächner) und Pyramiden aneinandergefügt sind. Das Tetraeder gehört zu den fünf regelmäßigen Körpern, die Platon im *Timaios* beschreibt, weswegen diese fünf – Tetraeder, Oktaeder, Cubus, Ikosaeder und Dodekaeder – platonische Körper genannt werden.<sup>60</sup> (Abb. 16 a–b)

58 R[ichard] Buckminster Fuller: „The Phantom Captain“, in: ders.: *Nine Chains to the Moon* (Anm. 10), S. 18–29, dt.: „Der Geisterkapitän (1938)“, aus dem Amerikan. von Claude Lichtenstein, in: Krausse/Lichtenstein: *Your Private Sky, Diskurs* (Anm. 4), S. 114–120.

59 Fuller: *Nine Chains to the Moon* (Anm. 10), S. 91 „The therblig unit [...] is something like Einstein's  $c^2$ , i.e., TOP efficient speed.“ Ebd., S. 93.

60 Vgl. Platon: „Timaios“ (zw. 360 u. 350 v. Chr.), 53 c–55 c, in: ders.: *Sämtliche Werke*, Bd. 5, hg. von Walter F. Otto, Ernesto Grassi, Gert Plamböck, übers. von Hieronymus Müller und Friedrich Schleiermacher, Reinbek bei Hamburg: Rowohlt 1959, S. 141–213, hier S. 175–178.



Abb. 15: Baustelle heute: Kran mit Standardkranausleger

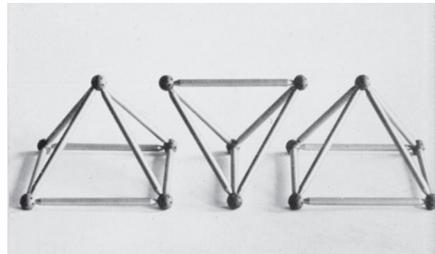
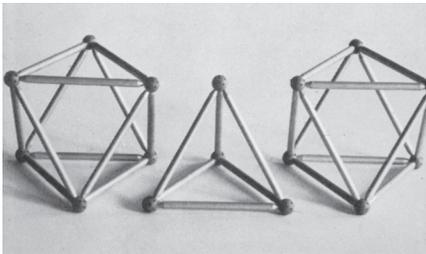


Abb. 16 a–b: Oktaeder-Tetraeder-Verband

Die Pyramide ist nur die Hälfte eines Oktaeders, weswegen ihre quadratische Grundfläche im Kranarm eine diagonale Strebe zur Aussteifung braucht, um eine vollständig triangulierte Struktur zu bilden. Der Kranarm ist eine lineare Variante eines Raumtragwerks, in dem alternierende Oktaeder und Tetraeder einen raumfüllenden Verband ergeben, dem Fuller den Namen *Octet Truss* gegeben hat. Diese Struktur hat er sich patentieren lassen und bezeichnet sie in der Patentschrift als *Synergetic Building Construction*.<sup>61</sup> Fuller hat verschiedentlich seine Patentschriften über die Erläuterung der Konstruktion hinaus mit den Theoremen verbunden, die der Erfindung zugrunde liegen. So schreibt er hier:

<sup>61</sup> U.S. Patent 2.986.241, vorgelegt am 7. Februar 1956, patentiert am 30. Mai 1961; abgedruckt in: R[ichard] Buckminster Fuller: „Octet Truss (1961)“, in: ders.: *Inventions. The Patented Works of R. Buckminster Fuller*, New York, NY: St. Martin's Press 1983, S. 167–177, hier S. 167.

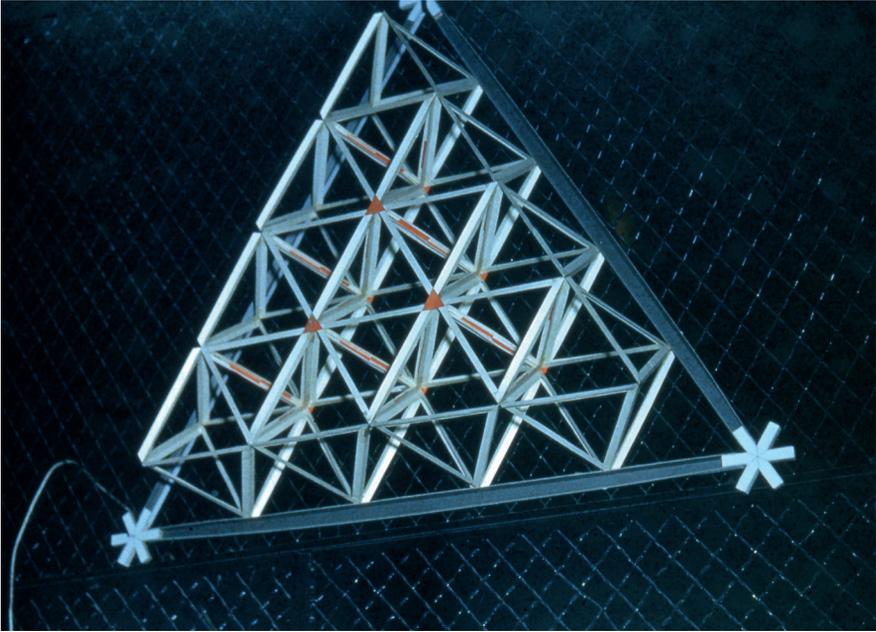


Abb. 17: Fuller: Octet Truss (Modell)

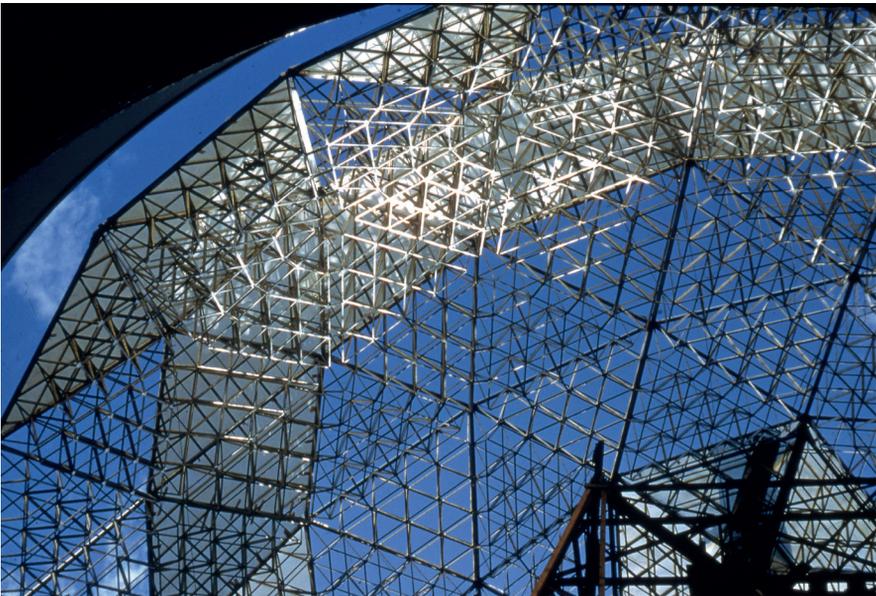


Abb. 18: Octet Truss (Teil des Geodesic Dome Dearborn der Ford Rotunda, 1953)

Ich habe festgestellt, dass in einem Fachwerk, das aus Streben gleicher Länge so aufgebaut ist, dass die Elemente ein gemeinsames Oktaeder-Tetraeder-System bilden, die Festigkeit des Fachwerks weit größer ist, als es die üblichen Formeln ermitteln, die sich auf Kraftschluß und Materialfestigkeit gründen. Tatsächlich haben meine praktischen Tests gezeigt, dass die reale Festigkeit dieser ‚flachen‘ Oktaeder-Tetraeder-Strukturen, die ein System bilden, dermaßen die kalkulierten Werte übersteigt, dass man von der Hypothese auszugehen hat, solche Strukturen seien ‚synergetisch‘ in dem Sinne, dass wir ein Spannungsverhalten im System haben, das nicht von dem seiner Teile vorherbestimmt ist.<sup>62</sup>

Das ist die klassische Formulierung eines Synergismus oder eines synergetischen Effekts, der durch eine besondere Art des Zusammenwirkens von Teilen eines Systems zustande kommt und damit die Systemeigenschaften entscheidend bestimmt oder das System überhaupt konstituiert. (Abb. 17, 18)

### Synergiebegriff und Strukturlehre der Chemie

Gänzlich unbekannt war der Begriff *Synergie* nicht, als Fuller ihn adoptierte, aber doch von so speziellem Gebrauch in Physiologie und Theologie, dass von einem Vertrautsein mit diesem Konzept keine Rede sein konnte. Es ist nicht zuletzt Fullers Verdienst, *Synergie* einem breiteren Publikum bekannt gemacht zu haben, nicht ohne den Begriff mit seinem eigenen *systems approach* zu unterfüttern und ihn vor allem greifbar und begreifbar zu machen. Seine Propagierung des Synergiekonzepts durch die Jahrzehnte hindurch beginnen häufig mit den Worten „Es gibt ein Wort, das ich gern in unser Denken einführen würde, und das ist *Synergie*“,<sup>63</sup> um dann auf die Wortähnlichkeit von Synergie und Energie einzugehen:

Nun ist das Wort Synergie so alt wie das Wort Energie. Unter Energie verstehen wir die ausdifferenzierten lokalen Verhaltensweisen des umfassenden Universums oder der Natur, zum Beispiel als Gravitation oder als Optik. Mit Synergie meinen wir die integrierten Verhaltensweisen der Natur. Synergie bezeichnet dann das Verhalten ganzer Systeme, das nicht vom Verhalten seiner Kompetenzen oder Subsysteme vorherbestimmt wird.<sup>64</sup>

In Fullers Schriften lässt sich der Gebrauch des Begriffs bis Januar 1949 zurückverfolgen, so dass wir davon ausgehen können, dass die begrifflichen Erweiterungen des Diskurses – *synergy*, *geodesic structures*, *octet truss*, *tension integrity* – genau in die

<sup>62</sup> Ebd., S. 167 f.

<sup>63</sup> R[ichard] Buckminster Fuller: „The R.I.B.A. Discourse 1958. Experimental Probing of Architectural Initiative“, in: *R.I.B.A. Journal* (1958) October, S. 415–424; Nachdruck in: ders: *Ideas and Integrities* (Anm. 13), S. 35–66, hier S. 64.

<sup>64</sup> Ebd.

Zeit fallen, in der die geometrische Grundlagen der noch zu entwickelnden Konstruktionen gelegt werden, nämlich 1946–1948, eine Phase zurückgezogener Forschung, die in die Phase des Laboratoriums der Synergetics übergeht.<sup>65</sup> Wie um sich selbst und seinem Publikum zu versichern, dass es sich um einen real existierenden Begriff handelt, zitiert Fuller bei einer frühen Erwähnung des Synergiebegriffs noch das, was er beim Nachschlagen im *Webster's Dictionary* gefunden hat: „Cooperative action of discrete agencies such that the total effect is greater than the sum of two or more effects taken independently.“<sup>66</sup> Und dieses Prinzip sei manifest sowohl in der organischen als auch in der anorganischen Welt, es sei auch das Wesen des industriellen Prinzips.<sup>67</sup>

Dieser überraschenden Aussage lässt Fuller ein prominentes, in den folgenden Jahren immer wieder aufgeführtes Beispiel aus der Metallurgie folgen. Bevor wir darauf eingehen, sei noch dasjenige angeführt, was Fuller aus der Information des *Webster's* weglässt: das Zusammenwirken von Muskeln, von Nerven, von Organen eines Systems, von Drogen; das widerstandslose Aufnehmen von Energie und schließlich die theologische Lehre, wonach die Regeneration aus einer Kooperation von göttlicher Gnade und menschlicher Tätigkeit hervorgeht. Diese Beispiele und die damit verbundenen Aspekte von Synergie bieten Anhaltspunkte für eine Theorie des Zusammenwirkens. Was aber Fuller offensichtlich fehlte, war ein schlagendes Beispiel für eine Synergetik, die auf Technologien anwendbar und relevant für ein *structural design* war.

Auf das oben erwähnte Beispiel war Fuller im Laufe seiner intensiven Beschäftigung mit Metallen, ihren Druck- und Zugeigenschaften, gestoßen: die Metalllegierung Chrom-Nickel-Stahl.<sup>68</sup> In den Vorträgen und Schriften der 1950er und 1960er Jahre finden wir dieses buchstäblich harte Beispiel immer wieder aufgeführt, es hatte schließlich den Vorteil, den *Synergism*, also den synergetischen Effekt, in Zahlenverhältnissen ausdrücken zu können. In einem Vortrag am Royal Institute of British Architects (RIBA) gibt Fuller einen Umriss seiner aus Synergie aufgebauten Designstrategie und geht ausführlicher auf Chrom-Nickel-Stahl ein, nicht ohne zu bemerken, dass Chemiker mit dem Synergiebegriff vertraut seien:

Synergie ist das Wesen der großen Veränderungen des Menschen in Beziehung zu seiner gegebenen Umwelt. Das Wesen der Entwicklung des Düsenflugzeugs ist Chrom-Nickel-Stahl, womit die enorm konzentrierten Energien in Hitze umgewan-

65 Vgl. die beiden Kapitel „Fuller Research“ und „Architecture out of the Laboratory“ in: Krausse/Lichtenstein: *Your Private Sky, Design Science* (Anm. 2), S. 276–313, 314–343. Datierungen der Vorträge und öffentlichen Präsentationen nach dem seit 1932 fortgeschriebenen internen *Dynamaxion Index. Bibliography and Published terms Regarding Dymaxion and Richard Buckminster Fuller. 1927–1953*, New York, NY: Fuller Research Foundation 1953, vervielfältigtes Manuskript, Archiv des Autors.

66 Das Zitat aus Webster's Dictionary unverändert in der Ausgabe 1951 (Anm. 14).

67 R[ichard] Buckminster Fuller: „The Comprehensive Designer“ (1949), in: Krausse/Lichtenstein: *Your Private Sky. Discourse* (Anm. 4), S. 243, Kommentar d. Hg. S. 242, dt.: S. 259, 257.

