

E-Journal (2016)

5. Jahrgang · 1

Forum  
Interdisziplinäre  
Begriffsgeschichte  
(FIB)

Herausgegeben von Ernst Müller  
Zentrum für Literatur- und Kulturforschung Berlin

### **Impressum**

Hrsg. von Ernst Müller, Zentrum für Literatur- und Kulturforschung Berlin (ZfL)  
[www.zfl-berlin.org](http://www.zfl-berlin.org)

Gastherausgeberinnen dieser Ausgabe Eva Axer, Eva Geulen, Alexandra Heimes

Direktorin Prof. Dr. Eva Geulen

© 2016 · Das Copyright und sämtliche Nutzungsrechte liegen ausschließlich bei den Autoren, ein Nachdruck der Texte auch in Auszügen ist nur mit deren ausdrücklicher Genehmigung gestattet.

Redaktion Ernst Müller (Leitung), Herbert Kopp-Oberstebrink,  
Dirk Naguschewski, Tatjana Petzer, Falko Schmieder, Georg Toepfer,  
Stefan Willer

Wissenschaftlicher Beirat Faustino Oncina Coves (Valencia), Christian Geulen (Koblenz),  
Eva Johach (Konstanz), Helge Jordheim (Oslo), Christian Kassung (Berlin),  
Clemens Knobloch (Siegen), Sigrid Weigel (Berlin)

**ISSN 2195-0598**

Gestaltung Carolyn Steinbeck · Gestaltung

Layout/ Satz Jana Sherpa

gesetzt in der ITC Charter

# Inhalt

## 5 Einleitung

Eva Axer, Eva Geulen, Alexandra Heimes

## BEITRÄGE

### 11 »Analogien«, »Interpretationen«, »Bilder«, »Systeme« und »Modelle«: Bemerkungen zur Geschichte abstrakter Repräsentationen in den Naturwissenschaften seit dem 19. Jahrhundert

Moritz Epple

### 31 »Wellenformen« – Die Leistung mathematischer Modellbildung für Akustik, Physiologie und Musiktheorie

Bettina Schlüter

### 43 Das Modell als Vermittler von Struktur und Ereignis. Mechanische, statistische und verkleinerte Modelle bei Claude Lévi-Strauss

Michael Bies

### 55 Modelle in Wirklichkeit. Computation und Simulation in der Architektur

Carolin Höfler

### 71 Simulationsmodelle

Gabriele Gramelsberger

### 78 Klimatologie als Anthropologie. Modellierung von Natur im späten 18. Jahrhundert

Hanna Hamel

### 90 Das große Unsichtbare. Die Modellierung von Klima zwischen Wissen- schaft und Literatur

Solvejg Nitzke

### 102 Neoklassische Polychronie. Die Temporalitäten algebraischer Modelle bei Alfred Marshall

Andreas Langenohl

### 115 Formelideal und Problemlösung – Über den Gebrauch mathematischer Formeln in der reinen Mathematik und der mathematisierten Ökonomik

Sebastian Giacovelli

# Modelle in Wirklichkeit. Computation und Simulation in der Architektur

Carolin Höfler

## *Modellierendes Entwurfsgeschehen*

Zu den nachhaltigsten Prägungen des architektonischen Entwerfens gehört das vereinfachte Idealszenario, wonach der Prozess der Theorie- und Formbildung eine Kette von Modellierungsstufen sei, die vom Großen zum Kleinen, vom städtebaulichen Entwurf zur baukonstruktiven Detailplanung führen.<sup>1</sup> Nach diesem Szenario steht am Anfang jeder Modellierungsphase eine architektonische Hypothese mit ihrem je spezifischen Gegenstandsversprechen. Als letzte Modellierungsstufe am Ende der Kette liegt das konkrete Bauwerk im Eins-zu-eins-Maßstab vor. Jede Stufe wird in maßstabsgetreuen Zeichnungen und Modellen entwickelt, die ihre Qualität aus der Entsprechung zum späteren Bauwerk gewinnen. In jeder Phase hat der Architekt die Möglichkeit, das bisher Modellierete durch Anschauung zu überprüfen, weiter auszuarbeiten oder zu verwerfen. Auf diese Weise wird der Entwurf von einer Stufe auf die nächste überführt.

Das computerbasierte Modellieren scheint diese Idealkette entwurflicher Operationen zu unterbrechen. Unter Zuhilfenahme von 3D-Modellierungssoftware entwickelt der Architekt seinen Entwurf weniger in aufeinander aufbauenden Stufen als vielmehr in einer einzigen Stufe, die theoretisch alle anderen Stufen beinhaltet. Die erdachte Architektur wird nicht in abstrahierenden, voneinander getrennten Zeichnungen dargestellt, sondern in einem einzigen, zweidimensional wiedergegebenen 3D-Modell visualisiert. Digitale Prozessketten heben die tradierte Trennung zwischen intellektuellem Entwurfsakt und materieller Ausführung auf. Während im Analogen die architektonischen Entwurfszeichnungen zunächst in Ausführungspläne und anschließend von den am Bau beteiligten Gewerken in Werkstattpläne transformiert werden, sind im Digitalen Entwurf und Ausführung eng miteinander verschränkt. Die Produktionstechnologien greifen unmittelbar in die Entwurfsverfahren ein: Bei dem *file to factory* genannten Modellierungsverfahren werden geometrische und technologische Informationen in einem Datenmodell zusammengefasst, das unter Zuhilfenahme computergesteuerter Fertigungsmaschinen (u. a. 3D-Drucker) in ein physisches Modell oder ein Bauteil umgesetzt wird.

Angesichts dieser grundlegenden Veränderungen der Entwurfsprozesse wurden in den vergangenen Jahren drastische Krisenszenarien vom Bedeutungsverlust des architektonischen Entwerfens gezeichnet

---

<sup>1</sup> Vgl. Jörg H. Gleiter: *Gegenstandsversprechen. Entwerfen als Prozess der Theoriebildung*, Vortrag im Rahmen der Tagung »Manifestationen im Entwurf in Design, Architektur und Ingenieurwesen – eine interdisziplinäre Bestandsaufnahme«, RWTH Aachen, 10.–12.04.2014.

(Mario Carpo sprach etwa vom »Ende des albertianischen Paradigmas«<sup>2</sup>), wohingegen die Betrachtung der aktiven Potenziale computerbasierter Modelle und die Ermessung ihrer Wirkungen unterbelichtet blieben. Im Folgenden werden daher digitale und vor-digitale Modelle und Modellierungspraktiken der Architektur in den Blick genommen, die weniger Ergebnisse zu veranschaulichen als vielmehr Denk- und Entwurfsprozesse zu initiieren suchen. Zudem wird der Frage nachgegangen, ob und in welcher Weise computerbasierte Architekturmodelle als Manifestationen eines alternativen, prozessorientierten Modellbegriffs betrachtet werden können.

Digitale Modellformen sind insofern von übergreifender Bedeutung, als sie tradierte Modellkonzepte in Frage stellen. Durch die interaktive Verknüpfung von Entwurf und Ausführung verkörpern sie nicht nur ein dienendes Verhältnis des Modells zum Modellierten, sondern zeigen ein komplexes Geflecht von Effekten und Rückwirkungen auf. Das Modellieren von Materialeigenschaften und Kraftfeldern im digitalen 3D-Raum, wie es seit den 1990er Jahren in der experimentellen Architekturpraxis erprobt wird, verlässt die Vorstellung, dass das Modell lediglich ein abstraktes Schema sei. Vielmehr erscheint das digitale Modell als Bildkörper, der wesentlich durch sein Verhältnis zu Materie und Stoff bestimmt ist. Ebenso wird das vorherrschende Vorurteil aufgehoben, dass Modelle infolge ihrer statischen und stabilen Verfasstheit nicht in der Lage seien, dynamische Prozesse wiederzugeben.<sup>3</sup> Unter Zuhilfenahme von digitalen 3D-Animationstechniken ist das Modell weniger Repräsentant eines Formzustands als vielmehr Träger von Formbewegungen.

Die Frage nach den aktiven Potenzialen digitaler Modelle greift jene modelltheoretischen Überlegungen auf, die in den vergangenen Jahren in der Wissenschafts- und Kunstgeschichte entwickelt wurden. Der Mathematiker und Wissenschaftstheoretiker Bernd Mahr sowie die Kunsthistoriker Horst Bredekamp und Reinhard Wendler verstehen Modelle nicht nur als Abstraktionen von etwas Gegebenem oder als Verkürzungen von Originalen.<sup>4</sup> Für sie sind Modelle nicht allein Abbilder von etwas oder Vorbilder für etwas, »Modelle sind [...] auch an sich«<sup>5</sup>. Im Akt des Modellierens ereignen sich, so ihre Diagnose, unvorhersehbare Wirkungen, die der Intention des Modellbildners und der richtungsweisenden Kraft der Vorbilder entzogen sind. Diese Effekte ergeben sich aus den modellierten Materialien, aber auch aus dem Zusammenspiel von Modellierungsgegenstand, -ziel und -kontext. Daher verfügen Modelle über ein aktives Eigenleben, das Bedeutungen stiftet und Handlungen anleitet. Sie weisen einen »über ihre engere Bestimmung hinausgehenden, die Bereitschaft zum Handeln und zum Denken stimulierenden Überschuss« auf, weshalb sie einen erheblichen Einfluss auf den Verlauf der Modellierung haben.<sup>6</sup> Zugleich macht dieser Überschuss eine vollständige Kontrolle von Modellen und Modellierungsprozessen unmöglich.

### *Modell als dynamisches Kräftekontinuum*

Für die produktive Unbeherrschbarkeit von Modellen stehen vor allem jene Architekturexperimente in den 1990er Jahren, in denen der Computer nicht nur als Werkzeug zur effizienten Planzeichnung, sondern auch zur architektonischen Gestaltwerdung eingesetzt wurde. Ein Wegbereiter der digitalen Formfindung war

2 Alberti bestimmte den Architekten vor allem durch seine Fähigkeit, das zukünftige Bauwerk in abstrakten Plänen zu modellieren, die später vom Handwerker auf der Baustelle umgesetzt würden. Vgl. Leon Battista Alberti: *Zehn Bücher über die Baukunst*, übers. v. Max Theuer, Wien/Leipzig 1912, Nachdruck: Darmstadt 2005, S. 20; Mario Carpo, zit. nach: Jörg H. Gleiter: *Urgeschichte der Moderne. Theorie der Geschichte der Architektur* (ArchitekturDenken 4), Bielefeld 2010, S. 50.

