

Stefana Parascho

Integrative Architekturmodelle

Eine neue Rolle in der digitalen Architektur

In der digitalen Architektur wird das Modell heutzutage gleichzeitig für den Entwurf, die Planung und im Bauprozess verwendet. Insbesondere der Fabrikationsprozess wird durch eine computerbasierte Beschreibung in das Modell integriert und somit – anders als bei traditionellen Entwurfsmethoden – von Anfang an im Entwurfsprozess berücksichtigt.

Der Begriff «Modell» im Zusammenhang mit dem architektonischen Entwurf beinhaltet vielseitige Bedeutungen, die je nach Entwurfsphase stark variieren können. In einem Anfangsstadium benötigt ein Entwurf eher ein konzeptionelles analoges Modell, in der Planungsphase eher digitale Informationsmodelle, wie statische, bauphysikalische oder detaillierte Grundrissmodelle. In der Ausführung braucht es wiederum unterschiedliche Modelle für jede Teilaufgabe, jeder Fachplaner hat sein digitales oder analoges Modell, welches die ihm wichtigen Details des Entwurfs beinhaltet. Um einen bestimmten Stand eines Entwurfs möglichst realistisch wiederzugeben, hat man im traditionellen Architekturentwurf hauptsächlich auf Massstabsmodelle als Repräsentationsmedium zurückgegriffen. Dieser Entwurfsprozess ist hauptsächlich hierarchisch aufgebaut, was bedeutet, dass unterschiedliche Entwurfsdetails nacheinander bearbeitet werden. So wird zum Beispiel oft die globale Form eines Entwurfs zuerst beschrieben, danach die passende Tragstruktur oder die angewandten Materialien und im letzten Schritt die Fertigungsmethoden und Details.

Bei der Einführung von CAD-Technologien¹ wurden erstmals klassische analoge Repräsentationsmethoden angewandt: Handzeichnungen wurden mittels traditioneller Techniken, zum Beispiel durch das Zeichnen von Linien, Schraffuren oder geometrischen Elementen, in digitale Zeichnungen umgewandelt. Die CAD-Repräsentation galt in erster Linie der Vereinfachung des Zeichenprozesses, was eine Automatisierung von manuellen Prozessen bedeutete. Das Gleiche galt für dreidimensionale Modelle, digitale wie analoge: Sie dienten weiterhin zur möglichst genauen Wiedergabe des Entwurfs – neu war die Dreidimensionalität. Der Vorteil digitaler Modelle ist die schiere Unbegrenztheit, Informationen zu speichern; nebst der visuellen Information eines

Entwurfs, wie Proportionen oder räumliche Zusammenhänge, können hier erstmals Angaben zur Ausnutzung, Effizienz oder Performanz festgehalten werden.

Zusammenfassend kann man den Begriff «Modell» als eine Abstraktion des Entwurfs betrachten. Diese Definition umfasst analoge wie auch digitale Modelle, die je nach Aufgabe den Entwurf durch eine Simplifikation eines oder mehrerer Entwurfsparameter wiedergeben.

Das architektonische Modell in der digitalen Architektur

Das digitale Zeitalter in der Architektur begann mit der Suche nach Methoden der Automatisierung und erhöhten Effizienz architektonischer Prozesse, sei es beim Entwurf oder in der Konstruktion. Allerdings beschränkt sich heutzutage die Digitalisierung der Architektur nicht ausschliesslich auf die Automation traditioneller Entwurfs- und Repräsentationsmethoden. Ein Schwerpunkt der Digitalisierung liegt im Erstellen digitaler Modelle, die es ermöglichen, den Entwurfsspielraum möglichst ausführlich zu beschreiben und auszunutzen. Digitale und analoge Modelle dienen nicht mehr nur zur reinen Visualisierung, sie werden aktiv in den Entwurfsprozess integriert, mit dem Ziel, möglichst vielseitige Informationen darin zu integrieren. Dies bedeutet, dass das Modell den Entwurfsprozess leitet und somit die bisherigen Möglichkeiten von architektonischen Modellen weit überschreitet. Analoge Modelle erlauben heute das Durchführen von Materialtests und physikalischen Experimenten, welche die Eigenschaften eines gewählten Materialsystems erforschen und für den Entwerfer und die Entwerferin greifbar machen. Digitale Modelle hingegen werden zum Beschreiben der Interaktionen zwischen den vielen Parametern, die eine Entwurfsaufgabe charakterisieren, einge-

»