68 Vgl. R[ichard] Buckminster Fuller: „Enter Alloy: Exit Rust“ (Kapitel 23) in: ders.: *Nine Chains to the Moon* (Anm. 10), S. 189–200.

delt werden können, welche die früheren Maschinen zerstört hätte. Trotz der enormen Hitze verhindert die Stärke von Chrom-Nickel-Stahl die Zerstörung der Struktur des Düsentriebwerks, das seinen ganzen Schub auf das Flugzeug übersetzen kann. Und Chrom-Nickel-Stahl ist sehr typisch für Synergie. Die wichtigsten Bestandteile von Chrom-Nickel-Stahl, die Elemente Eisen, Nickel und Chrom und ihre jeweilige Zugfestigkeit pro Querschnittsflächeneinheit (p.s.i.) bilden das Ausgangskriterium relativer Zugfestigkeit. Nimmt man sie einzeln, so haben Chrom, Nickel und Eisen ca. 70.000, 80.000 und 60.000 p.s.i. Zugstärke. Assoziiert ergibt Chrom-Nickel-Stahl ein Muster, eine Konstellation naturbedingter Verhaltensweisen in einem Abguß, mit dem man oft 300.000 p.s.i. Zugfestigkeit erreicht. Das ist dann fünfmal stärker als sein schwächstes Glied, für sich genommen und viermal stärker als sein stärkstes. Ist das nun ein mystisches Verhalten oder kann man damit rechnen? Wir entdecken natürlich, dass man ganz logisch damit rechnen kann. Aus den organischen Forschungen des 19. Jahrhunderts wissen wir, dass alle organischen Strukturen der Konfiguration des Tetraeders folgen. Seit 1933 ist uns bekannt, dass auch alle unsere anorganischen Strukturen tetraedrisch konfiguriert sind.<sup>69</sup>

Mit seiner rhetorischen Frage, ob der Zuwachs an Zugfestigkeit in den Legierungen auf ein mystisches Verhalten zurückgeführt werden müsse, oder aber mit ihm gerechnet werden könne, wird deutlich, dass Fuller eine rationale Erklärung synergetischen Verhaltens mit den Mitteln der Geometrie verfolgte, einer Geometrie, die die unsichtbaren Bindekräfte der Strukturen auf atomarer und molekularer Ebene, nicht nur von Metallverbindungen, identifizierbar und modellierbar macht. Wenn er dementsprechend den Architekturstudenten den Rat gab, sich mit Chemie zu befassen, denn Chemie sei ganz „grundlegend Struktur, ergo Architektur“,<sup>70</sup> so resümiert er seine eigenen Erfahrungen mit einer Wissenschaft, die der Strukturforschung einschließlich der geometrischen Modellbildung entscheidende Durchbrüche im Verständnis des Aufbaus der Elemente sowie der Theorie der chemischen Verbindung verdankt. Es ist also nicht die Wissenschaft der Stoffe und Substanzen, die Fuller primär interessiert, sondern die der Strukturen und der strukturbildenden Prozesse. Er geht dabei so weit, seine Geometrie der tetraedrischen Koordinierung auf die Modellierung der chemischen Bindung anzuwenden, um ihre vier prinzipiellen Möglichkeiten – der Ein-, Zwei-, Drei- und Vierfachbindung – durch vier unterschiedliche Tetraederkopplungen zu demonstrieren.<sup>71</sup> (Abb. 19)

In seiner Revision der strukturellen, physikalischen und Stereochemie versichert sich Fuller auch der Erkenntnisse eines bedeutenden Zeitgenossen, des Chemikers Linus Pauling (1901–1994), zu dem er persönlichen Kontakt hatte. Pauling war

69 Fuller: „Experimental Probing of Architectural Initiative“ (Anm. 63), S. 424; Nachdruck in: ders.: *Ideas and Integrity* (Anm. 13), S. 65 f.

70 „Particularly, I have urged them to learn what they can of chemistry, for I feel that chemistry is basic structure, ergo architecture.“ R[ichard] Buckminster Fuller: „The Comprehensive Man“ (1959), in: ders.: *Ideas and Integrity* (Anm. 13), S. 72–84, hier S. 75.

71 R[ichard] Buckminster Fuller: „Prevailing Conditions in the Arts“, in: ders.: *Utopia or Oblivion: The Prospects for Humanity*, New York, NY: The Overlook Press 1969, S. 97–133. Vgl. ders.: *Synergetics* (Anm. 1), 931.10–931.63, S. 517–519.

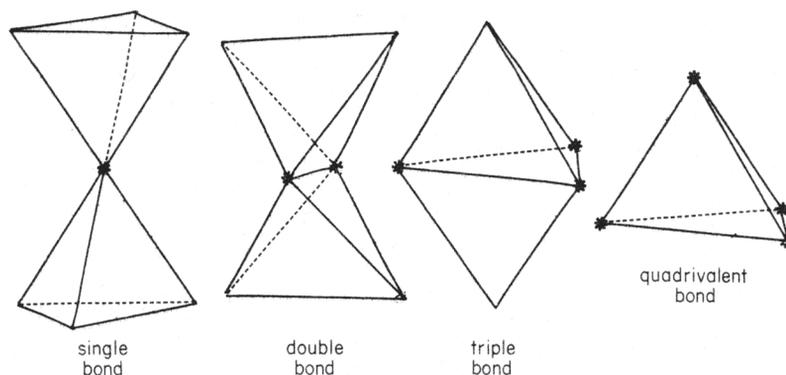


Abb. 19: Fuller: Tetraederverbindungen als Modell chemischer Bindung

mit seiner quantenmechanischen Interpretation der chemischen Bindung berühmt geworden.<sup>72</sup> Er hatte die chemische Strukturtheorie erneuert und in Einklang mit den Ergebnissen der Quantenphysik gebracht, womit er auch zur Auflösung der starren Grenzen zwischen Physik und Chemie beigetragen. Angesichts der empirischen Befunde, denen zufolge nicht jedem Molekül eine eindeutige Elektronenstruktur zugeschrieben werden kann, entwickelte Pauling im Anschluss an Heisenberg und Schrödinger eine Theorie, der zufolge „die verschiedenen möglichen Elektronenstrukturen miteinander in Resonanz stehen.“<sup>73</sup>

Die um diese Resonanztheorie erweiterte klassische Strukturlehre führt Pauling dann zu Untersuchungen über den Aufbau kettenförmiger Proteine, ein Gebiet der Molekularbiologie und Virologie, mit dem auch Fuller seit 1957 in Kontakt kam. Für diese richtungsweisenden Arbeiten erhielt Linus Pauling 1954 den Nobelpreis für Chemie. Pauling ist für Fuller auch ein verlässlicher Gewährsmann bei seinem Vorhaben, den Kubus und das rechtwinklige dreidimensionale Koordinatensystem durch das Tetraeder samt vierdimensionalem Achsensystem mit einem Winkelmodul von  $60^\circ$  abzulösen. Mit Pauling wird Fuller auf die Bedeutung der Vierzähligkeit in der Geschichte der organischen Chemie aufmerksam (Edward Frankland, Archibald Scott Couper, August Kekulé, Alexander Michailowitsch Butlerov), die auch die Geschichte der Valenztheorie und der chemischen Bindung ist.<sup>74</sup>

Der Vierwertigkeit des Kohlenstoffs gab dann 1874 der Kekulé-Schüler Jacobus Henricus van't Hoff (1852–1911), einer Vermutung Kekulé's folgend, eine räumli-

72 Linus Pauling/E[dgard] Bright Wilson, Jr.: *Introduction to Quantum Mechanics With Applications to Chemistry*, New York, NY: McGraw-Hill 1935; Reprint: New York, NY: Dover Publications 1985, insbes. S. 374–377, S. 364 f.

73 Linus Pauling: *General Chemistry* (1953), dt.: *Chemie. Eine Einführung*, übers. und bearb. von F[riedrich G.] Helfferich, Wernheim: Verlag Chemie <sup>2</sup>1967, S. 199.

74 Vgl. Pauling: *Chemie* (Anm. 73), S. 207 f. und Fuller: „Prevailing Conditions in the Arts“, in: ders.: *Utopia or Oblivion* (Anm. 71), S. 100 f.

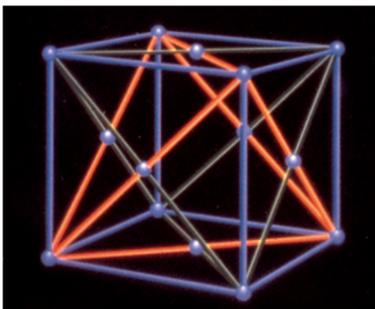


Abb. 20: Fuller: Kubus mit zwei eingeschriebenen enantiomorphen Tetraedern (Modell)

che Interpretation und identifizierte die vier Valenzen des Kohlenstoffatoms mit den vier Eckpunkten des regelmäßigen Tetraeders.<sup>75</sup> Fuller hebt hervor, dass gerade dieser, geometrisch-räumlichen Modellierung des Kohlenstoffatoms durch van't Hoff der größte Widerstand der Fachwelt entgegenschlug und man ihn der Täuschung bezichtigte.

Das machte ihn fassungslos, aber er machte weiter mit seinen Experimenten und setzte alles daran, einen optischen Nachweis für die tetraedrische Konfiguration des Kohlenstoffs – dieses Kombinationsmeisters der ganzen organischen Chemie – zu erbringen. Van't Hoff war der erste Chemiker überhaupt, der einen Nobelpreis erhielt. Von diesem Zeitpunkt an erkannte man in der Chemie, daß die organische Chemie tetraedrisch koordiniert ist.<sup>76</sup>

Bei van't Hoffs optischen Nachweisen handelte es sich um eine Reihe optisch aktiver Verbindungen, deren Moleküle als optische Isomere erkennbar waren: Als Stoffe gleicher Zusammensetzung bzw. gleicher Summenformel zeigten sie verschiedene physikalische und chemische Eigenschaften, so, als wären sie verschiedene Stoffe. Van't Hoff konnte mit dem Tetraedermodell diese Isomerie damit erklären, dass die Verbindungen durch zwei Tetraeder beschreibbar sind, von denen das eine das Spiegelbild des anderen ist. In solchen enantiomorphen (d. h. in sich entgegengesetzten) Strukturen gibt es eine Links- und Rechtsdrehung, wie wir sie an unseren Händen vorfinden, die zu keiner gegenseitigen Deckung fähige Spiegelbilder ergeben. Angesichts dieser Spiegelbildlichkeit spricht van't Hoff vom „asymmetrischen Kohlenstoffatom“, mit dem das Auftreten dieser Links- und Rechts-Formen auch eine geometrische Erklärung findet.<sup>77</sup> Die Spiegelbildlichkeit der zwei Tetraeder finden wir als eine fundamentale allgemeine Struktur auch in Fullers *Synergetics* wieder, und zwar in seiner, das Raumverständnis generell betreffenden Analyse des Kubus. (Abb. 20)

<sup>75</sup> J[acobus] H[enricus] van't Hoff: *La Chimie dans l'espace*, Rotterdam: P.M. Bazendijk 1875, dt.: *Die Lagerung der Atome im Raume* (1877), 2. überarb. u. erg. Aufl., Braunschweig: Friedrich Vieweg u. Sohn 1894, S. 2–7.

<sup>76</sup> Fuller: „Prevailing Conditions of the Arts“, in: ders.: *Utopia or Oblivion* (Anm. 71), S. 100 f.

<sup>77</sup> Van't Hoff: *Die Lagerung der Atome im Raume* (Anm. 75), S. 6–10. Vgl. Pauling: *Chemie* (Anm. 73), S. 208.

## Festigkeit aus dem Zusammenwirken: Performance

Die Auseinandersetzung mit dem Kubus und dem kubischen System steht am Anfang von Fullers Entwurfsarbeit, und sie ist nicht primär eine geometrische, sondern eine der Baukonstruktion. Diese Anfangsschritte sind gut dokumentiert. In den Skizzen und Texten von Januar bis März 1928 zeigt sich, dass die erste Idee für das neue Haus im Abheben des Gehäuses vom Erdboden mittels eines zentralen Mastes bestand.<sup>78</sup> Von diesem Mast her werden sowohl das Tragwerk als auch das Versorgungssystem und das Gehäuse selbst entwickelt. In der Mastkonstruktion vergleicht Fuller zunächst verschiedene Typen von Vertikalstrukturen von Türmen, Schiffsaufbauten, Leitungsmasten, von einem Baum, um in einem Auslegemast für Luftschiffe auf die Tetraederstruktur zu treffen.<sup>79</sup> Mit einem Dreifuß macht man sich unabhängig von den Unebenheiten des Geländers, so beim Stativ des Fotografen oder Geometers; die Leitungsmasten sind vierfüßig wegen einer vorherrschenden Richtung der Spannungen, während der Ankermast für Luftschiffe Spannungen aus allen Richtungen aufnehmen muss, ein erster Hinweis auf die Bedeutung, die Fuller dem *Omnidirectional*, dem Allseitigkeitsgebot, in *Synergetics* beimisst.<sup>80</sup> (Abb. 21 a–b)

Das Abheben des Gehäuses vom Grund befreite zunächst den Entwurf von der Bodenlogik, nämlich der des Aufsichtens von Massen, wie oben beschrieben, aber auch von der des üblicherweise vom Viereck geprägten Katasters der Grundstücke. Zwei miteinander konkurrierende Entwurfsansätze werden anfangs verfolgt: eine konventionelle Kragkonstruktion mit einem rechteckigen Gehäuse, vorteilhaft in einer Patentschrift festgehalten, und eine radikale Hängekonstruktion mit einer über die Gehäuseecken laufenden Kabelabspannung vom zentralen Tragmast. Auch hier wird zunächst ein kubisches Gehäuse geprüft, solange, bis sich bei der Unterteilung von Quadrat und Rechteck durch die Mittelachsen und die Diagonalen herausstellt, dass die ungleichen Radialen eine ungleiche Spannungsverteilung implizieren. Für die Kragkonstruktion mit den biegesteifen Kragarmverbindungen und soliden Massivdecken wäre das kein ausschlaggebender Hinderungsgrund gewesen, aber Fuller schlägt mit der Entscheidung für die Hängekonstruktion und gegen massive Decken eine ganz andere Richtung ein: die Geometrie soll ihm helfen, die im Gebäude wirksamen Kräfte so zu segregieren, dass sie von getrennten Druck- und Zuggliedern aufgenommen und abgeleitet werden können.

Angesichts der Bedeutung dieses Themas für das Bauen im Allgemeinen und für die Fullers ganzes Werk durchziehende Philosophie von Druck und Zug als kom-

78 Kapitel: „Lightful Houses/4D“ (1928), in: Krausse/Lichtenstein: *Your Private Sky, Design Science* (Anm. 2), S. 80–121, Kapitel „Dymaxion House“ (1929), in: ebd., S. 122–145.

79 Vgl. Joachim Krausse: „Thinking and Building. The Formation of R. Buckminster Fuller's Key Concepts in ‚Lightful Houses‘“, in: Hsiao-Yun Chu/Roberto Trujiller (Hg.): *New Views on R. Buckminster Fuller*, Stanford, CA: Stanford University Press 2009, S. 53–75.

80 R[ichard] Buckminster Fuller: „Omnidirectional Halo“ und „Introduction to Omnidirectional Halo“, in: ders.: *No More Secondhand God and Other Writings*, Carbondale, IL: Arcturus Books 1963, S. 130–163; S. 118–129.