3 Vgl. Horst Bredekamp: »Modelle der Kunst und der Evolution«, in: *Debatte* (2005) 2, S. 13–20, hier S. 15 f.

4 Beispielhaft: Bernd Mahr: »Ein Modell des Modellseins – Ein Beitrag zur Aufklärung des Modellbegriffs«, in: Ulrich Dirks/Eberhard Knobloch (Hg.): *Modelle*, Berlin 2008, S. 187–218; Bredekamp: »Modelle« (Anm. 3); Reinhard Wendler: *Das Modell zwischen Kunst und Wissenschaft*, Paderborn 2013.

5 Horst Bredekamp, zit. nach: Thomas Kleinspehn: Wie Bilder auf Menschen wirken. Horst Bredekamp: »Theorie des Bildakts«, 21.09.2011, [http://www.deutschlandfunk.de/wie-bilder-auf-menschen-wirken.700.de.html?dram:article\\_id=85245](http://www.deutschlandfunk.de/wie-bilder-auf-menschen-wirken.700.de.html?dram:article_id=85245), 01.02.2016.

6 Vgl. Bredekamp: »Modelle« (Anm. 3), S. 14.

der amerikanische Architekt Greg Lynn. Im Jahr 1999 erschien sein Buch *Animate Form* mit zahlreichen Projektbeispielen, die Ergebnisse rechnerbasierter Modellierungs- und Animationstechniken waren.<sup>7</sup> Lynn stellte seine prozessual gewonnenen Architekturformen in endlosen Bildserien dar, wodurch sie wie verlebendigt wirkten. Mit dem Begriff der *animate form* skizzierte er ein biologisch bestimmtes Konzept, wonach die architektonische wie die natürliche Gestalt ein offenes System in Wechselwirkung mit äußeren Kräften sei (»animation implies the evolution of a form and its shaping forces«<sup>8</sup>). Dieser Formbegriff, der in der Geschichte der organischen Architektur eine lange Tradition hat, erhielt mit der Instrumentalisierung des Computers zur Gestaltbildung eine neue Konkretheit. Mit den avancierten 3D-Modellierungs- und Animationsprogrammen standen den Architekten zu Beginn der 1990er Jahre Entwurfsmedien zu Verfügung, durch die sich dynamische Verformungen von Oberflächen und Figuren nachbilden ließen (Abb. 1).

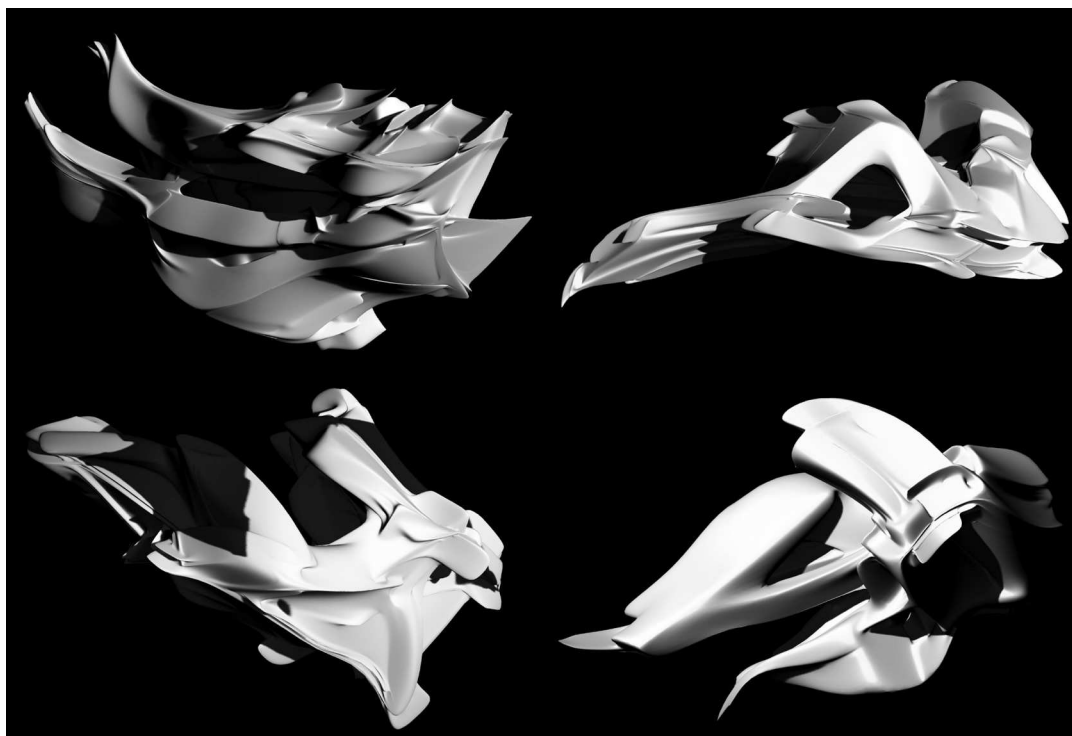


Abb. 1: Marcos Novak, Vier Ansichten einer vierdimensionalen transarchitektonischen Form, 2001, Rendering

Lynn operierte vor allem mit Computerprogrammen aus Hollywoods Spezialeffekte-Industrie. Zur Formgewinnung verwendete er die Software »Maya« der kanadischen Firma Alias/Wavefront, mit der aufwändige Filmanimationen wie die Verflüssigung des metallenen Androiden T-1000 in *Terminator 2* (Regie: James Cameron, 1991) umgesetzt worden waren.<sup>9</sup> Das in »Maya« enthaltene Programmmodul *Dynamics* ermöglicht Bewegungen und Deformationen geometrischer Objekte, die von Kräften wie »Gravitation« oder »Wind« beeinflusst werden.<sup>10</sup> Die physikalischen Kräfte, die ein Objekt in Bewegung versetzen oder

7 Greg Lynn: *Animate Form*, New York 1999.

8 Ebd., S. 9.

9 Vgl. Rajeev Nair: *History of Alias*, 2010, <http://www.digital-sculptors.com/cms/index.php/tutorials/alias-tutorials/43-history-of-alias.html> (01.02.2016).

10 Beispielhaft: Greg Lynn: »Computeranimation von fünf elastischen Kugelgebilden«, in: ders.: *Animate Form* (Anm. 7), CD-ROM, Ordner AFCD/Oslo/Movies/early.mov.

verformen, werden mit aufwändigen mathematischen Verfahren berechnet, wobei je nach gegebenen Variablen ein anderes Ergebnis entsteht.

Vor dem Hintergrund solcher Modellierungs- und Animationstechniken ist der geometrische Körper nicht mehr nur diskret, sondern als verformbares Kontinuum vorhanden. Ähnlich definierte Lynn seinen Begriff der *animate form*: Innerhalb des Raums der Kraftfelder gibt es keine feststehenden Urformen, sondern dynamische Oberflächen und Figuren, die auf Krafteinfluss mit Verformung reagieren.<sup>11</sup> Das so erzeugte Formmodell ist eine fortgesetzte Bewegung von einem Zustand in den nächsten. Jedes Krümmen, Schwellen, Ausbuchten oder Einkerbungen, an jedem Punkt, in jedem Moment, verändert unmittelbar die raumzeitlichen Verhältnisse des gesamten Modells. Jede Veränderung ist stets temporär. Einmal Gebildetes besteht nicht dauerhaft, sondern löst sich gleich wieder auf und verwandelt das Außen in ein Innen, das Oben in ein Unten, die Oberfläche in einen Körper.

Charakteristisch für dieses Modellierungsverfahren ist, dass auf den laufenden Generierungsprozess nur geringfügig Einfluss genommen wird.<sup>12</sup> Aktivität und Kreativität des Architekten fließen weniger in die Modellierung der Gestalt als in die Erfindung und Beschreibung der prozesssteuernden Faktoren, der formbestimmenden Funktionen und der zugrunde zu legenden Randbedingungen ein. So agiert der Architekt als Regisseur, der die Formen nicht mehr direkt entwirft, sondern die Bedingungen und Regeln vorgibt, nach denen Formen und Verhaltensmuster entstehen. Alle seine Modellierungsanweisungen werden in einer sogenannten *construction history* gespeichert und angezeigt. Auf jede Anweisung kann er zurückgreifen und diese verändern, entfernen oder durch eine andere Anweisung austauschen, wodurch der gesamte Modellierungsvorgang neu konfiguriert wird. Das so Modellierete ist dann weniger ein Objekt als ein Prozess, ein veränderbarer, wiederausführbarer Konstruktionsverlauf, der infolge seiner graphenorientierten Repräsentation nicht geradlinig, sondern in relationalen Verknüpfungen verläuft.

Erlauben diese Verfahren einerseits eine detaillierte Kontrolle von Modellierungsaktivitäten, ermöglichen sie andererseits eine gleichsam absichtslose Formbildung. Die Animationstechnik vertraut auf das eher passive Finden, womit sie sich von der herkömmlichen Gestaltung unterscheidet, die durch ein in Skizzen und Modellen vorangetriebenes Suchen bestimmt ist. Da zu Beginn des Verlaufs vielmehr eine Prozess- als eine Formvorstellung existiert, wartet der Modellierende auf die Form, statt diese aktiv zum Ausdruck zu bringen. Entgegen der tradierten Vorstellung des Modellierens *gibt* er einem formbaren Material nicht eine Gestalt, sondern *findet* die Form in einer Reihe von Verformungszuständen. Obgleich die so gewonnenen Formen selbst nicht beliebig sind, sondern Ergebnisse eines methodisch genau strukturierten Modellierungsprozesses, lassen sie sich nur schwer vorhersehen. Die im Modell nachgebildeten Kraftfelder sind Zufallsgesetzen unterworfen, weshalb minimale Veränderungen der Anfangsbedingungen meist zu neuartigen und überraschenden Konstellationen führen. Damit wird ein Moment des Unberechenbaren und Unverfügbaren in jene Modellkonzeption eingeführt, die ansonsten vollständig auf Kalkül und Regelmäßigkeit beruht.