Abb. 1 Filippo Brunelleschi, massstäbliches Modell der Kathedrale in Florenz, ca. 1418, Museo dell'Opera del Duomo, Florenz. Foto Antonio Quattrone





Abb. 2 Antoni Gaudí, Hängemodell, das zur Formfindung der Kirche der Colònia Güell gebaut wurde, ca. 1900. Foto z.V.g.

setzt. Sie sollen es den Entwerfenden ermöglichen, die hohe Komplexität einer Entwurfsaufgabe in einem gemeinsamen Prozess zusammenfassen zu können. Das Ziel der Zusammenführung beider Modelltypen ist, die Trennung zwischen formalem Entwurf und physikalischer Realität aufzuheben und möglichst früh so viele funktionelle Parameter wie möglich, zum Beispiel Statik, Konstruktionsprozess oder Materialeigenschaften, in den Entwurfsprozess zu integrieren.

Analoge versus digitale Modelle

Eine grundlegende Veränderung der Methodik liegt in der Zusammenfassung von digitalem und analogem Modell. Die beiden Modelltypen dienen nicht mehr getrennten Zwecken, sondern vereinen das Materielle mit dem Abstrakten in einem übergeordneten Modell. Dies wird dadurch erreicht, dass analoge Modelle hauptsächlich zu

Test- oder Forschungszwecken gebaut werden, um Material, Tragverhalten und Konstruktionstechniken auszutesten und zu beschreiben. Die damit gewonnenen Erkenntnisse werden direkt im digitalen Modell gespeichert und dienen als Input für die Weiterentwicklung des Entwurfs. Neue digitale Entwicklungen werden wiederum in analogen Modellen getestet, die in einem zweiten Schritt ebenfalls das digitale Modell erweitern. Dadurch entsteht ein geschlossener, zirkulärer Entwurfsprozess, der die Trennung zwischen Entwurf und Konstruktion aufhebt und in einem einheitlichen Prozess vereint.

Historisch betrachtet, wurden analoge Modelle zunächst als Mittel zur Visualisierung benutzt, wie etwa von Filippo Brunelleschi für die Kathedralkuppel von Florenz (Abb. 1). Im 19. und 20. Jahrhundert wurden sie erstmals zum Testen von Materialverhalten und zur Formfindung benutzt. Antoni Gaudí nutzte diese zur Formfindung von reinen druckbeanspruchten Konstruktionen, die ein Minimum an Material zur statischen Wirksamkeit benötigen (vgl. Abb. 2). Fast ein Jahrhundert später entwickelte Frei Otto Seifenblasenmodelle als Formfindungsmethode für Minimalflächen², in denen die Spannungen in Zuelementen minimal sind (vgl. Abb. 3). Beide Methoden dienten zur Optimierung des Materialgebrauchs und -verhaltens und führten gleichzeitig zu aussergewöhnlichen und ästhetischen Entwürfen, die heute noch faszinieren.

Digitale Modelle können äusserst vielseitig angewandt werden. Sie sind nicht mehr von der visuellen Repräsentation abhängig und dienen lediglich zur Zusammenführung von Information, welche das architektonische Objekt beschreibt. Digitale Modelle können in unterschiedlichster Form auftreten, von simplen binären Modellen bis hin zu komplexen detaillierten Informationsmodellen, welche Form, Funktion und technische Informationen über ein Objekt beinhalten. So unterscheidet man etwa zwischen geometrischen Modellen, die das architektonische Objekt formell repräsentieren; statische Modelle, die anhand der Geometrie Informationen zum statischen System beinhalten und eine statische Analyse mittels digitaler Programme ermöglichen; weiter gibt es bauphysikalische Modelle, die den Energieverbrauch und die bauphysikalische Leistungsfähigkeit eines Gebäudes darstellen, oder Fabrikationsmodelle, die Informationen zur Fabrikationsmethode beinhalten. All diese Modelle können separat existieren oder in übergeordneten Modellen zusammenkommen, die das Planen eines integrativen Entwurfs stark vereinfachen.