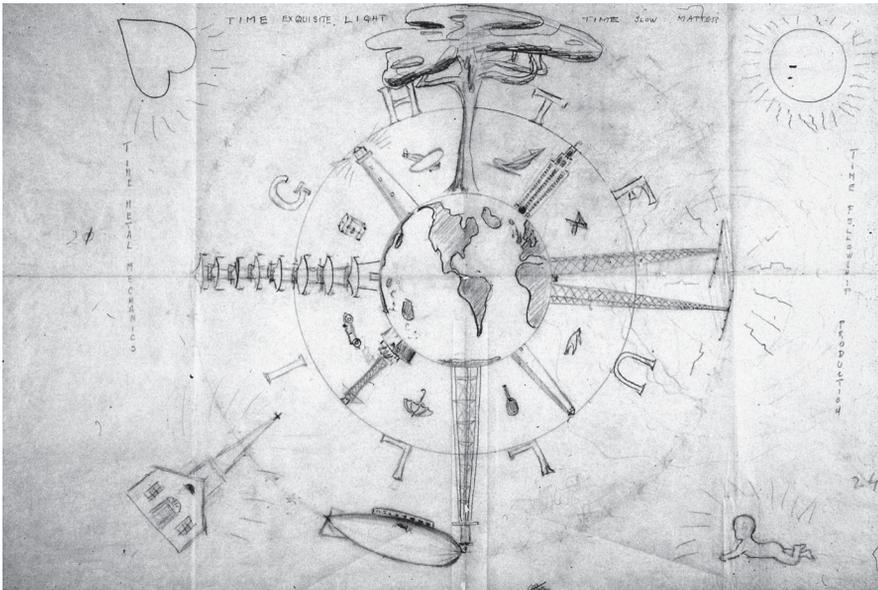


Abb. 21 a: Fuller: Lightful, Zeichnung Anfang 1928

plementäre Kräfte entgegengesetzten Charakters ist es hilfreich, sich die Auffassungen von Fachleuten der Zeit, in der das *Dymaxion House* entsteht, zu vergegenwärtigen. Die Arten der Festigkeit wurden, z. B. nach DIN 1350 vom November 1924, wie folgt definiert: Zugfestigkeit, Druckfestigkeit, Biegefestigkeit, Verdrehfestigkeit, Schubfestigkeit, Knickfestigkeit. In der Regel haben es die Architekten und Ingenieure mit einer zusammengesetzten Festigkeit aus mehreren dieser Arten zu tun; diese bezeichnet

[...] das gleichzeitige Auftreten verschiedener Widerstände gegen Bruch, z. B. von Zugfestigkeit in Verbindung mit Biegefestigkeit usw. [...] Doch fehlt noch eine exakte Theorie des Bruches; die Festigkeit von Werkstoffen ist allgemein abhängig außer von dem Spannungszustand auch von ihrer chemischen Zusammensetzung, ihrer Struktur, Temperatur usw. [...] Eine allgemeine, umfassende Theorie besteht zur Zeit noch nicht, Versuche über zusammengesetzte Festigkeiten liegen überhaupt erst seit 1900 vor. [...] In allen diesen Fällen hat die Berechnung der Festigkeit nach besonderen Methoden meist auf Grund hypothetischer Annahmen zu erfolgen.<sup>81</sup>

Mit dieser zusammengesetzten Festigkeit hätte es Fuller zu tun bekommen, wenn er sich für die Kragkonstruktion entschieden hätte. Mit seiner Entscheidung für die Hängekonstruktion ist er herausgefordert, die Struktur nach dem Komplen-

81 N.N.: „Festigkeit“, in: *Wasmuths Lexicon der Baukunst*, Bd. 2: *C-Gyp*, Berlin: Verlag Ernst Wasmuth 1930, S. 444.

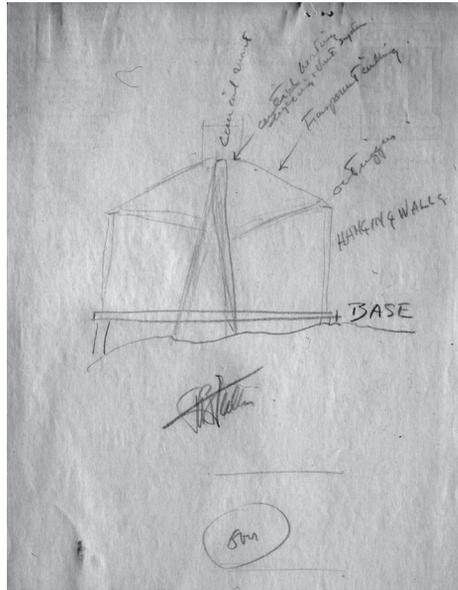


Abb. 21 b: Fuller: Haus an einem Mast,  
Skizze Anfang 1928

taritätsprinzip von Zug und Druck zu entwickeln. Vorbilder hierzu lieferten die Hängebrücken, von denen John A. Roeblings Meisterwerk, die Brooklyn Bridge (erbaut 1869–1883), Fuller in seinen New Yorker Jahren täglich vor Augen stand. Obwohl nur eine lineare Konstruktion, konnte man dort die Segregation der Zug- und Druck-Komponenten einschließlich ihrer verschiedenen Materialien (Stahlkabel versus Mauerwerk) und Dimensionierung studieren. Im Entwurf zum programmatischen Text, der diese ersten Entwurfsschritte eines Hauses am Mast begleitete, heißt es:

Strukturell besteht die Charakteristik von Metall, des neuen Werkzeugs, abweichend von allen anderen Werkzeugen anderer Epochen, in seiner Faser- oder Zugfestigkeit, die die Zugfestigkeit jedes anderen jemals hergestellten zugbeanspruchten Materials mit Abstand übertrifft. In der Druckfestigkeit übertrifft Metall den Stein nur unwesentlich. Die beste sogenannte Architektur kleiner Wohngebäude stellt heute nichts anderes dar, als eine Fortsetzung der Steinzeit, in der man Material auf Material stapelte und es mit Schlamm, Lehm und anderen zementierenden Materialien zusammenklebte: Strukturen, deren Stabilität von der Dicke der Mauer abhing.<sup>82</sup>

82 R[ichard] Buckminster Fuller: „Lightful Houses“ (1928), in: Krausse/Lichtenstein: *Your Private Sky, Diskurs* (Anm. 4), S. 69–81, S. 69

Aus diesen Beobachtungen formt sich die Arbeitshypothese, wonach Masse und Gewicht nicht länger synonym für Festigkeit stehen können.<sup>83</sup> Am Beispiel von Chrom-Nickel-Stahl hatte Fuller gezeigt, dass der Mehrwert an Festigkeit nur durch Interaktion der Komponenten zustande kommt, nicht aber durch Massivität oder Solidität. Da dieses synergetische Prinzip nicht auf die atomarmolekularen Größenordnungen in den Materialstrukturen beschränkt ist, kann die Baukonstruktion demselben Prinzip bei der Organisation der Baukomponenten folgen, so dass diese – ihrem komplementären Charakter entsprechend – in die Lage versetzt werden, optimal zu interagieren.

Ebendies hatte Fuller mit seinen großen Konstruktionen der 1950er und 1960er Jahre eindrucksvoll demonstriert: mit den *Geodesic Domes* für die Union Tank Car Company in Baton Rouge, Louisiana, und Wood River, Illinois, waren 1958 freitragende Netzkuppeln mit der größten Spannweite überhaupt (130 m Durchmesser, 40 m Höhe) errichtet worden.<sup>84</sup> Sein Meisterwerk, der EXPO Dome, US-Pavillon auf der Weltausstellung 1967 in Montreal, hatte als Dreiviertelsphäre mit einem Durchmesser von 76 m und einer Höhe von 61 m das größte von einer Kuppel jemals eingeschlossene Volumen. (Abb. 19 a–b) Mit diesen Rekorden und Leistungsnachweisen seiner Konstruktionen hatte Fuller sich nicht nur die Achtung der Ingenieure erworben, sondern sich auch in eine Reihe mit den bahnbrechenden und zeichensetzenden Pionieren des Ingenieursbaus (Paxton, Roebing, Eiffel etc.) gestellt.<sup>85</sup>

Mit derartigen Großbauten wurde immer auch der Leistungsaspekt (*performance*) in den Vordergrund gerückt. Dies konnte sich auf die schiere absolute Größe, aber auch auf Materialien, ihre Fertigung, die eigentliche Konstruktion im Verhältnis zum umbauten Raum oder auf Logistik und Bauzeit beziehen. Fuller hat nie einen Zweifel daran gelassen, dass für ihn das Leistungsgewicht (*performance per pound*) das entscheidende Kriterium des Konstruierens ist. Dies schloss die relative Festigkeit der Gesamtkonstruktion sowie ihrer Komponenten ein. Im Unterschied zu vielen seiner Vorgänger und zeitgenössischen Konkurrenten vertraute Fuller jedoch nicht auf starre Verbindungen und biegesteife Knoten, sondern suchte in seinem Laboratorium mit Hilfe der Geometrie diejenigen Konfigurationen, die eine selbststabilisierende Struktur zu entwickeln erlaubten. Demonstrati-

83 „[...] that weight and stontness are no longer synonymous“, Notat Fuller, Anfang 1928. Vgl. Joachim Krausse: „Architektur der Hochtechnologie. Buckminster Fullers Dymaxion Haus 1929“, in: Stefan Andriopoulos/Bernhard Dotzler (Hg.): 1929. *Beiträge zur Archäologie der Medien*, Frankfurt a. M.: Suhrkamp 2002, S. 192–223, hier S. 204.

84 Marks: *The Dymaxion World of Buckminster Fuller* (Anm. 3), S. 222 f. Vgl. Krausse/Lichtenstein: *You Private Sky, Design Science* (Anm. 2), S. 355, 384–389.

85 Shoji Sadao: *Buckminster Fuller and Isamu Noguchi. Best of friends*, Milano: 5 Continents Editions 2011, S. 177. Noch einmal übertroffen wurden die Spannweitenwerte durch eine geodätische Kuppel von 135 m Durchmesser, die Fullers Schüler Don Richter für die Behausung von Howard Hughes Riesenflugzeug *Spruce Goose* 1981 in Long Beach, CA baute. Vgl. Don[ald] L. Richter: „Working with Buckminster Fuller“, in: James Ward (Hg.): *The Artifacts of R. Buckminster Fuller. A Comprehensive Collection of His Designs and Drawings*, Bd. 4, *The Geodesic Revolution. Part 2 1960–1983*, New York, NY: Garland Publishing 1985, S. 381–394, hier S. 393 f.

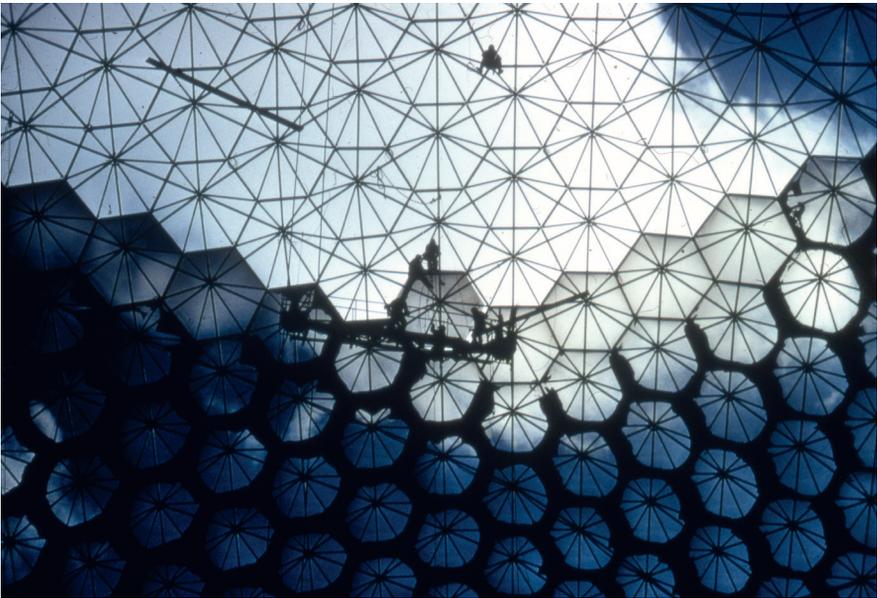


Abb. 22 a–b: Fuller: Expo-Dome, Montreal 1967

onen konstruktiver Leistung gehen bei Fuller stets auf die Grundlagenarbeit in seinem Laboratorium der Synergetics zurück.

Wir haben bisher zwei Aspekte von *performance* im Werk Fullers beleuchtet: den Aspekt der Durchführung einer (graphischen) Operation mit ihren Auswirkungen auf den Begriff von Geometrie sowie den Aspekt der strukturellen Leistung in Baukonstruktionen, die ein besonderes Auflösungsvermögen von Masse sowohl durch die Feinstruktur ihrer Materialien, als auch durch die Lage und Verbindung ihrer Komponenten zeigen. Beides ist durch Geometrie im Sinne von Synergetics erschließbar. Ein dritter Aspekt von *performance*, der zum Verständnis der beiden anderen wesentlich ist, muss hier hinzugefügt werden: die Demonstration der modellhaften Verkörperung. Sie ist es, die der künstlerischen Performance am nächsten kommt, obwohl sie hier der wissenschaftlichen Exploration und Kommunikation dient und ein unverzichtbarer Bestandteil der Laboratoriumsarbeit ist. Sie ist es auch, die es Fuller erlaubt, Geometrie so zu betreiben, „als sei sie tatsächlich ein Teil der Physik.“<sup>86</sup> Es handelt sich jedoch um eine, den Performer mit einschließende, anschauliche Physik. (Abb. 23)

Die Modelldemonstrationen, fester Bestandteil von Fullers Forschungen und Auftritten in der Öffentlichkeit seit 1929, trieben nicht nur den Konstruktionsgedanken voran, sondern trugen auch zur Begriffsbildung von Synergetics bei. Ich zitierte an dieser Stelle beispielhaft aus einem von Fullers Vorträgen:

Ich habe eine sehr grobe Halskette. Was an der Halskette einzigartig ist, das ist die Flexibilität, mit der sie sich an die Schulter anschmiegt... Sieht man näher hin, wie und warum sie so biegsam ist, bemerkt man, dass sich die Länge der Einzelstücke aus Holz hier nicht verändert, was sich ändert, das sind die Winkel. Die ganze Flexibilität ist Sache der Winkelveränderung und nicht linear... Mit anderen Worten: Ein Winkel ist ein Winkel und unabhängig von der Länge seiner Schenkel. So ist das Verhalten der Winkel. Ich nehme jetzt einige Glieder der Halskette heraus. Sie ist immer noch sehr flexibel, also nehmen wir noch eins heraus. Noch immer flexibel, also nehmen wir noch eins heraus, wir sind jetzt bei vier übriggebliebenen angelangt, und sie ist immer noch sehr flexibel. Das wollen wir über meine Schulter legen, mit einem Dreieck vorne und einem Dreieck hinten. Man nennt das ein Quadrat, aber wir sehen, dieses Quadrat ist völlig instabil. Als ich jung war, machte mich die Tatsache neugierig, dass das Quadrat keinerlei strukturelle Integrität von sich aus besitzt. Es verhielt sich nur deswegen so [als besäße sie diese], weil der Lehrer es auf eine Tafel fixiert hat, wo es sich nicht verändern konnte. Jetzt bin ich dabei, ein weiteres Stück herauszunehmen, und zum ersten Mal ist die Halskette nicht mehr flexibel.<sup>87</sup>

86 „Geometrie ist bedeutsam, weil sie, im Unterschied zu Arithmetik und Analysis, als Teil angewandter Mathematik aufgefasst werden kann, so als sei sie tatsächlich ein Teil der Physik.“ Bertrand Russel: *The Analysis of Matter*, London: Kegan Paul, Trench, Trubner 1927, S. 5.

87 Definition „Necklace“, Buckminster Fuller im Rahmen eines Seminars der Universität Massachusetts in Amherst, MA am 22. Juli 1971, in: E[dgar] J[arrratt] Applewhite: *Synergetics Dictionary Cards*, Karte Nr. 11312, verfügbar unter <http://www.rwgrayprojects.com/SynergeticsDictionary/SDCards.php?cn=11312&tp=2> (Stand Juni 2015).

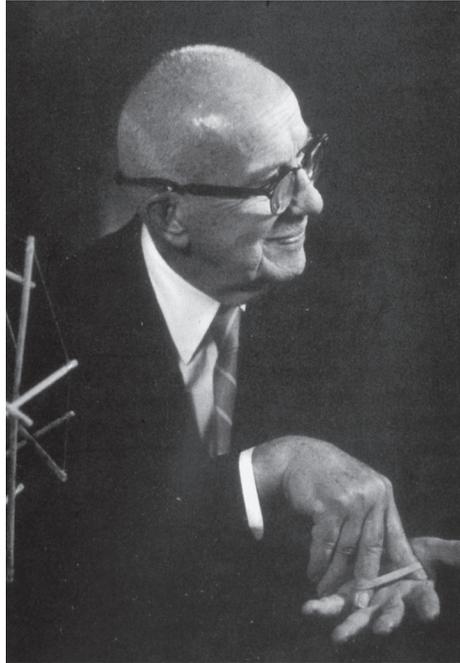


Abb. 23: Fuller mit Gummiband

Sobald seine Demonstration beim Dreieck angelangt war, rief Fuller, wie erzählt wird, triumphierend: „Es hält die Form!“ Mit der Versuchsanordnung der Halskette werden die Polygone einem Vergleichstest unterzogen, der ihre Struktureigenschaften zum Vorschein bringt. Wie nebenbei demonstriert er auch die Differenz zwischen einer Repräsentation geometrischer Figuren in einer Zeichnung – einschließlich einer irreführenden Suggestion von Festigkeit im Bild des Quadrats – und ihrer Verkörperung im Modell, die die grundsätzliche Instabilität des Quadrats erweist. Dasselbe Verfahren wird auf Polyeder angewendet, und hier zeigt sich, dass der Kubus, definiert durch quadratische Flächen, nicht von sich aus stabil ist, sondern sanft kollabiert, wenn die Kanten an den Eckpunkten flexibel verbunden sind.