Wesentliche Anregungen zur Vorstellung des Modells als unvorhersehbare, dynamische Kräftekonstellation erfuhr Lynn von dem Schweizer Naturwissenschaftler und Maler Hans Jenny (1904–1972), den er in seinem Buch *Animate Form* zur Bezugsfigur erklärte.<sup>13</sup> In modellhaften Experimenten übertrug Jenny Tonschwingungen in sichtbare Formen und Strukturen. Das Forschungsfeld, in dem er die Schwingungsnatur der Welt untersuchen wollte, nannte er »Kymatik« (abgeleitet von griech. *to kyma* = »die Welle«). Untersuchungen zum Phänomen der Periodizität, die Jenny als Schlüssel zur Formbildung in der Natur erkannte, führten 1967 zur Publikation des ersten, in deutscher und englischer Sprache

11 Grundlegend: Lynn: *Animate Form* (Anm. 7), S. 9–43.

12 Vgl. Martin Trautz: »Formfindung versus Formgebung«, in: *Bauwelt* (2004) 21, S. 12–15, hier S. 14.

13 Vgl. Lynn: *Animate Form* (Anm. 7), S. 35–39.

konzipierten Bandes der *Kymatik*, dem 1972 der zweite Band folgte. In *Animate Form* veröffentlichte Lynn Schwarz-Weiß-Fotografien aus Jennys *Kymatik* (Abb. 2).<sup>14</sup>

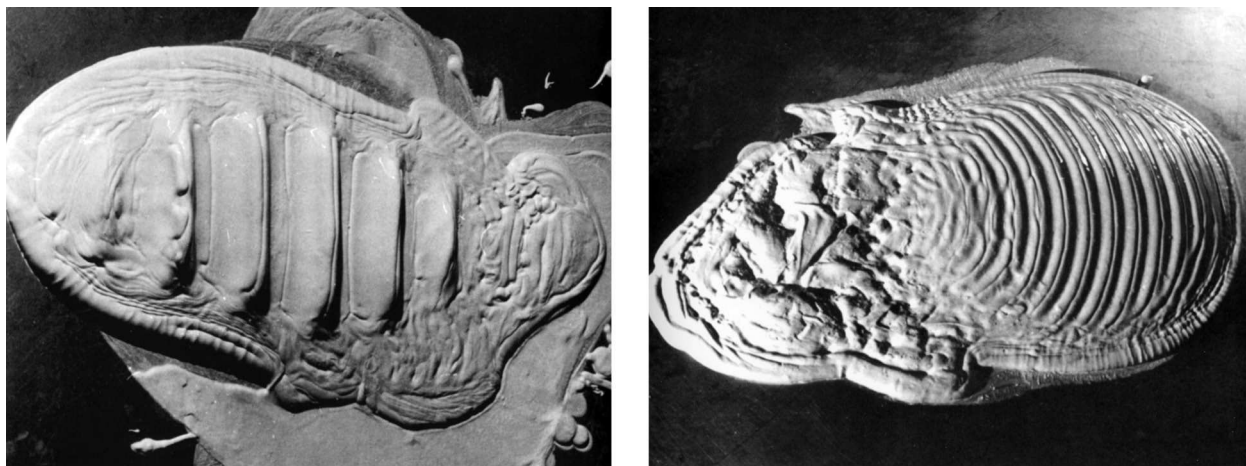


Abb. 2: Hans Jenny, Wellenbildung durch Schwingung in einem viskosen Brei, 1972, Fotografien

Jenny gewann seine sichtbaren Klangfiguren in speziellen Versuchsanordnungen: Er spannte eine Membran, belegte sie mit Pulver, Pasten oder Flüssigkeiten und versetzte sie anschließend akustisch in Schwingung. Aufgrund der eingebrachten Tonfrequenzen konfigurierte sich das Material in charakteristischer Weise und bildete Strukturen und Muster aus.

Lynn dürfte Jenny nicht nur wegen seiner strukturierten Modellierungsverfahren zitiert haben, die sich als Vorläufer digitaler Animationstechniken ansprechen lassen. Vielmehr thematisierte Jenny mit seinen flüssigen Klangfiguren auch die Verlebendigung nichtlebender Formen, wovon seine populärwissenschaftlichen 16-mm-Farbfilm aus den 1960er Jahren zeugen.<sup>15</sup> Jennys Vision, unsichtbare Naturkräfte in sichtbare Kunstformen zu übertragen, bildete einen zentralen Ausgangspunkt für Lynns Konzept der *animate form* und seine Sicht auf die Rolle des Architekten im digitalen Modellierungsprozess. Wie ein Laborwissenschaftler sollte der Architekt am Computer ein Experimentalsystem arrangieren, innerhalb dessen sich kontinuierlich wandelnde Formen herausbilden. Im Einklang mit Jennys Überlegungen zum Modell als Kraftfeld plädierte Lynn für einen Perspektivenwechsel – weg von den Ideen und den Absichten des handelnden Modellbildners, und hin zu der sich selbst erzeugenden Form, auf die sich das Handeln und Begehren des Modellierers richtet.

### Entwicklungsmodelle

In Anbetracht neuer Computeranwendungen, die eine so mathematisch präzise wie dynamisch-bewegte Darstellung ermöglichten, forderte Lynn eine Revision der formalen Systeme und kompositorischen Prinzipien einer Architektur, die bis dahin als rational verstanden und bezeichnet worden war. Seine Kritik galt vor allem dem statischen Verständnis von Geometrie, Symmetrie und Typus, das die Vorstellung feststehender Grund- und Urformen der Architektur bestimmt und zur Ausgrenzung abweichender Formen geführt hatte. Um die digitalen Gestaltmodelle, die auf Krafteinfluss mit Verformung reagieren, nicht als Normverstöße zu werten, bedurfte es flexibler Maß-, Ordnungs- und Klassifikationsschemata, die Lynn in den Naturwissenschaften zu finden glaubte. Seine Theorie der *animate form* spiegelte er vor

<sup>14</sup> Hans Jenny: *Kymatik. Wellenphänomene und Schwingungen*. Neuausgabe des zweibändigen Werks von 1967 und 1972, Baden/München 2009, S. 132–133, S. 168–171 (wieder abgebildet in: Lynn: *Animate Form* [Anm. 7], S. 36–38).

<sup>15</sup> Hans Jenny: *Cymatics – Soundscapes & Bringing Matter To Life With Sound*, DVD, Newmarket/NH 2006, [http://www.bibliotecapleyades.net/ciencia/ciencia\\_cymatics11.htm](http://www.bibliotecapleyades.net/ciencia/ciencia_cymatics11.htm) (01.02.2016).



dem Hintergrund einer biologisch verstandenen Morphologie. Dabei gewannen jene Erklärungsansätze an Bedeutung, die sich gegen Optimierungsideen wandten und Gestaltvariationen anders als durch ihre Abweichung von der Norm definierten. Typologische Konzepte von ›Ideen‹ oder festen ›Bauplänen‹ der Natur blendete Lynn hingegen bewusst aus.

Die zur Konvention geratene Vorstellung, wonach sich ein mustergültiger Baukörper durch ideale Proportionen und symmetrische Ordnung auszeichne, wird Architekten bis heute vor allem über die Schriften dreier Autoren nahegebracht: Vitruv, Rudolf Wittkower und Colin Rowe.<sup>16</sup> Ausgehend vom antiken Autor Vitruv, der Symmetrie und Proportion zu Voraussetzungen einer vernünftigen Formgebung erklärt hatte, ermittelten Wittkower und Rowe anhand von Villengrundrissen (nämlich des Renaissance-Architekten Palladio und seines modernen Nachfolgers Le Corbusier) einen allgemeinen, symmetrischen Organisationstyp – das orthogonale Neun-Feld-Raster aus drei Zeilen und drei Spalten.<sup>17</sup> In jeder einzelnen Villa verfolgten sie die geometrische Konstruktion dieses Typs, die zu einem ständigen Bezugspunkt für eine Serie sich verändernder Anordnungen wurde.

Anstelle dieser Idee einer reinen, absoluten Architektur, die auf einen idealen Organisationstypus festgelegt ist und jede Veränderung als Normverletzung interpretiert, verlangte Lynn »eine alternative Mathematik der Form« und propagierte »einen Formalismus, der sich nicht auf ideale Villen oder andere fixe Typen reduzieren lässt«. <sup>18</sup> Als Gegenstrategie empfahl er die buchstäbliche Deformation der unnachgiebigen Rasterstrukturen – eine Modellierungstechnik, die als ›generativ‹ bezeichnet werden kann.

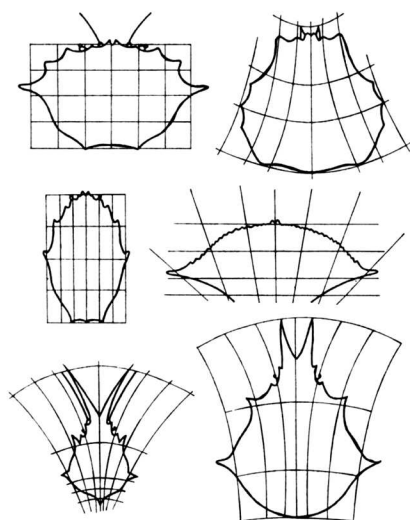


Abb. 3: D'Arcy W. Thompson, Rückenschilder verschiedener Krabben, *Illustrationen aus »On Growth and Form«, 1917/1942*

Denkanstöße für ein solches regelgesteuertes Modellierungsverfahren, welches das beständige Abweichen vom Basiertyp systematisiert und das Typische im Atypischen festhält, erhielt Lynn von D'Arcy Wentworth Thompson (1860–1948). Der Mathematiker und Biologe hatte in seinem 1917 erstmals veröffentlichten Werk über biologische Morphologie, *On Growth and Form*, gezeigt, wie durch einfache geometrische Operationen die Formen verwandter, aber verschieden aussehender Arten passgenau ineinander überführt werden können. Dazu wurde der Umriss einer bestimmten Figur in ein rechtwinkliges Koordinatennetz eingetragen und deren Veränderung durch Umwandlung der Koordinaten und Verformung des Rasters dargestellt (Abb. 3). Auf diese Weise konnte das Raster system durch eine einzige, umfassende Transformation die anscheinend isoliert auftretenden Unterschiede zwischen den verschiedenen Formen vereinheitlichen.