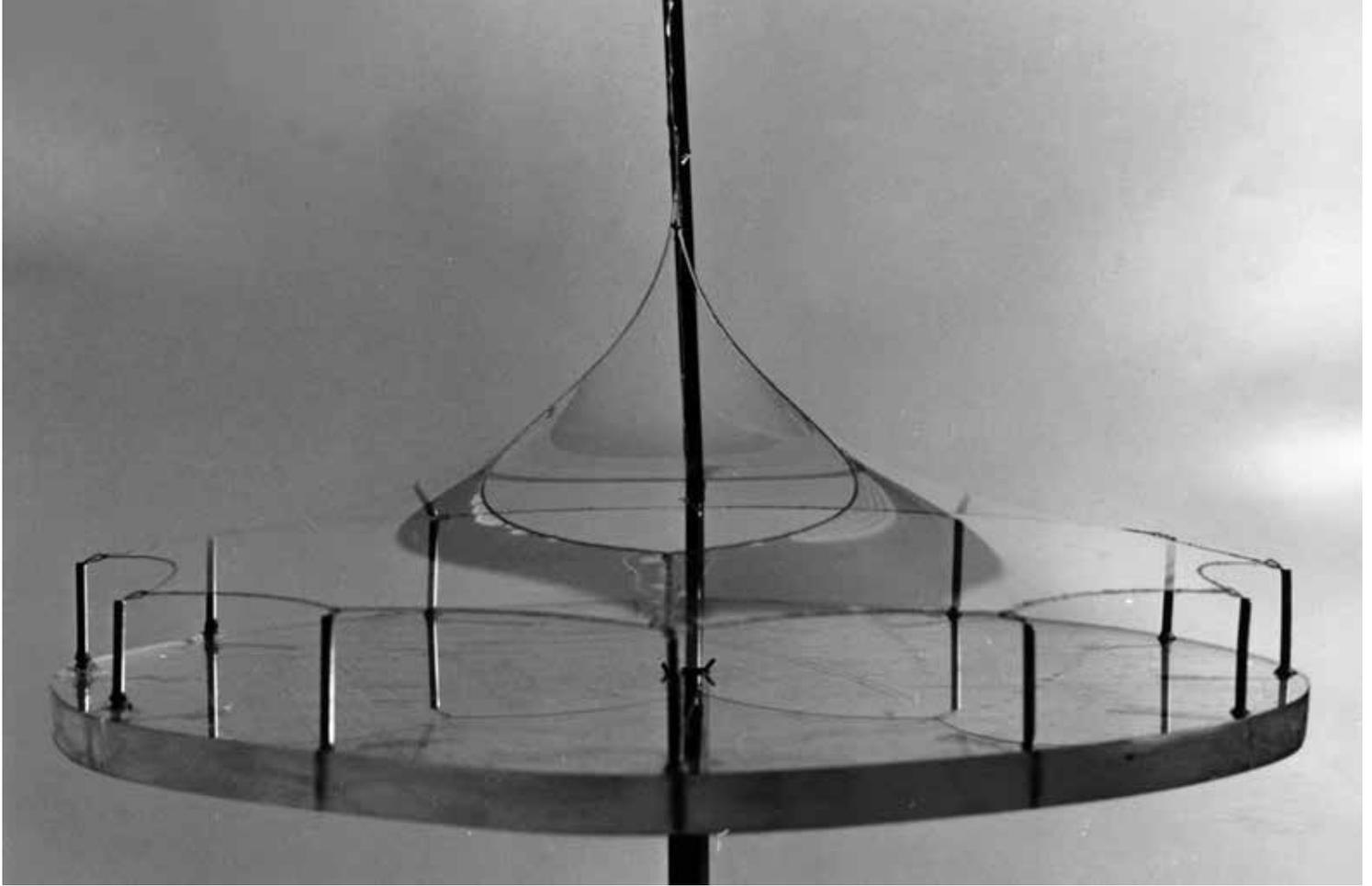


Abb.3 Frei Otto, Seifenblasenmodell zur Formfindung des Deutschen Pavillons Montreal, 1967. Foto Atelier Frei Otto, Warmbronn