Mit dem alles weitere entscheidenden Konzept der flexiblen Knotenverbindungen ist es Fuller möglich, die Eignung von Polygonen und Polyedern zur Stabilisierung zu untersuchen, was für ihn gleichbedeutend mit Struktur ist. So schreibt er in *Synergetics*: „Wir können sagen, dass Struktur ein selbststabilisierender Komplex einer Muster-Integrität ist. Nur das Dreieck bringt Struktur hervor und Struktur meint nur Dreieck und vice versa.“<sup>88</sup> Von den fünf regelmäßigen Polyedern, den

<sup>88</sup> „We may say that structure is a self-stabilizing pattern integrity complex. Only the triangle produces structure and structure means only triangle; and vice versa.“ Fuller: *Synergetics* (Anm. 1), 608.05, S. 318.

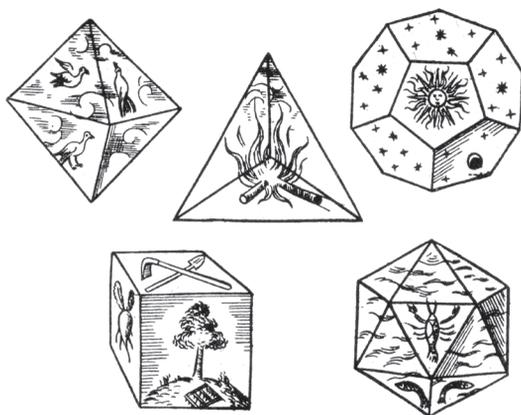


Abb. 24: Platonische Körper  
nach Kepler

Platonischen Körpern, (Abb. 24) sind nur drei von ihnen Strukturen in diesem Sinne: das Tetraeder, das Oktaeder und das Ikosaeder. Kubus und Dodekaeder hingegen sind es nicht, da sie nicht trianguliert sind, sondern aus Quadraten bzw. Fünfecken gebildet sind. Das Quadrat kann die Form erst dank der Diagonalen halten, die es in Dreiecke zerlegen. Die Diagonale sei, so hält Fuller in den Zeichnungen zu seinem Geometriepapier von 1944 fest, die *controlling dimension* des Quadrats.<sup>89</sup> Genau dies zeigen die gekreuzten Zugstangen, -bänder oder -kabel in den quadratischen Gefachen der Eisen- und Stahlkonstruktionen der letzten anderthalb Jahrhunderte. Ein Kubus erhält ebenso durch die Diagonalen in seinen quadratischen Flächen Stabilität. Zusammengenommen ergeben sie die Figur von zwei einander durchdringenden Tetraedern, die uns bereits aus den Strukturmodellen der chemischen Bindung bekannt sind. Das Strukturgeheimnis eines festen Kubus sind die beiden aus den Diagonalen gebildeten Tetraeder, die wir als ‚spiegelbildlich‘ kennengelernt haben. Diese Beschreibung ist aber unzureichend, weil sie sich nur auf eine Bildebene des Gezeigten bezieht. In der räumlichen Realität bedeutet dies jedoch, dass das eine Tetraeder links- und das andere Tetraeder rechtsorientiert ist. Unterstellt man diesen rechts- und linkssinnigen Konstellationen eine physikalische Existenz und damit eine energetische Dynamik – das genau ist es, was Fuller in *Synergetics* tut – so ist diese gegensinnige Orientierung (und ihre in der Natur vorfindliche leichte Asymmetrie) der Ausgangspunkt für die gegensinnigen Drehrichtungen, die diesen Strukturen zueigen sind. Das führt Buckminster Fuller zu einer Adaption der Begriffe „spin“ und „spinability“. Aus dem gegenseitigen Verdrehen von enantiomorphen Konstellationen ergeben sich in der Natur Strukturen von äußerster Festigkeit, wie im Falle von Diamant, der härtesten Kohlen-

<sup>89</sup> Übersichtstafel zur energetisch-synergetischen Symmetrie (1944) aus dem Manuskript „Dymaxion Comprehensive System“, in: Krausse/Lichtenstein: *Your Private Sky, Diskurs* (Anm. 4), S. 170 f.

stoffmodifikation, die als Kristall vollständig im Rahmen des kubischen Gitters bleibt.<sup>90</sup>

Wo dem Kubus jedoch die Diagonalen und damit die inhärenten Tetraeder fehlen, ist ein entsprechendes konstruktives System allein auf die Biegesteifigkeit der Eckverbindungen angewiesen. Dies ist in konventionellen Balken- und Stützenkonstruktionen der Fall. In solchen Systemen mit ihren ins Unendliche laufenden Parallelen der Stützglieder, die nicht ins System zurückkurven, könnten die Glieder „einander nicht helfen.“<sup>91</sup> Daher sind alle Konstruktionen, die aus der Laboratoriumsarbeit der Jahre 1946–1951 hervorgehen, vollständig trianguliert. Das Dreieck selbst, das nicht mehr ein Dreieck der euklidischen Geometrie ist, gewinnt in Fullers Beschreibung den Charakter eines Mechanismus, der selbstschließend (*self-locking*) ist. Mit der letzten Stufe in der Halsketten-Performance stellt er fest,

dass jede Seite des Halsketten-Dreiecks, bestehend aus festen Röhren, ihren gegenüberliegenden Winkel stabilisiert, und zwar mit einem Minimum an Aufwand: durch Kontrolle der Enden der zwei Hebel, die am gegenüberliegenden Angelpunkt durch ein Zugspannungselement der Dreiecks verbunden sind. So stellen wir fest, dass das Dreieck nicht nur der einzige selbststabilisierende Musterkomplex verschiedener Energien ist, sondern auch derjenige, der mit minimalem Aufwand die Musterstabilisierung ausführt, ein Verhalten, das mit der wissenschaftlichen Entdeckung des universellen Prinzips des geringsten Kraftaufwand in der Physik koinzidiert.<sup>92</sup>

In der Halsketten-Performance erscheint die Halskette (*necklace*) als ein Medium der strukturellen Deutung, die Fuller der Geometrie insgesamt gibt. Das sukzessive Herausnehmen der Halskettenglieder, die nichts zur Stabilisierung des Musterkomplexes beitragen, ist aber auch eine exemplarisch Operation für die Epistemologie, die Fuller mit Synergetics einführt. Er hat sie wie folgt zusammengefasst:

Denken ist eher eine Disziplin des Beiseitelegens als eine des Hineinlegens. Denken ist FM – Frequenzmodulation –, weil es im Ausschalten von Irrelevanzen besteht und ein Ergebnis definitiver Auflösung der exklusiv eingeschalteten oder akzeptierten Musterdifferenzierbarkeit von Rückkopplungsbotschaften ist. Und so wie der suchende Navigator seinen Kanal zwischen den vom Ausguck entdeckten Felsen ausfindig macht, so wählt der Intellekt seinen Weg zwischen den Irrelevanzen von Rückkopplungsbotschaften. Statisch und irrelevant ist dasselbe.<sup>93</sup>

90 Der Architekt Fritz Haller hat diesen Aspekt des kubischen Systems geometrisch untersucht. Fritz Haller: „Probleme des Fügens. Form – Bewegung – Kräftefluß. Forschungsarbeit am Building Institute der University of South California, Direktor Konrad Wachsmann. 1966–1970“, in: Theresse Beyerle (Hg.): *Fritz Haller – Bauen und Forschen. Dokumentation der Ausstellung*, Solothurn: Kunstverein Solothurn 1988, o. S. (Nr. 331).

91 Marks: *The Dymaxion World of Buckminster Fuller* (Anm. 3), S. 166.

92 Fuller: *Synergetics* (Anm. 1), 608.03, S. 317.

93 „Thinking is a putting-aside, rather than a putting-in discipline. Thinking is FM – frequency modulation – for it results in the tuning out of irrelevancies (static) as a result of definitive resolution of the exclusively tuned-in or accepted feedback messages’ pattern differentiability. And as the exploring navigator picks his channel between the look-out-detected rocks, the intellect picks its way between irrelevancies of feedback messages. Static and irrelevancies are the same.“ Fuller:

## Auf die Verbindung kommt es an

Das Erreichen von Stabilität und äußerster Festigkeit der Baukonstruktion ist zwar ein Merkmal synergetischer Konstruktionen (*octet truss, geodesic domes*),<sup>94</sup> in unserem Zusammenhang verdienen jedoch die Überlegungen, die zu solchen Resultaten führen, eine genauere Betrachtung. Sicher folgt Fuller in seinen Konzeptionen nicht den allgemeinen Vorstellungen von Verstärkung, im Gegenteil: anstatt zu verstärken, nimmt er die Stärke zunächst heraus, einmal als Masse, andermal als Rigidität. Die Starrheit wird zunächst gelockert, in dem die Verbindungen gelöst und beweglich gemacht werden. Die Struktur wird gelenkig.<sup>95</sup>

Für die *geodesic domes* wird eigens eine unstarre Knotenverbindung entwickelt, die Teil des Patents ist.<sup>96</sup> (Abb. 25) Sie ist eine Klemmvorrichtung und besteht im Prinzip aus zwei Scheiben mit rundumlaufenden Nuten, verbunden durch eine zentrale Schraube, zwischen die die Stabenden, ausgebildet als linsenförmige Zapfen, eingespannt werden. Zwischen die Scheiben, die Fuller glockenförmig entwirft, wird eine Sprungfeder eingesetzt. Sie erlaubt einen gleitenden Übergang zwischen Gelenkigkeit und Starrheit, die erst mit dem definitiven Kraftschluss der festen Verschraubung eintritt. Auf diese Weise sind weder die Anzahl der zusammenlaufenden Stäbe noch ihr Neigungswinkel zueinander oder der Winkel zum Radius der Sphäre festgelegt, so dass der Kuppeldurchmesser variabel bleibt. Diese

---

„Omnidirectional Halo“ (Anm. 80), S. 137; auch enthalten in Fuller: *Synergetics* (Anm. 1), 509.10, S. 237.

94 Zuletzt in vergleichender Analyse der fortschrittlichsten Konstruktionstypen von Kuppelbauten durch Don Richter, der von 1949 bis 1983 mit Fuller zusammengearbeitet hat und selbst eine Reihe von Patenten erhielt: Richter: „Working with Buckminster Fuller“ (Anm. 85), S. 382 f., 389.

95 „Historisch ist es der Eisenbau des 19. Jahrhunderts, der Gelenkverbindungen in die Baukonstruktion einführt. Dies verändert auch das ‚statische Gefühl‘. Eine völlig neue Grundlage für die Erziehung dieses statischen Gefühls schaffen beispielsweise die gerade durch die ‚statisch bestimmten Systeme‘ eingeführten, nur im Eisenbau möglichen Gelenkverbindungen. An Stellen, in denen der Steinbau breite, massige Ansätze bietet, zeigen sie ein Anschwellen von einem nur durch ein kleines Scharnier bezeichneten Punkt, beziehungsweise ein Abschwellen zu ihm hin. Der Träger berührt – wie Reuleaux einmal sagte – ‚den Boden gleichsam nur mit den Zehenspitzen‘.“ Alfred Gotthold Meyer: *Eisenbauten. Ihre Geschichte und Ästhetik*, nach dem Tode des Verfassers zu Ende geführt von Wilhelm von Tettau, Esslingen: Paul Neff 1907, S. 47 f.

96 Fuller: „Geodesic Dome“, U.S.: Patent 2.682.235, vorgelegt am 12. Dezember 1951, patentiert am 29. Juni 1954; abgedruckt in: Fuller: *Inventions* (Anm. 61) S. 127–144, hier S. 135 f. Das Prinzip der Knotenverbindung geht allerdings auf Walter Bauersfeld (1879–1959), den Erfinder des Zeiss-Planetariums, Chefkonstrukteur und Direktor von Carl Zeiss Jena, zurück. Das Patent Nr. 420823, eingereicht am 31.10.1925, „Knotenpunktverbindungen für eiserne Netzwerke“ wurde der Firma erteilt. Vgl. Joachim Krausse: „Das Wunder von Jena. Das Zeiss-Planetarium von Walter Bauersfeld“, in: *ARCH+* 116 (1993) März, S. 40–49, hier S. 45; ders.: „Architektur aus dem Geist der Projektion. Das Zeiss-Planetarium“, in: *Wissen in Bewegung. 80 Jahre Zeiss-Planetarium Jena*, hg. von Ernst-Abbe-Stiftung, Konzeption und Red. Hans-Christian von Hermann, Jena: Ernst-Abbe-Stiftung 2006, S. 57–84, hier S. 80 f. Ein detaillierter Konstruktionsvergleich von Fullers und Bauersfelds Knoten findet sich in: Mirko Baum: *Ulice na konci světa – o architektuře a jiných věcech / Straße am Ende der Welt – über Architektur und andere Dinge*, dt. und tschech., hg. Akademie Výtvarných Umění, Prag: Kant 2007, S. 63.

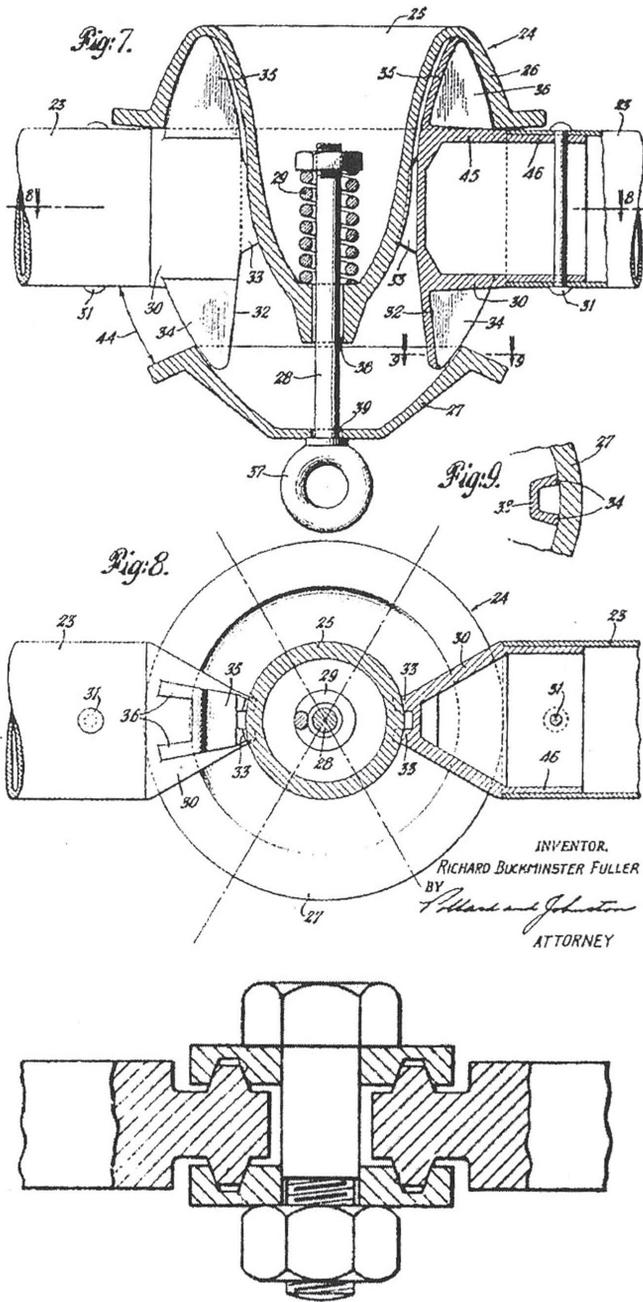


Abb. 25: Knotenverbindung für geodätische Kuppelkonstruktion, oben und Mitte: R. B. Fuller, unten: Walter Bauersfeld

partielle Undeterminiertheit in den Knotenverbindungen ist besonders wichtig für den Montageprozess, währenddessen sich die Stäbe zunächst in die richtige Lage bringen lassen müssen, bevor die Verbindungen geschlossen werden. „Eine der Charakteristiken des fertiggestellten Rahmenwerks ist es, virtuell selbstschließend zu sein. Einmal fachgerecht montiert wird es nicht entzwei gehen, abgesehen von der mehr oder weniger einheitlichen Expansion von all ihren Teilen.“<sup>97</sup> Alle Lasten, Druckeinwirkungen von außen (Wind und Schnee) oder Stöße (Erdbeben) werden von dem Netzwerk gleichmäßig verteilt, weswegen diese nicht zentralisierten Netze ‚distributiv‘ genannt werden. Sie verwandeln den lokalen Druck auf einzelne Teile in einen (Zug-)Spannungszustand der ganzen Struktur. Die Leistungsfähigkeit ist das Resultat dieses Zusammenwirkens.