Um eine solche Transformationsmethode ging es auch Lynn in seiner Formtheorie. Seine Konzeption der *animate form* zielte auf die Durchsetzung eines regelbasierten Verfahrens geometrischer Vereinheitlichung, das die verschiedenen Architekturformen nicht auf statische, festgelegte Entwurfstypen, sondern auf dynamische, anpassungsfähige Designmodelle reduziert, welche auf unterschiedliche Bedingungen flexibel reagieren.

16 Curt Fensterbusch (Hg.): *Vitruvii De architectura libri decem / Vitruv. Zehn Bücher über Architektur*, Darmstadt 31981 (1. Aufl. 1964); Rudolf Wittkower: *Architectural Principles in the Age of Humanism*, London 1949, <sup>5</sup>1998; Colin Rowe: *The Mathematics of the Ideal Villa and Other Essays*, Cambridge, Mass./London 1976.

17 Vgl. Wittkower: *Architectural Principles* (Anm. 16), S. 69, Fig. 57; Rowe: *Mathematics* (Anm. 16), S. 5, Fig. 1.

18 Greg Lynn, zit. nach: Ole Bouman: »Amor(f)al Architecture or Architectural Multiples in the Post-Humanist Age«, in: Greg Lynn: *Folds, Bodies & Blobs. Collected Essays*, Brüssel 1998, S. 7–14, hier S. 11.

Mit Blick auf Thompson versuchte Lynn eine alternative Organismus-Vorstellung in der Architektur zu etablieren. Er verwarf die traditionelle, anthroposophisch geprägte Theorie, die eine Analogie zwischen den Maßverhältnissen eines Bauwerks und den Proportionen eines menschlichen Körpers beschreibt. Stattdessen skizzierte Lynn eine an die Biologie angelehnte Konzeption, wonach architektonische Formen als organisch erachtet werden können, wenn diese fähig sind, sich an wechselnde Bedingungen und Anforderungen der Umgebung anzupassen.

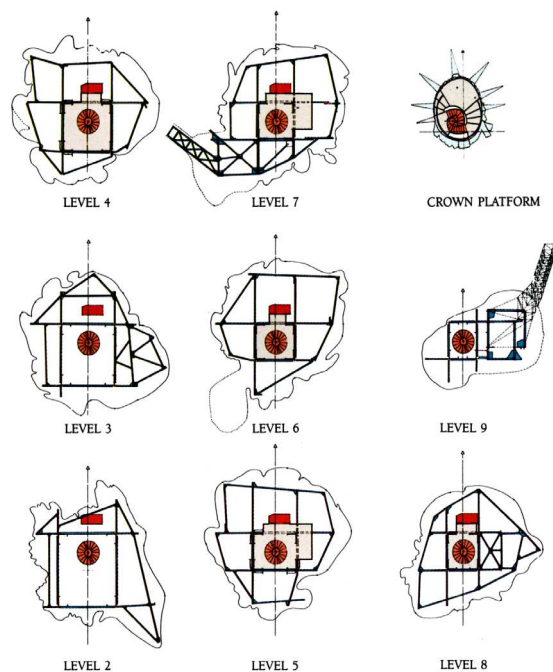


Abb. 4: Frédéric Auguste Bartholdi/Gustave Eiffel, Statue of Liberty, New York, 1870–86, Horizontalschnitte

Zu einem architektonischen Leitbild des anpassungsfähigen Körpers im Sinne Thompsons erhob Lynn die New Yorker *Statue of Liberty*, die 1886 nach den Plänen des französischen Bildhauers Frédéric Auguste Bartholdi und des Ingenieurs Gustave Eiffel errichtet worden war.<sup>19</sup> In exemplarischer Weise verschränkt die Konstruktion der Statue Körper und Geometrie, Haut und Struktur, weshalb Lynn sie als Synthese der formalen Systeme von Wittkower, Rowe und Thompson interpretierte. Die Konstruktion setzt sich aus einem zentralen, seriell gefertigten Grundgerüst und einem daran angeschlossenen Geflecht individueller Fachwerkträger und Eisenbügel zusammen, das die äußere Hülle aus Kupferplatten trägt. Die Horizontalschnitte durch den Körper der Statue zeigen die Überlagerung von zwei geometrischen Systemen (Abb. 4).

Das Proportionssystem eines Wittkower und Rowe trifft in diesen Bildern auf das Transformationssystem eines Thompson. Das innere, orthogonale Skelett verformt sich sukzessive zu den Rändern hin und passt sich an den Körperumriss an. Das Gerüst verlagert sich in die Oberfläche, die Haut wird zur Struktur. Nicht ein geometrisch determinierter, innerer Organisationstyp, sondern ein flexibles, äußeres Umrissystem formiert die Erscheinung der Statue. Es zielt weniger auf die Reduktion als auf die Entwicklung struktureller Komplexität.

Das Proportionssystem eines Wittkower und Rowe trifft in diesen Bildern auf das Transformationssystem eines Thompson. Das innere, orthogonale

### Eigensinnige Materialien

Die Möglichkeiten, Kraftfelder digital nachzubilden und dynamische Formen geometrisch zu bestimmen, führten zu einem Paradigmenwechsel in der Betrachtung computerbasierter Modellierung. Greg Lynn plädierte dafür, den Akt des digitalen Modellierens nicht länger als entmaterialisierten, ausschließlich visuellen Prozess zu begreifen, sondern als materiell-plastisches Geschehen.<sup>20</sup> Das Materielle behauptete sich bei Lynn jedoch stets in der Form des Digitalen. Materielle Eigenschaften eines Objekts wurden in geometrische Parameter eines digitalen Modells übersetzt, das auf Krafteinfluss mit Formveränderung reagiert. Lynn produzierte zwar auch anschaulich-taktile Modelle, aber die physische Materialisierung erfolgte immer nach der Erzeugung der Form.

Hierzu wurde der fortlaufende Modellierungs- und Animationsprozess an einem bestimmten Zeitpunkt angehalten und die in dem Moment dargestellte Form in ihrer Bewegung »eingefroren«. Unter Zuhilfenah-

<sup>19</sup> Vgl. Richard Seth Hayden/Thierry W. Despont: *Restoring the Statue of Liberty. Sculpture, Structure, Symbol*, New York 1986.

<sup>20</sup> Vgl. Greg Lynn: »Differential Gravities (1994)«, in: ders.: *Folds* (Anm. 18), S. 95–108.

me von CNC-gesteuerten Fertigungsmaschinen erfuhr die stillgestellte Form schließlich eine physische Materialisierung. Mit der Privilegierung der Form gegenüber dem Material folgte Lynn einer tradierten Gestaltvorstellung, wonach die Form erst dann an Bedeutung gewinnt, wenn sie ihre Stofflichkeit überwindet.

Gegen diese Trennung zwischen digitaler Entwurfs- und analoger Stoffform wandten sich in jüngster Vergangenheit zahlreiche Architekten und Designer mit Modellen und Prototypen, für deren Hervorbringung das Material von zentraler Bedeutung ist. Unbeeindruckt von der modernen Denkfigur der Entmaterialisierung, die in der computerbasierten Architektur der 1990er Jahren ein Comeback feierte, skizziert eine jüngere Entwerfer-Generation einen Formbegriff, der die vermeintliche Entbindung des Artefakts von Stoff und Raum aufhebt. Zugleich versucht sie, das Material von seiner Zurichtung durch die digital festgelegte Form zu befreien. Ihre Experimente beginnen mit der analytischen Modellierung eines physischen Materials, das nicht als passiver Träger einer Idee, sondern als operative Struktur aufgefasst wird, die in einem wechselseitigen Wirkverhältnis zur Umwelt steht.

Exemplarisch sichtbar gemacht wird ein solcher materialaktiver Modellierungsprozess in den Entwürfen der deutschen Architekten Michael Hensel und Achim Menges.<sup>21</sup> Hensel und Menges entwickelten einen Modellbegriff, wonach das Modell ein »Materialsystem« darstellt. Unter einem Materialsystem verstehen sie eine Flächenstruktur aus gleichzeitig raumbildenden, kraftabtragenden sowie energieleitenden und -speichernden Elementen, welche aus den spezifischen Eigenschaften der zur Verwendung kommenden Materialien und Herstellungsprozesse hervorgehen.<sup>22</sup> Grundlegender Unterschied zu bisherigen Ansätzen computerbasierter Modellierung ist, dass Hensel und Menges ihre Modelle auf zweifache Weise hervorbringen. Ihr Entwurfsprozess beginnt gewöhnlich mit der Entwicklung eines Strukturelements aus einem spezifischen Material, dessen Eigenschaften sie anschließend in einem parametrischen Computermodell nachbilden. Um der Aufwertung des Materials gegenüber der bisher als dominant bewerteten Form Ausdruck zu verleihen, setzen die Architekten vor allem biegsame, elastische und instabile Materialien ein, die gewissermaßen ein Eigenleben führen und selbstständige Modellbildungen befördern. Als Beispiel