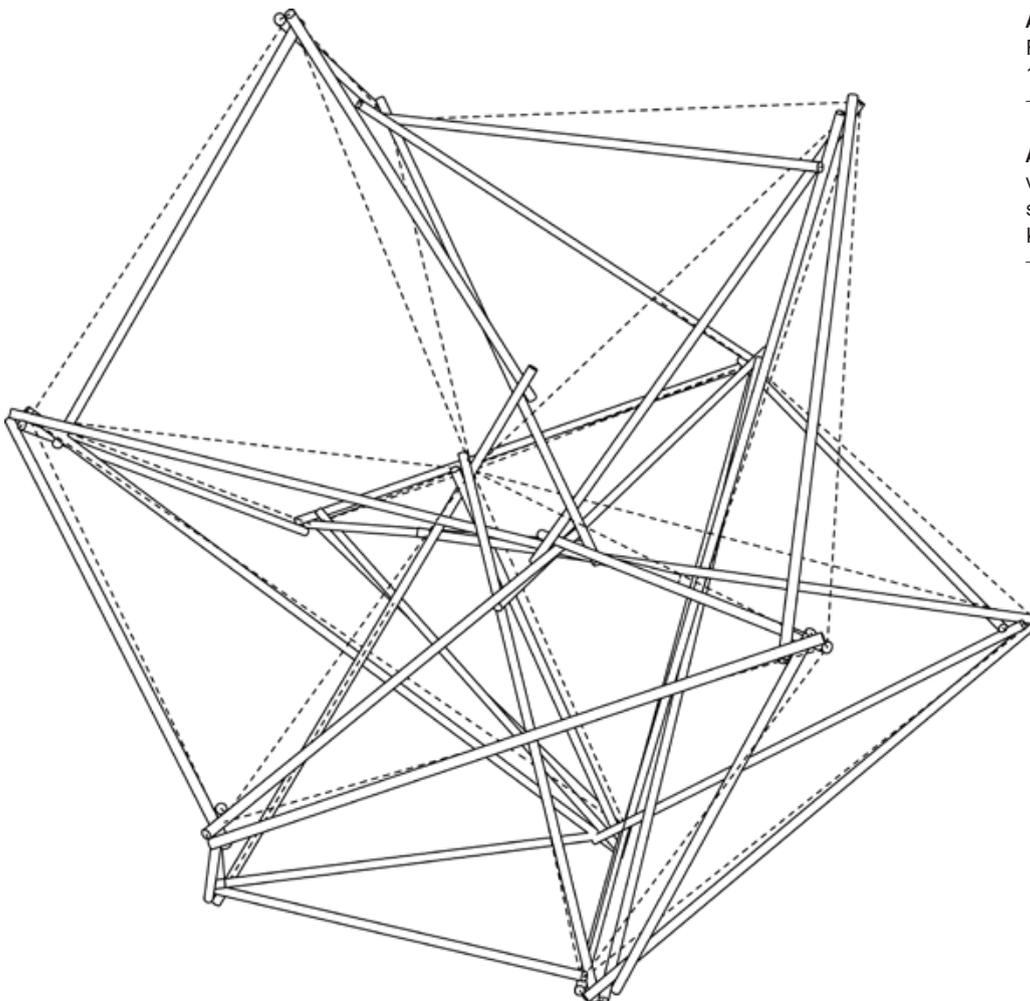


Abb.4 «Entwurf und Robotische Assemblierung von Räumlichen Strukturen», digitale Darstellung der Knotengeometrie. Grafik Gramazio Kohler Research, ETH Zürich, 2018



Abb. 5–7 «Entwurf und Robotische Assemblierung von Räumlichen Strukturen» bei Gramazio Kohler Research, ETH Zürich. Drei Teststrukturen, welche anhand des gleichen digitalen Modells, nur durch das Ändern der Entwurfsparameter, generiert und gebaut wurden. Foto Gramazio Kohler Research, ETH Zürich, 2018