Die Aussage, Synergetics wäre nicht möglich gewesen ohne eine Kritik der Grundlagen der Geometrie, trifft ebenso zu, wie der Satz, Synergetics wäre nicht möglich gewesen ohne eine Revision der Knotenverbindungen. Aus dem frühen, inneren Kampf Fullers um das Konstruktionsprinzip seines Hauses – Kragkonstruktion versus Hängekonstruktion – geht letztere als Sieger hervor, weil eine Mastkonstruktion am effizientesten durch eine mindestens dreiteilige und ein Tetraeder bildende, Abspannung stabilisiert wird.

Die Zuelemente, Seile, Kabel, Bänder, werden jedoch nicht starr verbunden, sondern durch Schlingen, Haken und Ösen usw. oder eben verknotet bzw. ver-täut. Fuller hat keinen Zweifel daran gelassen, dass seine Inspirationsquellen nicht Hausbau und Architektur, sondern Schiffsbau und Navigation waren.<sup>98</sup> Zeitlebens hat er diesbezüglich Wissensarchäologie betrieben, die sich beständig aus seinen Reisen, Freundschaften und Kontakten anreicherte, und deren Früchte fast über sein ganzes publizistisches Werk verstreut sind. Dem bedeutenden mentalen Unterschied zwischen einer Land- und einer Seeorientierung hat er den Essay „Fluid Geography“ gewidmet,<sup>99</sup> geschrieben 1944, jenem Jahr, in dem auch die erste Ab-handlung zur energetischen Geometrie entsteht. In beiden Schriften geht es um eine geometrische Konfiguration, der Fuller eine Schlüsselrolle sowohl für Synergetics als auch für das Design beimisst.

Zunächst verwendete Fuller diese Konfiguration – es handelte sich um keinen platonischen Körper, sondern um einen seit Archimedes bekannten halb regelmä-ßiger Polyeder aus sechs Quadraten und acht Dreiecken, d. h., um einen Vierzehn-

97 „One of the characteristics of the completed Framework is that it is virtually self-locking. Once properly assembled [...] it will not come apart except by more or less uniform expansion of all its parts.“ Fuller: „Geodesic Dome Patent“ (Anm. 96), S. 135 f.

98 R[ichard] Buckminster Fuller: „Influences on my work“, in: ders.: *Ideas and Integrities* (Anm. 13), S. 7–37; dt. Übers. in Krausse/Lichtenstein: *Your Private Sky, Diskurs* (Anm. 4), S. 50–66, Kommen-tar S. 48 f.

99 R[ichard] Buckminster Fuller: „Fluid Geography“ (1944), in: Krausse/Lichtenstein: *Your Private Sky, Discourse* (Anm. 4), S. 127–139. Ders.: „Flüssige Geographie“, in: Krausse/Lichtenstein: *Your Private Sky, Diskurs* (Anm. 4), S. 127–139. Dasselbe Thema, jedoch vom Standpunkt eines „Fest-landtheoretikers“ auf der anderen Seite der Front, behandelt Carl Schmitt: *Land und Meer. Eine weltgeschichtliche Betrachtung* (1942), Köln: Hohenheim Verlag Edition Maschke <sup>3</sup>1981. Die Texte verhalten sich zueinander wie Komplementäre.

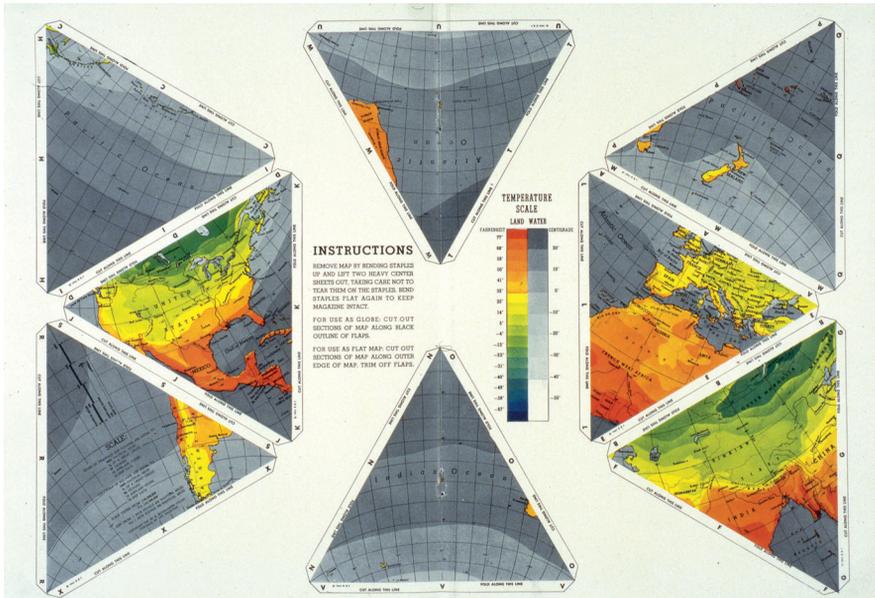


Abb. 26 a: Fuller: Dymaxion World Map, Ausschneidebögen, 1943

flächner bzw. Kuboktaeder – für den Entwurf einer Weltkarte, die *Dymaxion World Map* (1943).<sup>100</sup> (Abb. 26 a–b, 27) Diese ist so konzipiert, dass sie dreierlei Gestalt annehmen kann: erstens als ebene Karte, zweitens als aus der Karte gefalteter Globus, drittens als ein Legespiel, in dem die 14 ausgeschnittenen Flächen verschieden kombiniert, d. h. ‚ausgelegt‘ werden können. Die Layouts verhelfen zu unterschiedlichen Interpretationen, die man der Meisterung des Globalen abgewinnen kann.<sup>101</sup> Auch hier findet sich keine definitive, starre Lösung, sondern ein Baukasten für diverse globale ‚Gebäude‘. Die performative Dimension ist unverzichtbarer Bestandteil des Entwurfs, und sie verlangt ein wahlweises Verbinden und Trennen der Glieder. In seinem Entwurfsdenken ist Fuller der Wissenschaft zwar stärker verbunden als jeder andere Designer des 20. Jahrhunderts, aber in seinem erfinderischen Geist einem Dadaisten wie Hugo Ball näher, der im ersten dadaistischen Manifest den Sachverhalt so auf den Punkt gebracht hat: „Auf die Verbindung kommt es an, und dass sie vorher ein bisschen unterbrochen wird.“<sup>102</sup>

100 Vgl. das gleichnamige Kapitel in Krause/Lichtenstein: *Your Private Sky, Design Science* (Anm. 2), S. 250–275.

101 Joachim Krause: „Zum Bauen von Weltbildern. R. Buckminster Fullers Dymaxion Weltkarte“, in: Christian Reder (Hg.): *Kartographisches Denken*, Wien/New York, NY: Springer 2012, S. 56–78.

102 Hugo Ball: „Eröffnungsmanifest. 1. Dada-Abend Zürich, 14. Juli 1916“, in: Wolfgang Asholt/Walter Fähnders (Hg.): *Manifeste und Proklamationen der europäischen Avantgarde (1909–1938)*, Stuttgart: J. B. Metzler 1995, S. 121.

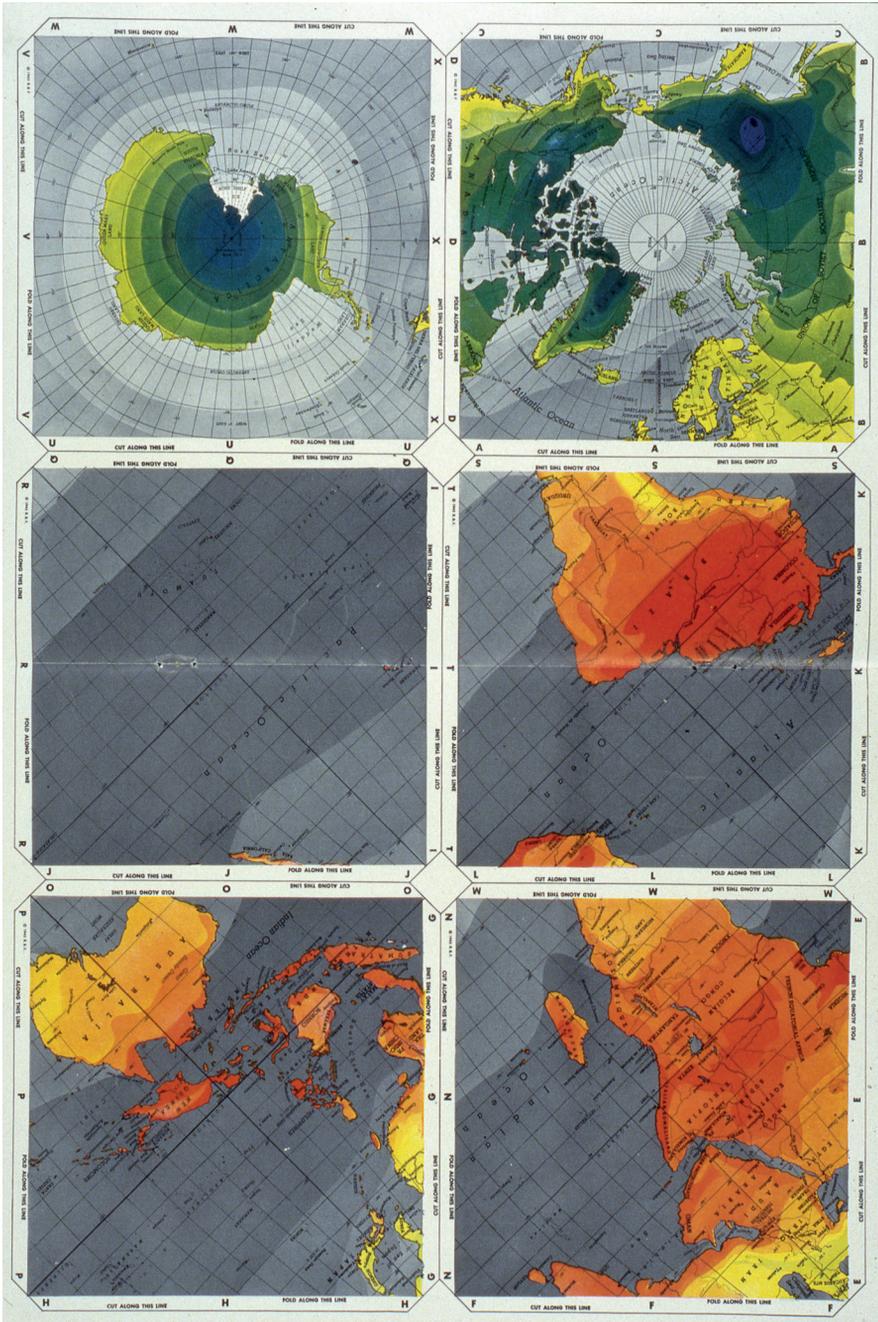


Abb. 26 b: Fuller: Dymaxion World Map, Ausschneidebögen, 1943

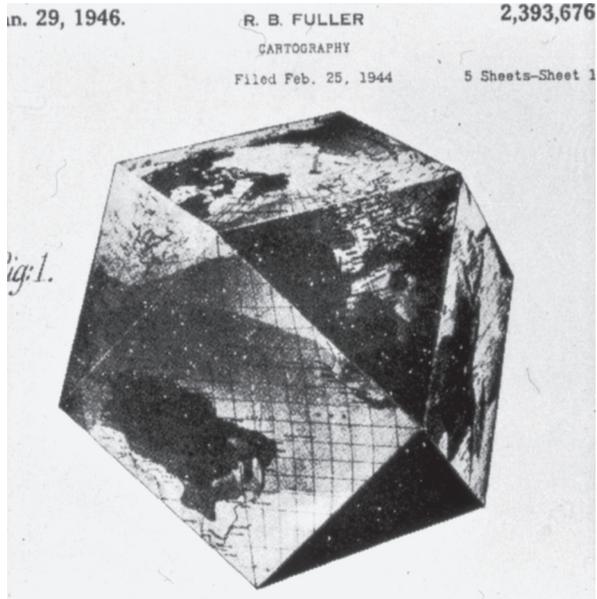


Abb. 27: Fuller:  
Dymaxion World Map  
zum Globus gefaltet,  
Patentschrift 1944/46

Das Register des Buches *Synergetics* am Ende des zweiten Bandes umfasst neunzig Seiten bzw. hundertachtzig Spalten. Fullers *collaborator* Edgar J. Applewhite recherchierte es mit großer Sorgfalt, so dass der Inhalt des Werks trotz seiner komplizierten Struktur mustergültig erschlossen ist.<sup>103</sup> Wer nun jedoch, wie anfänglich auch der Autor dieser Zeilen, hofft, einem Eintrag und eine dementsprechende Passage zu Fullers Begriff *flexible joints* zu finden, wird enttäuscht. *Flexible joints*, flexible Knotenverbindungen, ein ursprünglich aus der Kritik des vorherrschenden Hausbaus entwickelter Begriff, der die Theorie und Praxis des Fügens wie beschrieben auf eine ganz neue Grundlage stellen konnte, wird im Zusammenhang mit der Synergie nicht explizit genannt. Er ist jedoch nicht etwa fallengelassen worden, sondern als Voraussetzung von Fullers geometrischer Modellierung gewissermaßen allgegenwärtig und zentral, wie die *necklace* Performance zeigt, die selbstverständlich in *Synergetics* Platz gefunden hat.<sup>104</sup>

103 „Index“ (zu *Synergetics* Bd. 1 und 2) in: Fuller: *Synergetics 2* (Anm. 1), S. 503–592. Vgl. E[dgar] J[arrratt] Applewhite: „Explizit: A Note to the Reader“, in: ebd., S. xv–xvi, hier S. xv f. Applewhite verdanken wir darüber hinaus eine Veröffentlichung seiner Exzerpte aus Fullers Papieren, Vortragsmitschriften und Veröffentlichungen nach 1944, ein Faksimiledruck seines Zettelkastens nach Stichworten alphabetisch geordnet: R[ichard] Buckminster Fuller: *Synergetics Dictionary. The Mind of Buckminster Fuller*, hg. von E[dgar] J[arrratt] Applewhite, 4 Bde., New York, NY/ London: Garland 1986.

104 Fuller: „Instability of Polyhedra from Polygons of More Than Three Sides“, in: ders.: *Synergetics* (Anm. 1), 609.00, S. 319. Ders.: „Stability: Necklace“, in: ebd., 608.01–608.010, S. 317 f.