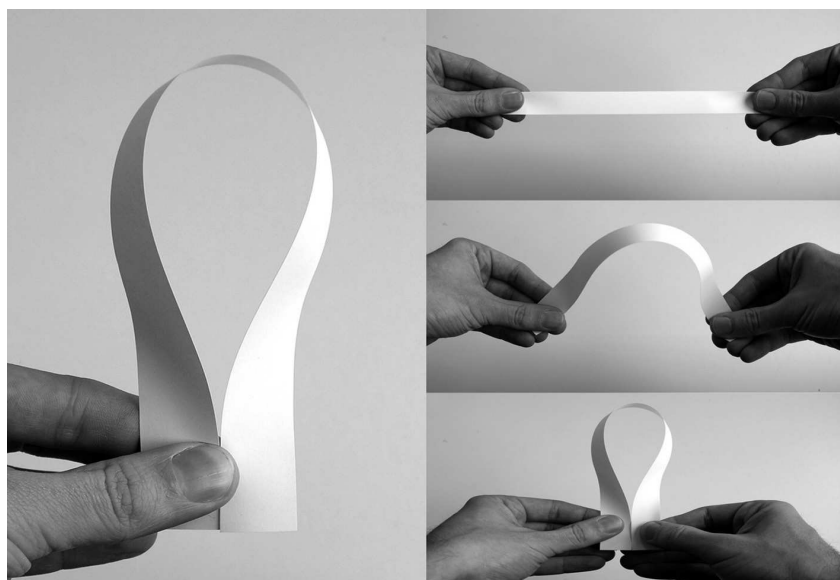


Abb. 5: Achim Menges, Papierstreifenmorphologien, 2004–05, Fotografien

für ein eigentätiges Materialmodell führen sie einen einfachen Papierstreifen an, dessen Enden mit den Händen zusammengeführt werden, wodurch sich wie von selbst eine Schlaufe bildet (Abb. 5).

Die Vorstellung von der Selbstbildung des Modells ist auch grundlegend für dessen geometrische Repräsentation (Abb. 6). So wird von dem Papierstreifen ein digitales Modell erstellt, das keine endgültige Form, sondern ein vorläufiges Schema von mathematischen Beziehungen definiert, welche mit

21 Grundlegend: Michael Hensel/Achim Menges (Hg.): *Morpho-Ecologies*, London 2006.

22 Vgl. Michael Hensel/Achim Menges: »Performance als Forschungs- und Entwurfskonzept. Begriffe und Bezugssysteme«, in: *Archplus* (2008) 188, S. 31–37, hier S. 31.

Variablen und Konstanten beschrieben werden. Derartige Beziehungen sind zum einen geometrische Verhältnisse, zum anderen materielle Eigenschaften, die in Form von Kennwerten numerisch nachgebildet werden. Die in Kennwerten angegebenen Eigenschaften des Materials, wie Elastizität und Festigkeit, bestimmen das Verformungsverhalten des Modells. Neben Geometrie und Materialität ist auch der Herstellungsprozess integraler Bestandteil des Modells. Programmiert werden die Art der Fügung der Elemente und ihre Fer-

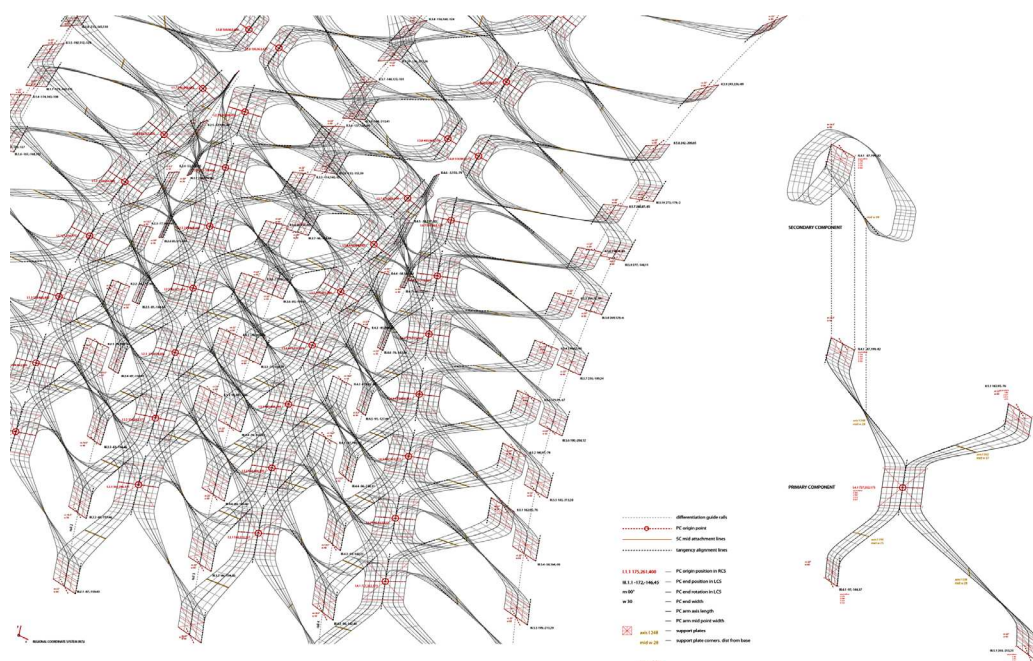


Abb. 6: Michael Hensel/Achim Menges/Aleksandra Jaeschke, Continuous Laminae, 2004–05, Rendering

tigung mittels computergesteuerter Produktionsmaschinen. Das generische Modell, in dem geometrische Verhältnisse, materielle Eigenschaften und produktionstechnische Prozesse eingeschrieben sind, bildet dann das Grundelement eines Verbunds. In dem Verbund sind die einzelnen Elemente interaktiv miteinander verknüpft, wodurch flexible Strukturen wechselseitiger Abhängigkeiten entstehen. Ein spezifischer Formentwurf wird erst dann erzeugt, wenn den Variablen Zahlenwerte zugewiesen werden. Sobald das Element mit anderen Elementen in eine wechselseitige Beziehung tritt und bestimmte Anforderungen an Durchlässigkeit und Stabilität erfüllen soll, erhält es seine konkrete, individuelle Form.

### *Erfindendes Modellieren*

Mit Blick auf die Eigensinnigkeit der Materialien erweisen sich vor allem die Stoff- und Strukturforschungen am Bauhaus der 1920er Jahre als latente Vorbilder für das Materialkonzept von Hensel und Menges. Es ist vor allem das Form- und Stoffverständnis von Josef Albers, das in ihre Vorstellung des materialisierten Computermodells Eingang fand.

In Albers' Vorkurs am Bauhaus erfolgten Übungen, die sich mit den immanenten Eigenschaften von Materialien beschäftigten. Stabilität, Festigkeit, Tragfähigkeit und Belastbarkeit der Werkstoffe wurden in raumgreifenden Modellen aus Papier erprobt, womit Albers den Blick auf das wechselseitige Wirkverhältnis von Form, Kraft und Masse lenkte. Ziel seiner Gestaltungslehre war das »erfindende bauen«, das durch zweckloses und vorurteilsfreies Probieren mit Materialien – durch »un-fachliche Versuchsar-

beit« – entfaltet werden sollte.<sup>23</sup> Es mutet wie ein Vorgriff auf das parametrische Modellieren an, wenn László Moholy-Nagy, neben dem Albers in den Jahren 1923 bis 1928 lehrend im Vorkurs tätig war, jene Materialmodelle wie folgt beschrieb: »die materialwerte, biegsamkeit, dehnungsgrenze, elastizität usw. werden bei diesen arbeiten hineinkalkuliert.«<sup>24</sup> Albers' Materialmodelle waren demnach nicht *komponiert*, sondern *kalkuliert*.

Eine Modellierung in diesem Sinne führte Albers seinen Studierenden am Black Mountain College vor: Grundlage war ein vorgefaltzes Papier, dessen Seiten mit den Händen zusammengeschoben wurden, so dass sich wie von selbst eine Aufwölbung ergab (Abb. 7). Mit dieser Art der Formung widersetzte sich Albers einem spezifisch künstlerischen Verständnis von Modellierung, wie es etwa im Kontext von Ton- oder Wachsplastiken bis heute vorherrscht. Dort meint Modellierung das Eindrücken der Finger in ein weiches, modellierbares Material und die Entstehung der Form in den Händen. Bei Albers ergab sich die Form aber nicht in der manuellen Aktion der Umformung, sondern in der Bestimmung von Material-, Struktur- und Umweltbedingungen.

Auf eine nochmals gesteigerte Weise verfolgte Achim Menges diese Modellierungsstrategie, indem er Materialsysteme entwarf, die auf wechselnde Umwelteinflüsse mit Gestaltveränderungen reagierten. Zusammen mit Steffen Reichert entwickelte er im Jahr 2005 einen Prototypen, der auf dem Formungs-



Abb. 7: Albers und Studierende manipulieren ein Blatt Papier, Black Mountain College, 1946, Fotografie

verhalten von Holzblättern beruhte (Abb. 8).<sup>25</sup> Bei hoher Luftfeuchtigkeit krümmten sich die Blätter, wodurch sich eine Öffnung zwischen Rahmen und Deckfläche ergab. Nahm die Feuchtigkeit ab, schlossen sich die Blätter wieder.

Solchen Arbeiten liegt ein Verständnis von Modellierung zugrunde, das weniger formale Objekte als vielmehr stoffliche Überführungen und Umwandlungen ins Zentrum des Gestaltungs- und Erkenntnisinteresses rückt. Modellierung bedeutet hier die Beschreibung einer materiellen Schnittstelle, eines Durchgangsmediums zwischen Innen und Außen, einer »Membran«, die eine aktive Rolle bei der selektiven Übermittlung natürlicher Bewegungen wie Licht, Luft und Schall spielt. Die so gewonnenen Modelle sind

23 Josef Albers: »werklicher formunterricht«, in: *bauhaus* (1928) 2/3, S. 3–7, hier S. 3.

24 László Moholy-Nagy: *von material zu architektur*. Faksimile der 1929 erschienenen Erstausgabe (Neue Bauhausbücher, hg. v. Hans M. Wingler), Mainz/Berlin 1968, S. 153.