Weil durch die *flexible joints* aber nicht nur die Bauteile in Fullers Konstruktionen und geometrischen Modellen verbunden werden, sondern in unserem Untersuchungszusammenhang auch die empirische Praxis mit der Theoriebildung, erscheint es hilfreich, diese Spur der Laboratoriumsarbeit auch dort zu sichern, wo das Konzept in *Synergetics* nur implizit und nur dem Ergebnis nach enthalten ist.<sup>105</sup> Explizit macht Fuller sein Konzept der *flexible joints* als Entwurfsmaxime nach Vollendung seines *Dymaxion House* Modells – der Entwurf macht zwischen 1928 und 1932 signifikante Wandlungen durch – in der von ihm redigierten Zeitschrift *Shelter*. Seinem dort veröffentlichten Essay „Universal Architecture“ fügt er ganzseitige Bildtableaus bei, mit vorbildlichen Konstruktionen der Zeit: Hängebrücke, Artistengerüst, Leitungsmast, Schiffstakelage, Radiosendemast, Schiffs- und Flugzeugkonstruktionen. Die Bildlegende beginnt mit den für wichtig erachteten Designprinzipien, im Telegrammstil von Fuller so festgehalten: „Doing the most with the least – segregated compression and tension members, flexible joints, stabilized force triangles – net scientific structure in time annihilating transportation, communication, and power harnessing [...] Note large compression struts, flexible joints and tension diagonals of ephemeral weight.“<sup>106</sup>

Dass es diese Designdisziplinen sind, die Fuller im Auge behält, um sie weiter zu untersuchen, dokumentieren einige Passagen in dem schon öfter zitierten Buch *Nine Chains to the Moon* von 1938. Die Motive dieser frühen Publikation liefert noch immer einen Schlüssel zum Verständnis seines Gesamtwerks im Allgemeinen und von *Synergetics* im Besonderen. Da das Werk den Versuch unternimmt, das moderne wissenschaftliche Weltbild – vor allem die selbst Einstein verstörende, 1929 von Edwin Hubble (1889–1953) am Mount Wilson Observatory bestätigte neue Kosmologie eines expandierenden Universums – mit dem Alltagsdenken und -handeln seiner Zeitgenossen zu konfrontieren, konnte *Nine Chains to the Moon* nur eine literarische Form annehmen. Denn auf Satire und polemische Zuspitzung wollte Fuller nicht verzichten. Das Wohnhaus und der Hausbau ist das Medium, das zwischen Kosmos und Alltag der Individuen steht, und es soll als Verkörperung des Denkens wie auch der Gewohnheiten verstanden und als Medio-Kosmos in Einklang mit den Erkenntnissen gebracht werden, die die moderne Wissenschaft im größten wie im kleinsten Maßstab gefunden hat.

105 In *Synergetics* werden Fullers Aufzeichnungen und Textdokumente ab 1944 berücksichtigt, vor allem aber die späteren Ausführungen zur Geometrie in Vortragschriften und Manuskripten der 1960er und 70er Jahre. Zur Entstehung des Buches E[dgar] J[arratt] Applewhite: *Cosmic Fishing. An account of writing Synergetics with Buckminster Fuller*, New York, NY: Macmillan 1977, S. XIV f.; 21–22.

106 „Das Meiste machen mit dem Wenigsten – Segregierte Druck- und Zugglieder, flexible Verbindungen, stabilisierte Kräftedreiecke – rein wissenschaftliche Struktur in zeitsparendem Transport, rascher Kommunikation und Ausnutzung der Energie [...] Beachte die großen Kompressionsglieder, die flexiblen Knotenverbindungen und die Zugspannungsdiagonalen von ephemeren Gewicht.“ Übers. d. Autors. R[ichard] Buckminster Fuller: „Universal Architecture. Essay 3. Industrial Emancipation Conditions“, in: *Shelter* 2 (1932) 4, S. 30–36, hier S. 36; Auszüge als Faksimile-Nachdruck in Krausse/Lichtenstein: *Your Private Sky, Design Science* (Anm. 2), S. 165–167.

Fullers Baustelle ist der Ort, an dem der Neubau des Firmaments erprobt wird. Dieses Firmament jedoch kennt keine Fixsterne mehr. Selbst die Stütze – das lateinische *firmamentum* bedeutet ja ursprünglich Stütze – wird in eine Hängekonstruktion, eine *Tension Integrity*, verwandelt.<sup>107</sup> Aber so, wie sich im Bedeutungswandel von *firmamentum* eine Verschiebung vom eigentlichen Stützelement hin zum Stütz- und Angelpunkt vollzieht, was die Übertragung auf die argumentative Rede erlaubt, wo *firmamentum* dann den Stützpunkt einer Beweisführung meint, so wendet sich Fuller den Verbindungen, den Dreh- und Angelpunkten in den Konstruktionen zu, um damit eine Neuordnung im Verhältnis von Druck und Zug, von Lage und Dimensionierung der Konstruktionsglieder zu finden. Und nebenbei werden wir daran erinnert, dass alle *joints* und *bonds* und alle *connectors* und *nodes*, also alle Verbindungen, zugdominante Komplexe – Ereigniskomplexe würde Fuller sagen – sind, die ursprünglich aus Fasermaterial und Textilien bestehen, ehe sie in Holz und Metall transformiert werden, was mit der Einschränkung der Freiheitsgrade einhergeht.

Es ist das Charakteristische der Zugelemente und der Verbindungen im buchstäblichen Sinne, ephemere im Verhältnis zu den Druckgliedern zu sein. Das bedeutet einerseits, dass sie die Tendenz zur Entkörperlichung darstellen – ihre *slenderness ratio* und ihr Leistungsgewicht bringen sie in die Nähe der Unsichtbarkeit, wie Spinnennetzfäden demonstrieren. Es ist nur eine Frage des Abstands, und zwar räumlich wie zeitlich, ob sie überhaupt wahrgenommen werden. Darauf hat, gänzlich analog zu und unabhängig von Fuller, der britische Zoologe D'Arcy Went-

107 „Tension Integrity“ wird von Fuller zu „Tensegrity“ zusammengezogen und als Begriff für diese Klasse von Konstruktionen erstmals 1985 in das *Oxford English Dictionary* (Supplement, Bd. 4) aufgenommen. Das Prinzip erläutert Fuller in seiner Patentschrift: „Das Wesentliche meiner Erfindung besteht in der Entdeckung, wie man in einer Struktur fortschreitend den Aspekt der Kompression reduzieren kann, so dass die Struktur – und zwar in höherem Maße als bisher für möglich gehalten – überall den Aspekt kontinuierlicher Zugspannung erhält und ihr die Kompression derart unterworfen wird, daß die Kompressionselemente kleine Inseln in einem Meer von Zugspannung werden. Damit wird die Schlankheit, Leichtigkeit und Stärke von Hängebrückenkabeln in einen Bereich gebracht, der bisher durch das auf Kompression von Säulen oder Masten beruhende Konzept des Bauens dominiert war. Die Hängebrücke ist im Wesentlichen eine zugbeanspruchte Konstruktion durch den Gebrauch der Kabel, die zwischen den Türmen, den Kompressionselementen, aufgespannt der Kurve der Kettenlinie folgen. Meine Erfindung ähnelt dem Herausnehmen von etwas Kompression aus den druckbeanspruchten ‚Türmen‘, d. h. den Säulen, Mauern und Dächern von Gebäuden, oder sogar dem Herausnehmen von Kompression aus einer einzelnen Säule, einem einzelnen Mast durch die Kreation einer Struktur, die diskontinuierliche Kompression und kontinuierliche Zugspannung besitzt, und in der die Inseln der Kompression in dem Mast hinsichtlich Größe und Gewicht fortschreitend reduziert werden.“ Richard Buckminster Fuller: „Tensile Integrity Structures“, U.S. Patent 3.063.521, vorgelegt am 31. August, 1959, patentiert am 13. November 1962, in: Fuller: *Inventions* (Anm. 61), S. 180. Zum kosmologischen Bezug von Tensegrity ebd., S. 179. Vgl. „The Universe is a tensegrity.“ R[ichard] Buckminster Fuller: „World Design Initiative“, in: ders.: *Inventory of World Resources. Human Trends and Needs, World Science Decade 1965–1975. Phase I (1964), Document 2: The Design Initiative*, Carbondale, IL: Southern Illinois University 1963, S. 1–103, hier S. 29. Diese Vortragsschrift der *Mexico Lecture* am 10. Oktober 1963 dokumentiert am besten die Einheit, die Bauen und Denken im Werk Fullers bilden, und ist eine der wichtigsten Quellen für Synergetics.

worth Thompson (1860–1940), der Mathematik und Biologie erfolgreich zusammenführte, in seinem berühmten Buch *On Growth and Form* hingewiesen.<sup>108</sup>

Übereinstimmend mit Fullers Grundsätzen spricht Thompson von der Aufgabe des Ingenieurs, „soweit als möglich die Druck- von den Zugspannungslinien zu trennen, damit verschiedene Konstruktionsmethoden oder selbst verschiedenes Material für beide benützt werden können.“ Eine Hängebrücke, so Thompson weiter, funktioniere wie ein Tierskelett:

Sehr ähnlich verhält es sich bei jener wunderbaren Anordnung der Streben und Verbindungen, die das Tierskelett bilden oder vervollständigen. Das ‚Skelett‘ wie wir es in einem Museum betrachten können, gibt nur ein armseliges, ja irreführendes Bild der mechanischen Leistung. Im Blickfeld des Ingenieurs ist es eine Figur, die zwar alle Drucklinien, aber keineswegs alle Zuglinien der Konstruktion zeigt; es weist alle Streben, aber wenige der Verbindungen auf – man kann vielleicht sogar sagen: keine der wichtigsten; es zerfällt [... Man könnte es] zusammenklammern und unbeweglich machen. Im Leben ist jedoch dieses aus Streben bestehende Gefüge von einem komplizierten Verbindungssystem umgeben und durchflochten [...] Bänder und Häute, Muskeln und Sehnen verlaufen zwischen den einzelnen Knochen, und die Schönheit und Kraft der mechanischen Konstruktion liegen nicht im einen oder anderen Teil, sondern in der harmonischen Verkettung, die alle Teile, ob sie weich oder hart, starr oder beweglich, Träger von Zug oder Druck sind, zu einem Ganzen machen.<sup>109</sup>

Obwohl D’Arcy Thompson den Synergie-Begriff nirgendwo verwendet, dürften seine Auffassungen vom Organismus denen Fullers vom Bau sehr verwandt sein. Um 1948, als Fuller seine Geometrie noch nicht „synergetisch“ nannte, schwankte er übrigens zwischen „energetisch“ und „bio-energetisch“, denn das Attribut sollte für die unbelebte Natur genauso gelten wie für die belebte.<sup>110</sup> In der Lektüre der folgenden Passage wird sich Fuller darin bestätigt gesehen haben, sein Projekt der Synergetics weiter voranzutreiben. Thompson schrieb:

Der Biologe sowohl wie der Philosoph kommen zur Erkenntnis, daß das Ganze nicht nur die Summe seiner Teile ist. Es ist zugleich viel mehr als das, denn es ist nicht einfach ein Bündel von Teilen, sondern ein System von Teilen – von Teilen, die durch ihre gegenseitige Anordnung so ineinander passen, daß sie zu einem (nach Aristoteles) ‚einzig und unteilbaren Prinzip der Einheit‘ werden. Hier handelt es sich nicht

108 D’Arcy Wentworth Thompson: *On Growth and Form* (1917), 2. vollst. überarb. Ausgabe, Cambridge: Cambridge University Press 1942. Die Wirkung dieses Buches auf Architekten, Designer und Ingenieure ist noch immer ein Desiderat der Forschung. Fuller scheint das Buch spätestens 1948 benutzt zu haben, obwohl er sein Privatexemplar erst 1952 von seiner Frau Anne und der Tochter Allegra geschenkt bekam. Vgl. Joachim Krausse/Claude Lichtenstein: „Earthwalking – Skyriding“, in: dies.: *Your Private Sky, Diskurs* (Anm. 4), S. 7–45, hier S. 45. Es spricht manches dafür, dass die Rezeption in Kunst, Architektur, Design erst mit der 2. Ausgabe von 1942 beginnt.

109 Thompson: *On Growth and Form* (Anm. 108), hier S. 969 f.; zit. nach: D’Arcy Wentwood Thompson: *Über Wachstum und Form*, in gekürzter Fassung neu hg. v. John Tyler Bonner, übers. Ella M. Fountain/Magdarena Neff, m. e. Geleitwort von Adolf Portmann, Basel/Stuttgart: Birkhäuser 1973, S. 276 f.

110 Krausse/Lichtenstein: „Earthwalking – Skyriding“, in: dies.: *Your Private Sky, Diskurs* (Anm. 4), S. 7–45, S. 37

nur um einen rein metaphysischen Begriff, sondern um die fundamentale Wahrheit in der Biologie [...].<sup>111</sup>

Was die regelmäßigen Polygone (Vielecke) für die konventionelle Geometrie der Ebene sind, das sind die regelmäßigen Polyeder (Vielflächner) für die konventionelle Geometrie des Raumes. Diese Polytope, so der Sammelbegriff, sind ein wesentlicher Gegenstand der Geometrie.<sup>112</sup> Gegenüber allen anderen Polygonen zeichnen sich die regelmäßigen dadurch aus, dass ihre Eckpunkte auf einem sie umschließenden Kreis liegen, wobei die enthaltenen Dreiecke – und hier sind es alle, auch die unregelmäßigen, den Kreis hinreichend definieren. Was für die Polygone der umschließende Kreis, ist für die Polyeder die umschreibende Sphäre: Die Eckpunkte sowohl der regelmäßigen, als auch der halbrechmäßigen Polyeder liegen auf der sie umschreibenden Sphäre. Wie die Polyeder den Kreis so teilen die Polyeder die Kugeloberfläche. Bei den von Platon im *Timaios* beschriebenen fünf Vielfächnern handelt es sich um die regelmäßigen Polyeder: Tetraeder, Oktaeder, Hexaeder (Kubus), Ikosaeder, Dodekaeder.<sup>113</sup>

In der antiken Elementarlehre<sup>114</sup> wird der Versuch unternommen, die in der Vierheit von Feuer, Luft, Wasser und Erde zusammengefassten Grundstoffe oder -kräfte mit den regelmäßigen Polyedern zu identifizieren und damit zu formalisieren. In diesem Versuch einer doppelten Codierung der Elemente tauchen drei Schwierigkeiten auf: 1. die Zuordnung der Formen zu den Elementarstoffen bzw. -kräften (eigentlich ist sich Platon nur bei Zweien sicher: Feuer = Tetraeder, Erde = Kubus), 2. es sind nur vier Elemente, aber 5 geometrische Figuren, 3. von den Elementen wird angenommen, sie befänden sich im Kreislauf des Werdens in ständiger Verwandlung und Auflösung ineinander,<sup>115</sup> so dass an die geometrischen Körper dieselbe Anforderung gestellt wird. Die erste Schwierigkeit wird durch Analogieschlüsse bzw. freie Assoziationen überwunden.<sup>116</sup> Die zweite wird gelöst, indem der fünfte geometrische Körper, das nur aus Fünfecken gebildete Dodekaeder, dem „Weltganzen“ zugeordnet wird. Auf die dritte Schwierigkeit antwortet Plato, indem er eine erstaunlich moderne Theorie einführt, nämlich ein Modul zu suchen, ein gleichseitiges Dreieck, das allen restlichen vier Polyedern gemeinsam ist, womit sie sich ineinander auflösen lassen. Immerhin gelingt dies bei dreien: dem Tetraeder, Oktaeder und dem Ikosaeder, die alle aus gleichseitigen Dreiecken

111 Thompson: *Über Wachstum und Form* (Anm. 109), S. 320.

112 H[arold] S[cott] M[acDonald] Coxeter: *Regular Polytopes* (1948), New York, NY: Dover Publications<sup>3</sup>1973.

113 Platon: „Timaios“ (Anm. 60), 54–55, S. 176–178.

114 Vgl. Gernot Böhme/Hartmut Böhme: *Feuer, Wasser, Erde, Luft. Eine Kulturgeschichte der Elemente*, München: C.H. Beck 1996, S. 93 f.

115 Platon: „Timaios“ (Anm. 60), 49 a–e, S. 171.

116 Für unseren Zusammenhang besonders aufschlussreich: „Der Erde wollen wir die Würfelgestalt zuweisen, denn die Erde ist von den vier Gattungen die unbeweglichste und unter den Körpern die bildsamste; dazu muß aber notwendigerweise derjenige werden, welche die festesten Grundflächen hat.“ Platon: „Timaios“ (Anm. 60), 55 d–e, S. 177.

bestehen. Für den Kubus aber muss eine Sonderlösung gefunden werden, die nicht auf dem gleichseitigen, sondern auf dem gleichschenkligen Dreieck aufbaut.<sup>117</sup>

Bei der Suche nach der Verwandelbarkeit der Polyeder kommt Fuller 1948, nach zweieinhalbtausend Jahren, einen entscheidenden Schritt weiter. Die von ihm entdeckte Transformation benannte er nach einem 1940 populären Tanz, den *Jitterbug*. An dieser Stelle kann die Jitterbug-Transformation nur kurz skizziert werden.<sup>118</sup> Der Einfachheit halber folgt die Beschreibung der unzählige Male von Fuller selbst vorgeführten Demonstration. Ähnlich wie bei der Halsketten-Performance benutzte Fuller gleichlange Stäbe, hier sind es 24, die durch *flexible joints* miteinander verbunden sind, in diesem Fall kleine Gummischläuche, die über die Stabenden gestülpt sind. Wie in der Halsketten-Performance wird in der Jitterbug-Performance mit einem bekannten komplexeren Gebilde begonnen, auf dem einige Glieder herausgenommen werden. Fuller startet mit dem Ikosaeder (12 Scheitelpunkte, 20 Flächen und 30 Linien bzw. Kanten, nach Eulers topologischer Formel gilt für die Polyeder  $P+F=L+2$ ). Von den 30 Kanten werden 6 herausgenommen. Es entsteht eine Figur, die auch 12 Scheitelpunkte besitzt, aber nur 14 Flächen und eben 24 Kanten. Dieser Vierzehnfächner, der uns schon von der *Dymaxion World Map* vertraut ist, zeigt acht Dreiecke und sechs Quadrate, ist also kein platonischer, sondern ein halbregelmäßiger archimedischer Körper namens Kuboktaeder.

Er ist Fullers ‚Stein der Weisen‘ – wiewohl kein Stein und auch kein *building block*, sondern ein *tertium comparationis* für die regelmäßigen Polyeder. Was ihn auszeichnet, enthüllt sich erst, wenn seine zwölf Eckpunkte mit dem Zentrum verbunden werden. Dann zeigt sich, dass diese zwölf radialen Verbindungen den peripheren Verbindungen der Kanten gleich sind. Diese Eigenschaft des Kuboktaeders deutet Fuller als ein Gleichgewicht von Vektoren und nennt es *vector equilibrium* (VE). Die geometrische Konstruktion ist Gegenstand des ersten Geometriepapiers von 1944.<sup>119</sup> Ein großer Teil von *Synergetics* widmet sich der Untersuchung des VE, weil es im Unterschied zu den anderen Polyedern die Eigenschaft besitzt, symmetrisch und nach allen Seiten *omnidirectional* wachsen zu können. Es eignet sich als vierdimensionale Matrix für alle Prozesse der Wellenmechanik und der Strahlung und wird daher als isotrope Vektormatrix bezeichnet.<sup>120</sup> In *Synergetics* tritt diese Iso-Matrix an die Stelle des von Fuller als unzureichend erachteten konventionellen x,y,z-Koordinatensystems. (Abb. 28, 29)

117 Vgl. ebd., 53 d–54 d, S. 175 f.

118 Fuller: *Synergetics* (Anm. 1), 460. 011–465.30, S. 190–206. Eine leicht fassliche Beschreibung der Jitterbug-Transformation gibt Amy C. Edmondson: *A Fuller Explanation. The Synergetic Geometry of R. Buckminster Fuller*, New York, NY: VanNestrand Reinhold 1992, S. 156 f. Über die verschiedenen Aspekte des Jitterbug siehe Krausse/Lichtenstein: *Earthwalking – Skyriding*, in: dies.: *Your Private Sky, Diskurs* (Anm. 4), S. 24–33 („Fünf Arten, den Jitterbug zu tanzen“).

119 Fuller: „Dymaxion Comprehensive System“ (Anm. 4). Der Name Kuboktaeder leitet sich von den Flächen ab, die den Kubus begrenzen – sechs Quadrate – und vom Oktaeder, das aus acht Dreiecken gebildet ist.

120 Fuller: *Synergetics* (Anm. 1), 420.01–420.07, S. 135–140. Vgl. Edmondson: *A Fuller Explanation* (Anm. 118), S. 82–93.

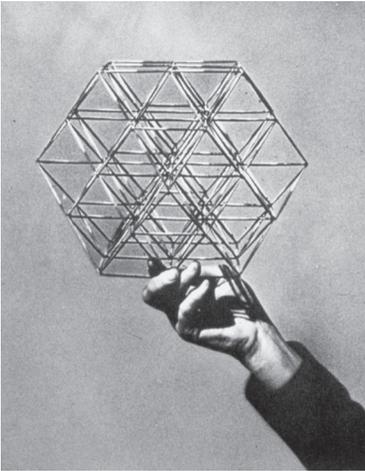


Abb. 28: Fuller: Isotrope Vektormatrix (Modell)

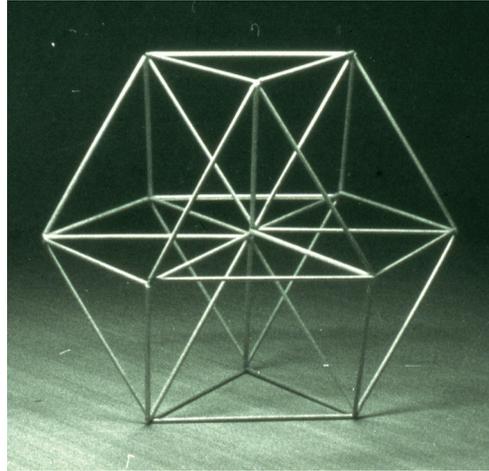


Abb. 29: Fuller: Kuboktaeder als *vector equilibrium* (Modell)

Wenn man das Modell des VE mit den radialen Streben betrachtet, (Abb. 29) so sind hier dieselben alternierenden Raumzellen aus Tetraedern und Oktaederhälften (Pyramiden) erkennbar wie in der Konstruktion des Kranarmes, nur dass sie hier nicht linear, sondern konzentrisch angeordnet sind. Das VE fungiert also wie eine Umsteigestation zwischen zwei gänzlich verschiedenen räumlichen bzw. raumzeitlichen Ordnungen, hergestellt aus denselben geometrischen bzw. strukturalen Modulen. Als Struktur hat das VE dieselbe Rigidität wie die *synergetic building construction* des *octet truss*. Aber ohne die radialen Verbindungen ist das Kuboktaeder mit den *flexible joints* jedoch so labil wie ein dementsprechend verbundener Kubus. Diese Eigenschaft erlaubt es, in die Jitterbug-Transformation einzutreten. Aufgestellt als Modell ist es wichtig, dass die Grundfläche nicht ein Quadrat, sondern ein Dreieck ist.<sup>121</sup> Ein gegensinniges Dreieck befindet sich dann an der Spitze. Nun genügt ein sanfter Druck auf dieses, um die ganze Konfiguration in einen Transformationsprozess zu bringen, in dessen Verlauf sie sich zusammenzieht: das Kuboktaeder verwandelt sich zunächst in ein Ikosaeder, dann in ein Oktaeder, dann in ein Tetraeder und schließlich in ein achtfach zusammengelegtes Dreieck. (Abb. 30 a–b) Theoretisch kann der Prozess durch diese Dreiecksphase hindurch in den ‚negativen‘ Bereich hinein fortgesetzt werden oder durchschwingen, wobei sich die Konfiguration ge-

<sup>121</sup> Es ist psychologisch aufschlussreich, dass kontinentaleuropäische Geometer und Designer die Tendenz haben, das Kuboktaeder auf eine der Quadratflächen zu stellen, wobei man gut erkennt, dass es auch aus einem Würfel mit gekappten Ecken hervorgehen kann, allerdings verfehlt man so den Eingang zum Jitterbug.

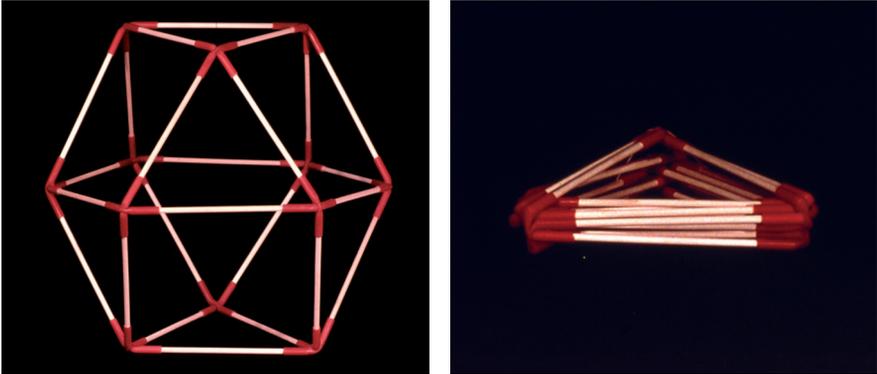


Abb. 30 a–b: Fuller: Jitterbug-Modell, um 1948

gensinnig ‚spiegelbildlich‘ wieder entfaltet und über Tetra-, Okta- und Ikosaeder zum finalen Kuboktaeder wird.

Im mechanischen Modell ist das Ganze ein Faltpapier, bei dem sich die Kanten der sechs Quadrate paarweise zusammenlegen, so dass im Oktaeder bereits alle Kanten verdoppelt, im Tetraeder vervierfacht sind. Die sechs ursprünglichen Quadrate erweisen sich in der Transformation als temporäre Öffnungen, die sich kontinuierlich verformen und schließen, während die Dreiecke während des ganzen Transformationsprozesses ihre *pattern integrity* bewahren, *quod erat demonstrandum*. Bezogen auf die platonischen Körper kann gesagt werden, dass Fuller etwas vollendet, von dem Platon und die Pythagoräer geträumt haben: die geometrische Metamorphose der Polyeder analog der Elemente zu demonstrieren. Allerdings hebt die Jitterbug-Transformation den Begriff des Körpers (*solid*) in dem der Phasenübergänge (*phase transitions*) auf und trägt damit den Aggregatzuständen der Materie – fest, flüssig, gasförmig – Rechnung. Das Kuboktaeder alias *vector equilibrium* erscheint durch die Jitterbug-Transformation wie ein den Alten noch fehlender Schlussstein im Weltengebäude. Tatsächlich aber transferieren VE und Jitterbug das System der Platonischen Körper in eine Welt atomarer und molekularer Architekturen, in der Wellenmechanik und Quantenphänomene herrschen.

Dieser Aspekt von Synergetics tritt deutlicher zutage, wenn die Polyeder nicht von ihren Flächen ausgehend erzeugt werden, sondern durch eine Methode, die auf Johannes Kepler zurückgehend von einigen Chemikern, u. a. Linus Pauling, verwendet wurde und die Fuller 1947/48 zu einer Grundlage von Synergetics macht: das Packen von Kugeln. Mit Kugelpackungen lassen sich die geometrischen Elementarformen erzeugen, wobei die geometrischen Figuren das Resultat der Linienverbindungen der Kugelmittelpunkte sind.<sup>122</sup> Aus zwei benachbarten Kugeln er-

<sup>122</sup> Fuller: *Synergetics* (Anm. 1), 420.01–420.07, S. 135–140. Vgl. Edmondson: „Chapter 7: Vector Equilibrium“, in: dies: *A Fuller Explanation* (Anm. 118), S. 82–93.

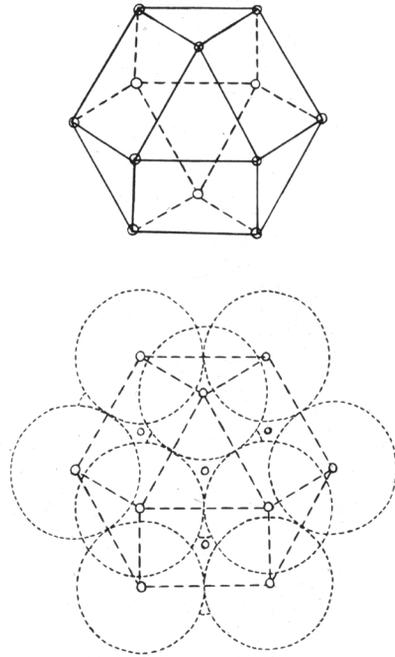


Abb. 31 a: Fuller: Kuboktaeder, abgeleitet aus der Kugelpackung (twelve around one)

gibt sich auf diese Weise ein Linienelement, aus drei Kugeln ein gleichseitiges Dreieck. Wird in die Lücke in der Mitte eine weitere Kugel gesenkt, so erhält man ein reguläres Tetraeder usw. Bei Polygonen wie bei Polyedern gibt es nun solche ohne Kern (Dreieck, Tetraeder) und welche mit einem Kern. Das erste Polygon mit einem Kern ist das Sechseck: Hier umringen sechs Kugeln eine in der Mitte (*six around one*). Genauso verhält es sich mit dem entsprechenden Polyeder: Hier schließen zwölf Kugeln einen Kern oder Nukleus ein. Die Verbindungen der Kugelmittelpunkte ergibt das kuboktaedrische VE (*twelve around one*). Diese zwölf sind die erste Schale, die sich um den Nukleus legt, eine zweite und dritte etc. reproduziert immer die Form des Kuboktaeders, dies zeigt das symmetrische Wachstum nach allen Seiten, dass sich mit den Packungsschalen in diskreten Einheiten oder „Sprüngen“ vollzieht.<sup>123</sup> (Abb. 31 a–b)

Rückblickend ist für die Platonischen Körper festzustellen, dass keiner von ihnen einen Kern besitzt, und dass mit dem VE die erste Nuklearstruktur eingeführt und zu ihnen in Beziehung gesetzt wird. Die Jitterbug-Transformation kann

123 „Diese umhüllenden Schichten von Kugeln bilden finite Systeme, und zusammen mit den Schichten, die sie einschließen und schließlich der einzelnen Zentralkugel oder dem Nukleus, bilden sie ein konzentrisches, finites System.“ R[ichard] Buckminster Fuller: „Energetische Geometrie“ (1946), in: Krausse/Lichtenstein: *Your Private Sky, Diskurs* (Anm. 4), S. 182–183.

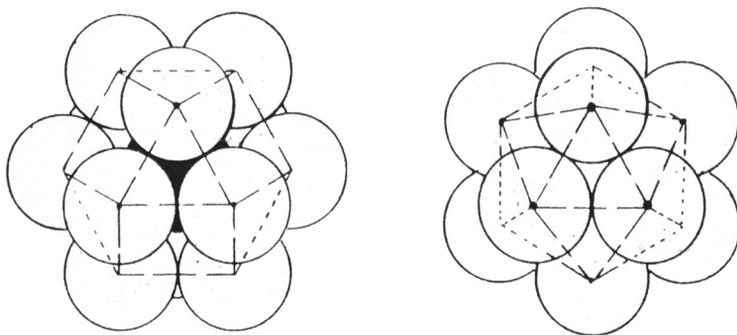


Abb. 31 b: Fuller: Kuboktaeder aus der Kugelpackung (twelve around one) abgeleitet

nämlich, wenigstens theoretisch, auch in der Modellierung durch Kugelpackungen durchgeführt werden. So gelingt es Fuller, den im orthodoxen Geometrieverständnis der Kristallographen relativ rätselhaften Phasenübergang vom Kuboktaeder/VE zum Ikosaeder dadurch zu demonstrieren, dass die zentrale Kugel des VE-Nukleus entfernt wird und das Herausnehmen des einen Quantums dazu führt, dass die Form umspringt und aus dem Kuboktaeder ein Ikosaeder wird. Wegen dieses geometrischen Quanteneffekts – das VE verliert ein Quantum – erhielt die Jitterbug-Transformation von Fullers ersten Studenten am Black Mountain College 1948 den Namen *quantum machine*.<sup>124</sup>

Der Unterschied eines Quantums entscheidet hier nicht nur über zwei gänzlich verschiedene Formen, sondern auch über die Zugehörigkeit zu gänzlich verschiedenen Symmetriegruppen (im VE drei-, vier-, sechszählige, im Ikosaeder drei- und fünfzählige Symmetrie). Der überraschende Wechsel in den Symmetriegruppen, der die Phasenübergänge in der Jitterbug-Transformation begleitet, ist insofern ein wichtiger Aspekt von Synergetics als dass sich hier ein Konflikt mit den Naturwissenschaftlern anbahnte. Die Symmetrieeigenschaften eines Ereigniskomplexes haben heute in dem Maße an Bedeutung gewonnen, in dem das Bausteinkonzept der Materie aufgegeben wurde. Über die Zugehörigkeit der einzelnen Polyeder zu Gruppen verschieden-zähliger Symmetrie besteht durch die Forschungen der Kristallographen seit langem Klarheit, über deren Transformationsregeln jedoch nur teilweise. Eine der bekanntesten Regeln besagt, dass die Ecken bzw. Scheitel eines Polyeders gegen Flächen ausgetauscht werden können, ohne dass sich die Symmetrieeigenschaften des Polyeders ändern. Diese Transformation führt zu sogenannten Dualen des ursprünglichen Polyeders. Solche Duale finden sich nun eben in

124 „Das ‚Dymaxion‘ [VE] in Bewegung heißt ‚Quanten-Maschine‘, da es eine mehr als zufällige Ähnlichkeit zu den Quantenphänomenen der Wellenmechanik anzeigt, welche immer in Triangulation münden.“ Elaine de Kooning: „Dymaxion Artist“ (1952), in: Krausse/Lichtenstein: *Your Private Sky, Diskurs* (Anm. 4), S. 316–321, hier S. 319.