25 Achim Menges/Steffen Reichert (Hg.): »Reaktive Flächenstruktur«, in: *Archplus* (2008) 188, S. 44 f.

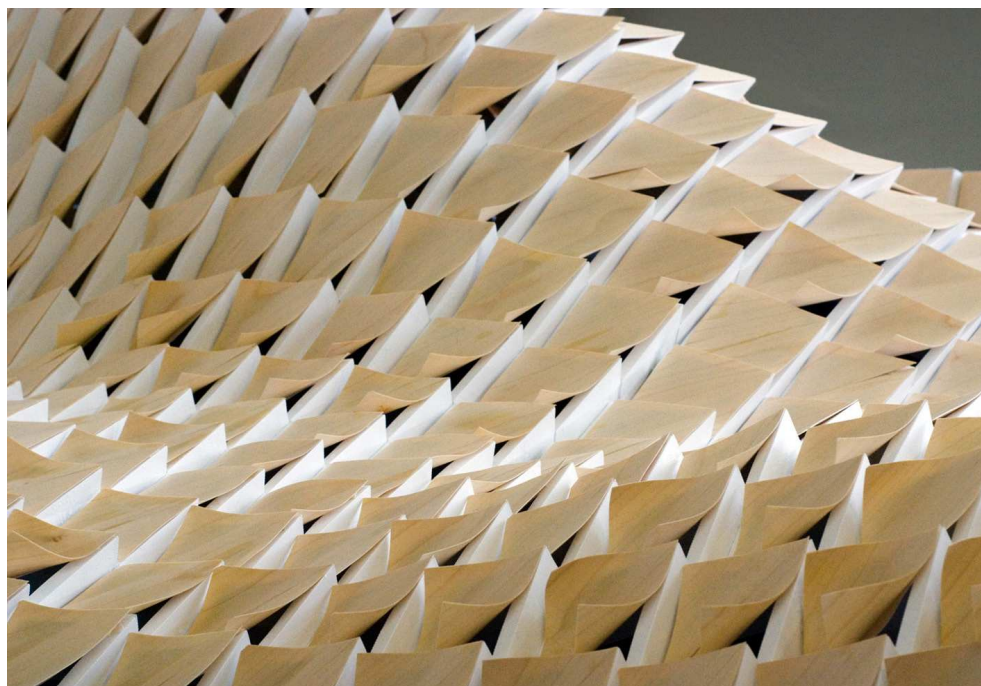


Abb. 8: Achim Menges/Steffen Reichert, Reaktive Flächenstruktur, 2005–07, Fotografie

dann keine Entitäten, die in eine feste und endgültige Form gegossen wurden, sondern Ansammlungen von in Bewegung befindlichen Materialien.<sup>26</sup>

### Natürliche Konstruktionen

Gestaltungsformen, die sich natürlichen Strukturen und Materialien annähern, um sich der in ihnen enthaltenen ›Intelligenz‹ bedienen zu können, wurden bereits in der konstruktivistischen Architektur der 1950er und 60er Jahre intensiv thematisiert. Eine theoretische Grundlage zu Menges' Begriff des Materialsystems bot vor allem das Konzept der »natürlichen Konstruktion« des deutschen Architekten Frei Otto (1925–2015).<sup>27</sup> Otto ging es um eine intelligente, leichte und nachhaltige Form des Bauens, die ihre Gestaltungs- und Konstruktionsformen der Natur entlehnt, um deren Strategien auf bauliche Strukturen übertragen zu können.

Otto hat sich zeit seines Lebens mit gestaltbildenden Prozessen der Natur befasst.<sup>28</sup> Als Architekt hat er zahlreiche Konstruktionen unter Verwendung dieser Prozesse entwickelt und gebaut.<sup>29</sup> Gemeint sind jene gestaltbildenden Prozesse, die unter vorgegebenen Randbedingungen und herrschenden Naturgesetzen zu sichtbaren Formen und Konstruktionen führen. Da sie ohne Zutun des Menschen ablaufen, werden sie auch Selbstbildungsprozesse genannt. Im Mittelpunkt standen für Otto vor allem physikalische Selbstbildungsprozesse. Technische Konstruktionen, bei deren Planung und Herstellung derartige Prozesse von selbst abliefen oder gezielt genutzt werden konnten, wurden von Otto als »natürlich« bezeichnet. Umgekehrt fasste er alle Objekte, auch die der Natur, als Konstruktionen

26 Vgl. Timothy Ingold: »Eine Ökologie der Materialien«, in: Susanne Witzgall/Kerstin Stakemeier (Hg.): *Macht des Materials/Politik der Materialität*, Zürich/Berlin 2014, S. 65–73, hier S. 72 f.

27 Frei Otto: *Natürliche Konstruktionen. Formen und Konstruktionen in Natur und Technik und Prozesse ihrer Entstehung*, Stuttgart 1982.

28 Vgl. Frei Otto: *Gestaltwerdung. Zur Formentstehung in Natur, Technik und Baukunst*, Köln 1988.

29 Vgl. Rainer Barthel: »Naturform – Architekturform«, in: Winfried Nerdinger (Hg.): Frei Otto. *Das Gesamtwerk. Leicht bauen, natürlich gestalten*, Ausst.Kat. (München, Architekturmuseum der TU München, 2005), Basel/Boston/Berlin 2005, S. 16–30, hier S. 17.

auf: »Alle materiellen Objekte sind Konstruktionen.«<sup>30</sup> Alle Objekte haben eine Form, sie sind gefügt aus Molekülen, kleineren und größeren Einheiten, sie alle unterliegen Kräften und Einwirkungen. Daher sind für Otto natürliche und technische Konstruktionen analoge Bildungen.<sup>31</sup> Die Analogiebildung erfolgte stets über das technische Modell. Zur Entwicklung leichter Flächentragwerke aus Seilnetzen und Membranen experimentierte Otto mit sich selbst bildenden Seifenhautmodellen (Abb. 9).<sup>32</sup> Wenn man eine beliebig geformte Drahtschleife in eine Seifenlauge taucht, nimmt die gespannte Seifenhaut ihre statisch optimale Form wie von selbst ein. Ihre Form entsteht als Folge der einwirkenden Kräfte und vorgegebenen Randbedingungen. Ottos Modelle wirkten in zwei Richtungen: Sie dienten nicht nur der Entwicklung technischer Konstruktionen, sondern auch dem Verständnis natürlicher Strukturen. Gemeinsam

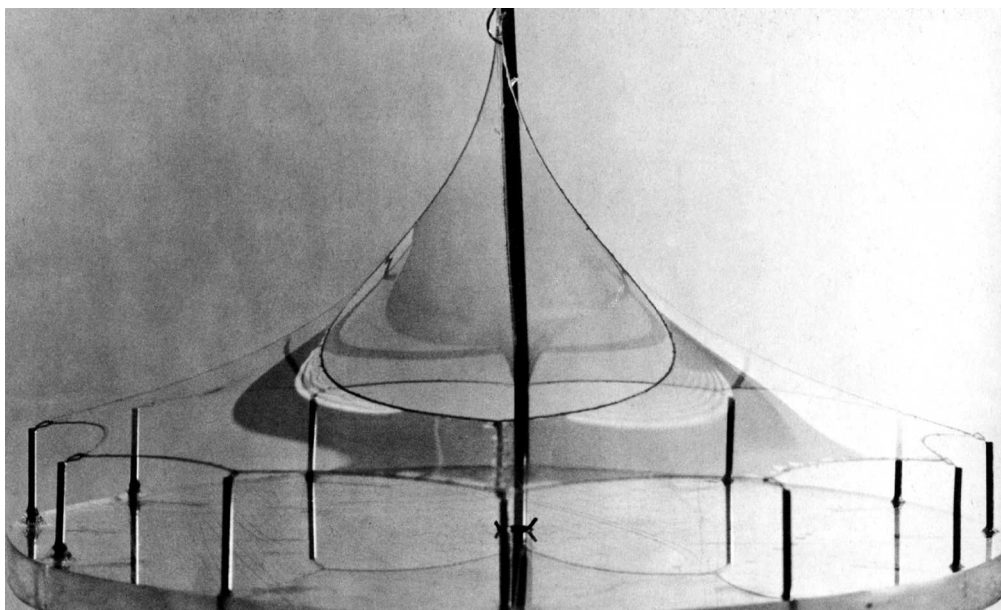


Abb. 9: Frei Otto, Seifenhaut durch Seilschleife unterstützt, 1967, Fotografie

mit dem Biologen Johann-Gerhard Helmcke gründete der Architekt 1961 die Arbeitsgruppe *Biologie und Bauen* an der Technischen Hochschule in Berlin. Über Helmcke lernte er die Formen mikroskopischer Lebewesen und die biologischen Erklärungsversuche ihres Entstehens kennen.<sup>33</sup> In den Panzern von Diatomeen und den Skeletten von Radiolarien erkannten sie gemeinsam die Verwirklichung des Leichtbauprinzips in der Natur und die Bedeutung von Selbstbildungsvorgängen für die Formentstehung.<sup>34</sup> In Modellen vollzogen sie die Selbstbildung der Diatomeen nach – von der Zusammenlagerung kugelförmiger Blasen bis zur Entstehung der gekammerten Schale aus Siliziumdioxid. Zur Modellbildung wurden Luftballons zwischen Platten dicht gepackt und die Zwischenräume mit Gips ausgegossen. Durch Entfernen der Ballons nach Erhärten des Gipses entstanden leichtgewichtige, poröse Gussstrukturen von großer Steifigkeit (Abb. 10). Sie dienten Otto als Grundlage für die Entwicklung organisch anmutender Raumtragwerke mit biegesteifen Knoten, die sich an die stabilen Verbindungen der Diatomeen anlehnten.

30 Frei Otto: »Natürliche Konstruktionen, ein Thema für die Zukunft«, in: Frei Otto/Bodo Rasch: *Gestalt finden. Auf dem Weg zu einer Baukunst des Minimalen*, Ausst.Kat. (München, Villa Stuck, 1992), hg. v. Deutschen Werkbund Bayern, Frei Otto und Bodo Rasch, Stuttgart 1995, S. 15–53, hier S. 15.

31 Ulrich Kull: »Frei Otto und die Biologie«, in: Nerding (Hg.): *Frei Otto* (Anm. 29), S. 45 f.

32 Vgl. Frei Otto (Hg.): IL 25, *Experimente – Form Kraft Masse* 5, Mitteilungen des Instituts für leichte Flächentragwerke der Universität Stuttgart, Stuttgart 1990, S. 2.54–2.60.

33 Vgl. Kull: »Frei Otto« (Anm. 31), S. 45 f.

34 Vgl. Frei Otto (Hg.): IL 28, *Diatomeen I. Schalen in Natur und Technik*, Mitteilungen des Instituts für leichte Flächentragwerke der Universität Stuttgart, Stuttgart 1985.

Entgegen der tradierten Vorstellung, wonach sich ein Modell maßstäblich zu seinem Bezugsgegenstand verhält, erweisen sich die modellhaft nachgebildeten Strukturen von Otto als maßstabslos, oder genauer: Sie sind Eins-zu-eins-Modelle, die sich sowohl auf die Mikroebene des natürlichen Organismus als auch auf die Makroebene der baulichen Konstruktion beziehen. Die visuelle Argumentation der Modelle läuft darauf hinaus, strukturelle Übereinstimmungen von mikroskopischen Naturformen und makroskopischen Kunstformen unmittelbar sichtbar zu machen. So wie das Modell, erfährt auch die Modellierung

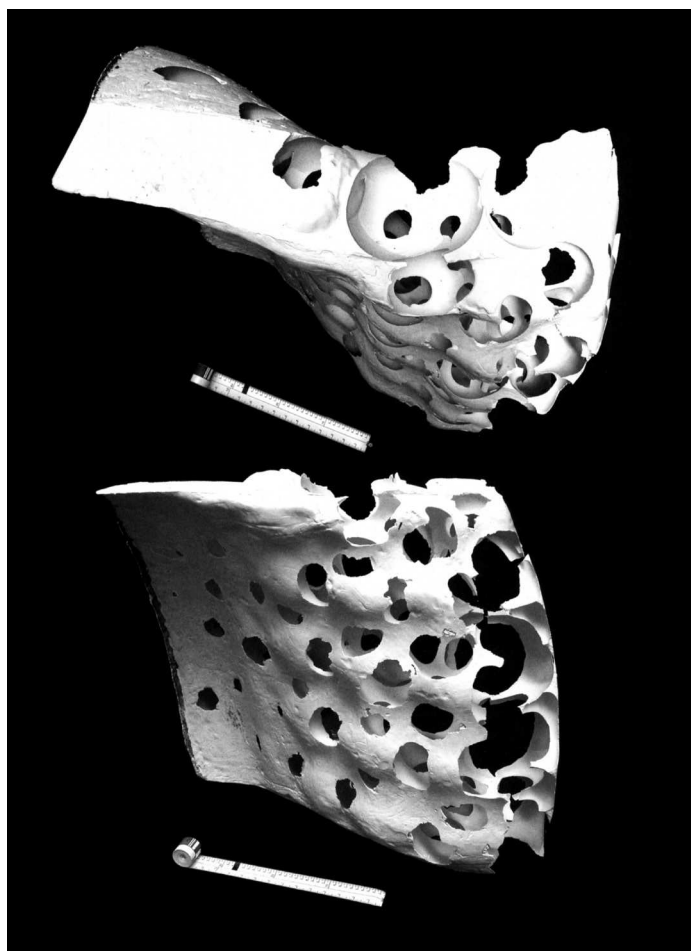


Abb. 10: Michael Hensel/Achim Menges/Gabriel Sanchiz Garin, Poröse Gussstrukturen (nach Modellen von J.-G. Helmcke/Frei Otto), 2005–06, Fotografien

eine Entgrenzung. Es gibt weder Anfang noch Ende des Modellierungsprozesses. Der Akt der Modellierung beginnt nicht mit der Erstellung des ersten technischen Modells und endet auch nicht in dem Moment, in dem ein Bauwerk errichtet wird. Er erstreckt sich vom modellierenden Organismus bis zur modellierten Baukonstruktion und darüber hinaus. Denn die einwirkenden physikalischen Kräfte modellieren die Konstruktion auch nach ihrer Errichtung.

Das tiefe Verständnis einer natürlichen Konstruktion in Biologie und Architektur war für Helmcke und Otto nur möglich, wenn es gelang, ein Modell davon zu erstellen.<sup>35</sup> Ein solches Modell lieferte ihnen die Leichtbautechnik. Das war der Kern dessen, was Otto als den »umgekehrten Weg« bezeichnete: das technische Modell und seine Anfertigung schaffen das Wissen zur Erklärung der biologischen wie der architektonischen Gestalt.<sup>36</sup> Natur und Architektur erscheinen hier nicht als Konstrukte, die universellen Gesetzmäßigkeiten folgen, sondern als Prozesse, die sich mit Hilfe von Modell-

bildungen erklären lassen. Folgt man dieser Überlegung, so lassen sich natürliche wie architektonische Phänomene nur so weit erkennen und verstehen, wie es hierfür Werkzeuge gibt, mit deren Hilfe Modelle entwickelt und berechnet werden können.

Ottos Modelle verweisen auf den Umstand, dass sie in komplexerer Weise in Architektur und Wissenschaft eingebunden sind, als nur deren instrumentelle Vehikel zu sein. Sie bedingen die Formen des Wissens der Architektur und der Naturwissenschaften. Sie bestimmen in grundlegender Weise, was und wie überhaupt wahrgenommen, gedacht und entworfen werden kann. In diesem Sinne diskutierte auch der Planungstheoretiker Horst Rittel das Modell als Werkzeug des Denkens und Handelns. Rittel war zur gleichen Zeit wie Otto an der Universität Stuttgart in der Fakultät für Architektur und Stadtplanung lehrend und forschend tätig. In seinem Aufsatz »On the Planning Crisis: System Analysis of the ›First and

<sup>35</sup> Ebd. S. 45.

<sup>36</sup> Vgl. Stefan Polónyi u. a. (Hg.): *Der umgekehrte Weg. Frei Otto zum 65. Geburtstag* (= arcus, Bd. 10), Köln 1990.



Second Generations« von 1972 konstatierte er, dass Entwurfs- und Planungsmodelle einen sehr hohen Einfluss auf die Art und Ausrichtung der entwerferischen Prozesse haben: »das kausale Modell selbst [bestimmt], was als Konsequenz verfolgt werden kann [...]. Deshalb sollte das Modell Teil des Modells sein, da es beeinflusst, was als Konsequenz herausgefunden werden kann. Mit anderen Worten, ein Modell sollte sich selbst enthalten – und das ist unmöglich.«<sup>37</sup> Einerseits betonte Rittel die grundlegende Einflussnahme des Modells auf den Gegenstand und den Verlauf der Planung, andererseits erkannte er die Unmöglichkeit, Planungsprozesse vollständig zu beherrschen, da das Modell selbst dann über autonome Qualitäten und unkontrollierbare Wirkungen verfügt, wenn man die Folgen des Modells in diesem zu berücksichtigen sucht. Daher propagierte Rittel die Einsicht in die Unmöglichkeit vollständiger Kontrolle über Planungsprozesse. Diese Ambivalenz zwischen Kontrolle und Kontrollaufgabe ließ sich auch bei Ottos Modellen beobachten, die zum einen Denk- und Konstruktionsprozesse prägten, zum anderen unvorhersehbare Wirkungen aus ihrer jeweiligen Materialität und Medialität heraus entfalteten, die Otto produktiv zu nutzen wusste.

### *Der wissenschaftlich-bildnerische Experimentator*

Wenn man Modelle als Akteure im Entwurfsprozess versteht, wie dies von Otto und Rittel nahegelegt wurde, stellt sich die Frage nach der modellierenden Instanz: Welche Rolle spielt der Architekt im Modellierungsprozess, insbesondere dann, wenn sich die Modelle durch Krafteinwirkung selbsttätig bilden und organisieren? Es scheint, als ob der emphatische Modellbegriff aus dem Geist der Wissenschaft und Technik mit der Forderung nach einem neuen Gestalter-Typ verbunden ist. Nicht der Formschöpfer, der nach einem festen Plan aus vorhandenem Material etwas Geformtes modelliert, prägt hier das Bild des Architekten. Vielmehr geht es um einen Modellbildner, der nicht unmittelbar an der Erschaffung der Form beteiligt ist. Von ihm wird verlangt, dass er seine persönlichen Gestaltungsvorlieben unterdrückt und sich in den Dienst der Selbstorganisation formaler Systeme stellt. Der Künstler Robert Preusser, der in den 1960er Jahren am Center for Advanced Visual Studies am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge tätig war, fand für diesen Gestalter-Typ die Bezeichnung des »wissenschaftlich-bildnerischen Experimentators« (»scientific-visual experimentalist«).<sup>38</sup> Ein solches Gestalter-Bild sollte 30 Jahre später in den Selbstbegründungen der Computerarchitekten wieder auftauchen.

Die Modellierungsprozesse lediglich zu »betreuen«, war auch das Anliegen von Frei Otto. Gefragt nach seiner Rolle im Entwurf, bemerkte er, dass er sich eher als »Zuschauer« oder »Geburtshelfer« seiner Objekte denn als »aktiver Konstrukteur« wahrnehme: »Ich versuche, die selbst ablaufenden Prozesse, die die Objekte machen, zu unterstützen. Bei diesem Vorgehen habe ich das Gefühl, »die hast du gar nicht gemacht.«<sup>39</sup> »Der Wille zur betonten Gestaltung«, stellte Otto bereits 1972 fest, »steht im Gegensatz zu der Suche nach der noch unbekanntem, aber den Naturgesetzen unterliegenden Form.«<sup>40</sup> Mit dieser Äußerung zur Negation der gestalterischen Subjektivität, die Voraussetzung von Innovation sei, rekurrierte er auf das Selbstverständnis der Bauhausgestalter. Die Zurückweisung des freien, individuellen Selbstausdrucks und die Betonung der Sachlichkeit waren vor allem Ergebnisse des 1923 einsetzenden Umschwungs des Bauhauses vom Handwerklich-Romantischen zum Konstruktiv-Ingenieurhaften. So schrieb Walter Gro-

37 Horst W.J. Rittel: »Zur Planungskrise: Systemanalyse der »ersten und zweiten Generation« (On the Planning Crisis: Systems Analysis of the »First and Second Generations«), in: Horst W.J. Rittel: *Thinking Design. Transdisziplinäre Konzepte für Planer und Entwerfer*, neu hg. v. Wolf D. Reuter, Wolfgang Jonas, Basel 2013, S. 39–57, hier S. 43.