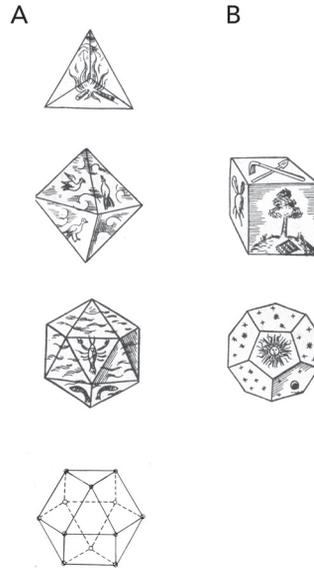


Abb. 32: Polyeder nach der Ordnung  
des Jitterbug (A) und ihre Duale (B)

den Platonischen Körpern: Das Dodekaeder ist Dual des Ikosaeders, und der Kubus ist Dual des Oktaeders. Über diese Transformationsregel sind die sowohl bei Platon als auch bei Fuller herausfallenden Polyeder – qua Symmetriegruppe – mit einbezogen. (Abb. 32)

Die Jitterbug-Transformation kollidiert jedoch mit einem ehernen Gesetz der Kristallographie, wonach in der Welt der unbelebten Natur, welche ja wesentlich aus Kristallen besteht, keine fünfzählige Symmetrie vorkomme. Der britisch-kanadische Mathematiker Harold Scott McDonald Coxeter (1907–2003), Autorität auf dem Gebiet der Geometrie, dem auch *Synergetics* gewidmet ist, konstatierte: „Es gibt ein Gesetz der Symmetrie, wonach ausgeschlossen ist, dass sich im Unbelebten etwas mit einer Fünfeckfigur zeigt, etwa in Gestalt eines regelmäßigen Dodekaeders.“<sup>125</sup> Anstelle des Dodekaeders hätte auch sein Dual, das Ikosaeder, stehen können, von beiden sagt Coxeter: „Die beiden komplizierten regelmäßigen Körper können keine Kristalle bilden, sie brauchen vielmehr den Funken des Lebens, um in der Natur zu erscheinen.“<sup>126</sup> Hier wurde also ein scharfer Trennungsstrich zwischen den „kristallographischen Körpern“, Tetraeder, Kubus und Oktaeder, und denen mit fünfzähliger Symmetrie, den „pentagonalen“ Körpern Ikosaeder und Dodekaeder, gezogen – eine Grenze, die belebte kategorisch von

<sup>125</sup> Coxeter: *Regular Polytopes* (Anm. 112), S. VI.

<sup>126</sup> „The two more complicated regular solids cannot form crystals, but need the spark of life for their natural occurrence.“ Ebd., S. 12.

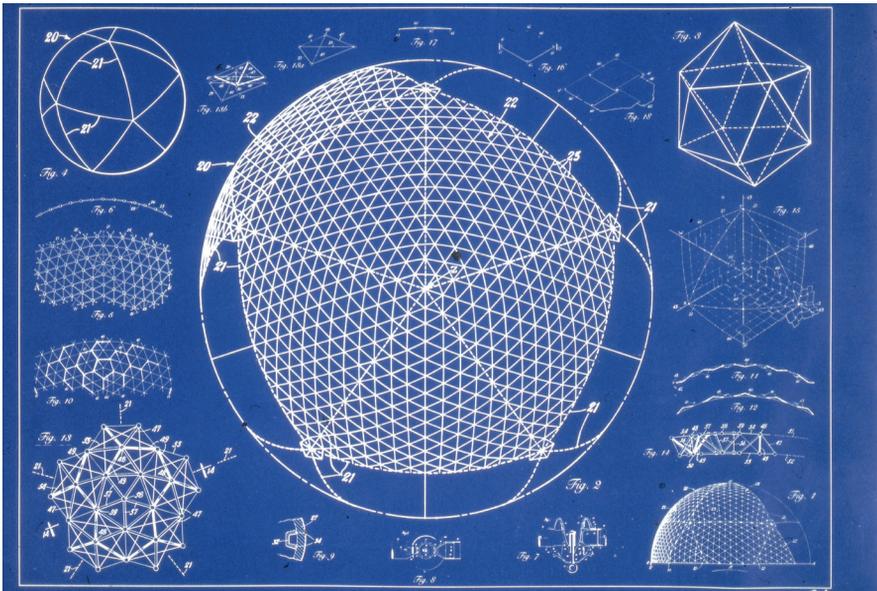


Abb. 33: Fünzfältige Symmetrie der Geodesic Domes

unbelebter Natur schied.<sup>127</sup> In der Tat waren bei zahlreichen Lebewesen pentagonale Formen und Muster zu finden, worauf schon früh durch Ernst Haeckel und D'Arcy Thompson hingewiesen worden ist.<sup>128</sup>

Hatte nun Fuller mit seinen Phasenübergängen der Jitterbug-Transformation gegen ein Gesetz verstoßen, oder eine Tür zwischen belebter und unbelebter Natur aufgestoßen? Man muss wohl einräumen, dass er beides getan hat. Er hat eine Grenze durchbrochen, die in der Wissenschaft erst 1984, ein Jahr nach Fullers Tod, und zwar mit der Entdeckung der Quasikristalle durch den israelischen Physiker Daniel Shechtman (Chemie-Nobelpreis 2011) gefallen war. Die Jitterbug-Transformation (1948) hatte die Grenzüberschreitung um Jahrzehnte vorweggenommen. Das Ikosaeder, das aus den kristallinen Strukturen herausfiel, ist von Fuller sogar am häufigsten zur geometrischen Ausgangskonfiguration seiner geodätischen Kuppelkonstruktionen gemacht worden. (Abb. 33) So überrascht nicht, dass die Virologen des Londoner Birkbeck College 1959 auf die markanten Fünfecke an den Scheiteln der *geodesic domes* aufmerksam wurden, als sie die kleinsten Häuser der Welt, die Capside oder Proteinschalen der Viren mit der Symmetrie des Ikosaeders unter dem Elektronenmikroskop enträtselten und den Rat von Buckminster

127 Ebd., S. 289.

128 Thompson: *Über Wachstum und Form* (Anm. 109), S. 208 f.

Fuller suchten, der so überaus feste Konstruktionen mit pentagonaler Symmetrie errichtet hatte.<sup>129</sup>

Fuller beriet die Forschungsgruppe um dem US-amerikanischen Biologen Donald Caspar und den britischen Biochemiker Aaron Klug – er machte sie mit seinem *synergetics approach* und vor allem der Jitterbug-Transformation vertraut. In der interdisziplinär arbeitenden Gruppe war auch ein Kristallograph, Alan Mackay, der später mit einem Fachartikel berühmt wurde, der im Wesentlichen eine Übersetzung des behandelten Abschnitts der Jitterbug-Transformation in die Fachsprache der Kristallographie war.<sup>130</sup> Aaron Klug (Chemie-Nobelpreis 1982) sprach anlässlich seiner Ernennung zum Präsidenten der Royal Society in einem Interview rückblickend über die Zusammenarbeit mit Fuller: „Man muss sich anstrengen, die Sprache zu übersetzen. Ich dachte, es sei die Sache wert. Ich weiß, einige Leute hatten den Eindruck, er [Fuller] formuliere die Dinge nicht mit wissenschaftlicher Strenge, aber ich gebe keinen Pfifferling darauf. Es ist das Ergebnis, das zählt. Der Wert von Buckminster Fullers Arbeit bestand für mich darin, dass er – gleichgültig wie – zu einer Lösung kam, und zwar mit seinen eigenen Denkmethoden.“<sup>131</sup> Und das ist wohl auch die wichtigste Botschaft von Synergetics, die Fuller an Hörer wie Leser adressierte: *You have to make your own thinking.*

### Abbildungsnachweis

- Abb. 1: Architekturklasse, Fuller mit Studenten u. a. Kenneth Snelson, Black Mountain College, 1948, Bildrechte: The Estate of R. Buckminster Fuller (Estate RBF).
- Abb. 2: Necklace Dome, errichtet mit Studenten am BMC, 1949, Estate RBF.
- Abb. 3: Fuller mit Modellen von Raumzellen, 1946, aus: „Fullers House“, in: *Fortune* (1946) April, S. 176.
- Abb. 4: Fuller mit Großkreismodell, 1948/49, Estate RBF.
- Abb. 5: Rainer Ruthenbeck, Tisch mit gelber Kugel, 1985, VG-Bildkunst.
- Abb. 6: Fuller: Großkreismodell, 1948, Estate RBF.
- Abb. 7: Mauerwerksverband, aus: Frank B[unker] Gilbreth: *Bricklaying System*, New York, NY: Mc Graw Hill 1909, S. 226.
- Abb. 8 a: Gilbreth: Baustellenfoto, aus: Frank B[unker] Gilbreth: *Bricklaying System*, New York, NY: Mc Graw Hill 1909, Abb. 59, S. 72.
- Abb. 8 b: Gilbreth: Baustellenfoto, aus: Frank B[unker] Gilbreth: *Bricklaying System*, New York, NY: Mc Graw Hill 1909, Abb. 45, S. 57.

<sup>129</sup> Fuller: „Conceptuality of Fundamental Structures“ (Anm. 27), S. 72.

<sup>130</sup> A[lan] Mackay: „A dense non-crystallographic packing of equal spheres“, in: *Acta Crystallographica* 15 (1962) 10, S. 916–918. Der Autor traf Alan Mackay in London anlässlich eines Fuller-Symposiums am R.I.B.A., 16.–17. Juni 2000.

<sup>131</sup> Aaron Klug: „The Return of the Renaissance Man. Hugh Aldersey-Williams Talks to Aaron Klug“, in: *The Guardian*, 30. November 1995, S. 10.

- Abb. 9 a: Frank Gilbreth, Filmstill aus: *The Original Films of Frank B. Gilbreth*, Archiv des Autors.
- Abb. 9 b: Lillian Moller Gilbreth mit ihren Kindern, Filmstill aus: *The Original Films of Frank B. Gilbreth*, Archiv des Autors.
- Abb. 10 a–c: Demonstration des Chronozyklographen, Filmstill aus: *The Original Films of Frank B. Gilbreth*, Archiv des Autors.
- Abb. 11 a–c: Gilbreth: Motion study Typewriter, Filmstill aus: *The Original Films of Frank B. Gilbreth*, Archiv des Autors.
- Abb. 12: Vierdimensionale Drahtskulptur eines Bewegungszyklus (Falten von Taschentüchern), aus: Siegfried Giedion: *Mechanization Takes Command. A contribution to anonymous history*, New York, NY: Oxford University Press/Ann Arbor, MI: University of Michigan Library, Scholarly Publishing Office 1948, Abb. 60, S. 111.
- Abb. 13: Diagramm Fußstellung Maurer, aus: Frank B[unker] Gilbreth: *Bricklaying System*, New York, NY: Mc Graw Hill 1909, Abb. 45, S. 153.
- Abb. 14: Gilbreths Simultanbewegungskarte, aus: Frank B[unker] Gilbreth/Lillian [Evelyn] M[oller] Gilbreth: *Applied Motion Study* (1917), dt.: *Angewandte Bewegungsstudien*, aus dem Amerikan. von Irene M[argarete] Witte, Berlin: Verlag des Vereins deutscher Ingenieure 1920, Abb. 11, S. 83.
- Abb. 15: Baustelle heute: Kran mit Standardkran ausleger, Archiv des Autors.
- Abb. 16 a–b: Oktaeder-Tetraeder-Verband, aus: Max Mengerhausen: *Komposition im Raum. Einführung in die Konstruktion und Anwendung von Raum-Fachwerken für das Bauwesen*, Würzburg: Mero Rohrkonstruktionen u. Geräte <sup>4</sup>1968, S. 12.
- Abb. 17: Fuller: Octet Truss, Modell, ca. 1952, Estate RBF.
- Abb. 18: Fuller: Octet Truss, Teil des Geodesic Dome Dearborn der Ford Rotunda, 1953, Estate RBF.
- Abb. 19: Fuller: Tetraederverbindungen als Modell chemischer Bindung, aus: *Utopia or Oblivion: The Prospects for Humanity*, New York, NY: The Overlook Press 1969, Abb. 29, S. 119.
- Abb. 20: Kubus mit zwei eingeschriebenen enantiomorphen Tetraedern, Modell, Archiv des Autors.
- Abb. 21 a: R. Buckminster Fuller: „Lightful“, Zeichnung, Anfang 1928, Estate RBF.
- Abb. 21 b: R. Buckminster Fuller: Haus an einem Mast, Skizze, Anfang 1928, Estate RBF.
- Abb. 22 a–b: R. Buckminster Fuller (mit Saldaó): Expo–Dome, US–Pavillion, Weltausstellung Montreal, 1967, Estate RBF.
- Abb. 23: R. Buckminster Fuller, Foto: Yousuf Karsh.
- Abb. 24: Johannes Kepler, *Harmonice Mundi*, Libri V. Linz, 1619.

- Abb. 25: Knotenverbindung für geodätische Kuppelkonstruktion, oben und Mitte: R. Buckminster Fuller, unten: Walter Bauersfeld, Abbildungen aus den Patentschriften.
- Abb. 26 a–b: Fuller: Dymaxion World Map, Ausschneidebogen mit acht Dreiecken und sechs Quadraten, aus: „R. Buckminster Fuller’s Dymaxion World“, *Life*, 1. März 1943, S. 41–55, hier S. 46–50.
- Abb. 27: R. Buckminster Fuller: Dymaxion World Map zum Globus gefaltet, aus: Patentschrift, 1944.
- Abb. 28: R. Buckminster Fuller: Isotrope Vektormatrix (Modell), aus: ders.: „Conceptuality of Fundamental Structures“, in: Gyorgy Kepes (Hg.): *Structure in Art and Science*, New York, NY: Georg Braziller 1965, S. 66–88, hier S. 69.
- Abb. 29: R. Buckminster Fuller: Kuboktaeder als *vector equilibrium*, Estate RBF.
- Abb. 30 a–b: R. Buckminster Fuller: Jitterbug-Modell, um 1948, Estate RBF.
- Abb. 31 a–b: R. Buckminster Fuller: Kuboktaeder, abgeleitet aus der Kugelpackung (twelve around one) Estate RBF.
- Abb. 32: Polyeder nach der Ordnung des Jitterbug (A) und ihre Duale (B), Montage des Autors.
- Abb. 33: Fünzfähige Symmetrie der Geodesic Domes, Montage aus den Patentzeichnungen, Estate RBF.