38 Robert Preusser: »Visual Education for Science and Engineering Students«, in: Gyorgy Kepes (Hg.): *Education of Vision*, New York 1965, S. 208–219, hier S. 219.

39 Frei Otto: »Die Entstehung der Formen. Im Gespräch mit Walter Siegfried«, in: *Du. Die Zeitschrift der Kultur* (1985) 45, S. 104–106, hier S. 106.

40 Frei Otto: »Das Zeltdach. Subjektive Anmerkungen zum Olympiastadion (1972)«, in: Berthold Burkhardt (Hg.): *Frei Otto. Schriften und Reden, 1951–1983*, Braunschweig/Wiesbaden 1984, S. 98–105, hier S. 101.

pius 1925 über die »neue Bau-Gesinnung«: »Ich-Überwindung muß der Gestaltung vorausgehen, damit das Produkt *mehr als persönliche Geltung* gewinnt.«<sup>41</sup> Diesem nietzscheanischen Gedanken folgte auch Otto, dessen Konstruktionen auf die Veranschaulichung des Kraftflusses im Sinne einer überindividuellen Gestaltungssprache abzielten.

Ein ähnliches Konzept der Selbstorganisation, in dem der Architekt zum menschlichen Entwurfsmedium wird, beschworen auch Greg Lynn, Michael Hensel und Achim Menges, und zwar in der Überzeugung, dass die digitalen Formerscheinungen durch ein ebenso plausibles Prinzip wie natürliche Strukturen zu begründen seien. Analog zu Otto beschrieben sie die digitale Form als eine Struktur, die aus den Parametern ihrer Einflussfaktoren resultiert. Der Architekt Patrik Schumacher erklärte daher Otto auch zum »einzigen wahren Vorläufer des Parametrismus«: »Frei Ottos physische Modelle selbstorganisierter Formfindung sind deshalb so überzeugend, weil sie eine Vielzahl von Komponenten [...] in ein simultan organisiertes Kräftefeld integrieren. Jede Veränderung des parametrischen Profils von einem der Elemente [...] führt bei allen anderen Elementen des Systems zu regelhaften Reaktionen.«<sup>42</sup>

### Re-Inthronisierung des Architekten

Auf den ersten Blick scheint es, als ob die traditionelle Rolle des Architekten als Demiurg, als Weltschöpfer und oberste Gestaltungsinstanz in diesen Konzepten architektonischer ›Geburtshelfertätigkeit‹ überwunden sei. In der Tat ist der Architekt in digitalen Arrangements weniger Form- als Prozessschöpfer, wobei sich letztere Rolle als weitaus wirkungsmächtiger erweist als zunächst angenommen. Fast drei Jahrzehnte lang wurde das vermeintliche Verschwinden des Architekten diskutiert, der im Zuge computerbasierter Modellierung die Kontrolle über die Gestaltung der Form verloren hätte. Während die digital experimentierenden Gestalter den ›Tod des Architekten‹ als längst überfälligen Akt der Modernisierung feierten, beschworen die Kritiker ihn als Ausdruck architektonischen Niedergangs.<sup>43</sup> In dem Moment, in dem der Gestalter jedoch zunehmend zum Programmierer seines Entwurfes wurde (und nicht nur zum Anwender von Programmen), kehrte das Bild des Architekten als zentrale Kontrollinstanz in die Debatten zurück. So zeichnete der Theoretiker Mario Carpo in seinem Essay *The Alphabet and the Algorithm* von 2011 ein zukünftiges Szenario, wonach der programmierende Architekt die totale Kontrolle über generische Umgebungen auf allen Maßstabsebenen erlangen würde – »von der Nanotechnologie bis zu globalen Territorien«.<sup>44</sup>

In dieser Perspektive erscheint der Architekt nicht nur als Wissenschaftler, der die Prozesse des ›Lebens‹ an sich selbst erzeugenden Formen studiert, sondern auch als Initiator, Entwerfer und Steuerer dieser Prozesse. In dieser Funktion spielt er eine neue, allmächtige Rolle im Modellierungsprozess, weshalb ›heroische Bescheidenheit‹ oder ›devote Technikgläubigkeit‹ als mögliche Motive für seinen Rückzug als unmittelbarer Formgeber ausscheiden. Seine Absage an die aktive Gestaltung erlaubt ihm vielmehr, einen scheinbar lebendigen, eigenständigen und intelligenten Prozess aus gottähnlicher Schöpferperspektive zu planen, zu steuern und zu kontrollieren. Am Ende bleibt er die ordnende Kraft, nach deren Wirken die Formentwicklung abläuft.

Dieses Bild des Architekten als oberster Lenker intelligenter Prozesse setzte zuletzt ein Forschungsprojekt am »Media Lab« des MIT in Szene. Im Jahr 2013 entstand unter der Leitung der Architektin Neri

41 Walter Gropius: »Die neue Bau-Gesinnung«, in: *Innen-Dekoration* 36 (1925) 4, S. 134–137, hier S. 137.

42 Patrik Schumacher: »Parametrismus. Der neue International Style«, in: *Archplus* (2009) 195, S. 106–113, hier S. 111, Anm. 20, und S. 112.

43 Vgl. Peter Eisenman: »Postfunktionalismus«, in: ders.: *Aura und Exzess. Zur Überwindung der Metaphysik der Architektur*, Wien 1995, S. 35–41, hier S. 39; Jan Pieper: »Baugeschichte und Architekturlehre. Anmerkungen zu einer schwierigen Beziehung«, in: *Bauwelt* (2005) 40/41, S. 12–19, hier S. 18.

44 Mario Carpo: *Alphabet und Algorithmus*, hg. v. Jörg H. Gleiter, Bielefeld 2012, S. 144 (engl. Originalausg.: Cambridge/MA 2011).

Oxman der *Silk-Pavillon* (Abb. 11). Das Projekt ging der Frage nach, wie sich digitale und biologische Fabrikationsmethoden verschränken lassen. Zu diesem Zweck wurden Seidenraupen als natürliche Materialproduzenten im Fertigungsprozess eingesetzt. Zusammen mit Studierenden untersuchte Oxman zunächst die Spinnmuster und die möglichen Einflussnahmen auf die Aktivitäten der Raupe. Als Stützkonstruktion für den kuppelförmigen Pavillon dienten achteckige Aluminiumrahmen, die von einem CNC-Roboter mit einem groben Seidengitter bespannt wurden. Anschließend wurden 6500 Seidenspinnerraupen auf das Gerüst verteilt und mit gezielt eingesetztem Licht und Wärme über die Struktur geleitet, die sie dann mit Seidengarn überspannten.

Vordergründig könnte man annehmen, dass die Raupen den Architekten als Modellbildner nun endgültig ersetzt hätten. Hinter der biointegrierten Materialisierung verbirgt sich jedoch weniger eine Schwächung als eine Stärkung seiner Position. Der Einsatz der Tiere als lebendige 3D-Drucker lässt sich nicht als Indiz für die Suspendierung von Autorschaft verstehen, sondern im Gegenteil als Beweis für die Herrschafts-

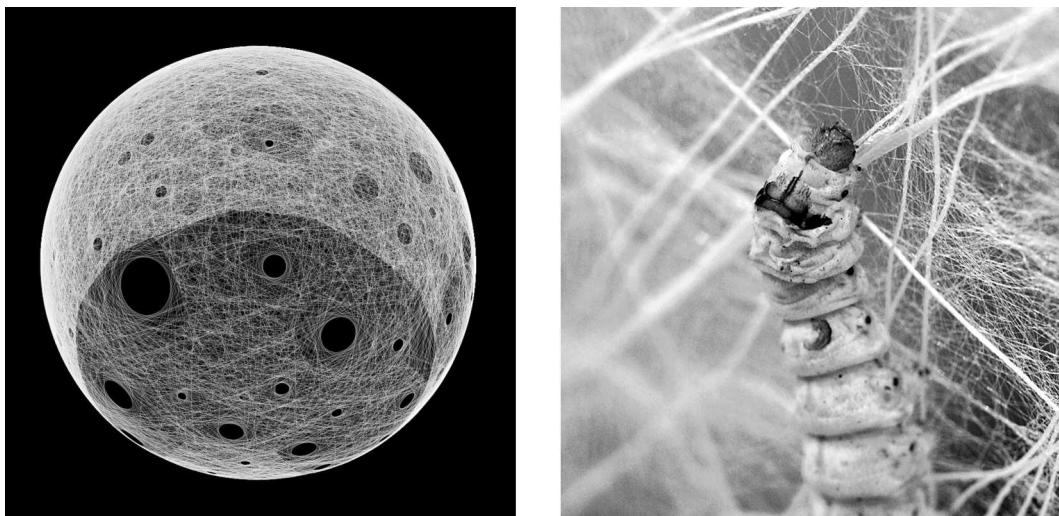


Abb. 11: Neri Oxman, *Silk Pavilion*, Installation im MIT, Media Lab, Cambridge/MA, 2013, Rendering und Fotografie

sicherung des Architekten, die auf die grundsätzliche Beherrschung und Beherrschbarkeit der lebenden Natur setzt. Unter diesem Blickwinkel wird der Architekt als wirksame, modellierende Instanz im computerbasierten Entwurf weniger in Frage gestellt als vielmehr bestätigt. In der Modellierung komplexer lebender und nicht-lebender Systeme und Prozesse scheint jenes Bild des Architekten aufs Neue auf, das ihn als Ikone der Naturbeherrschung und Lenker des Kosmos in Szene setzt.