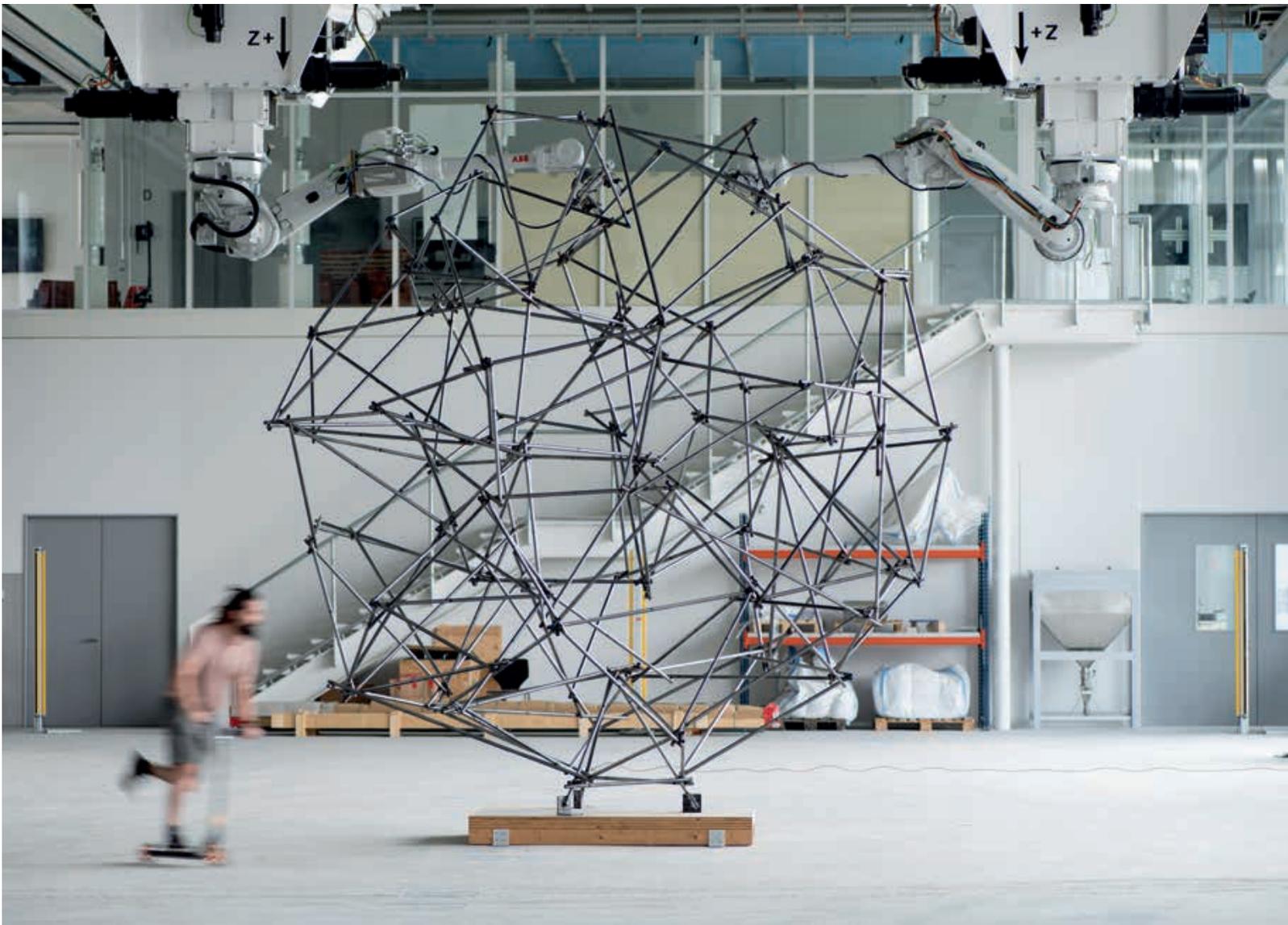
Integrative Modelle

Die digitale Architektur hat sich weitgehend mit der Entwicklung integrativer Modelle beschäftigt, mit dem Ziel, möglichst viele Informationen in ein gemeinsames Modell zu integrieren und die Architekturplanung von A bis Z zusammenzubringen. Integrative Modelle beziehen sich nicht auf isolierte Teilaspekte des Entwurfs, sondern versuchen die Parameter, Einschränkungen, Rahmenbedingungen und den Lösungsraum³ zu definieren. In den meisten Fällen greifen integrative Modelle auf eine computerbasierte Beschreibung der Entwurfsmöglichkeiten zurück, anstatt die räumlichen bzw. geometrischen Eigenschaften des Objekts wiederzugeben. Trotzdem können auch analoge Modelle eine computerbasierte Betrachtung mit sich bringen. Gaudís und Ottos Formfindungsmodelle weisen die gleiche Dynamik und Anpassungsfähigkeit auf wie komplexe digitale Modelle von heute. Ein Modell soll möglichst viele Änderungen in einem Entwurfsprozess aufnehmen und verarbeiten können, ohne es jedes Mal neu formulieren zu müssen. Ein solches Modell kann parametrisch definiert sein, indem die Verlinkungen zwischen unterschiedlichen Parametern modelliert sind⁴. So zum Beispiel wird die Geometrie des zentralen Knotens

in Abbildung 4 automatisch erzeugt, je nachdem wo die Eckpunkte der Struktur im Raum definiert sind, was bedeutet, dass die Interaktionen zwischen Position der Punkte und Position der Stäbe im Modell impliziert sind. In anderen Umständen kann das Modell noch abstrakter sein und den Lösungsraum einer Entwurfsaufgabe beschreiben. Ein einfaches Beispiel ist durch eine mathematische Funktion darstellbar. Die Funktion beschreibt alle möglichen Lösungen für einen Parameter. Der Vorteil einer solchen Repräsentation liegt in der schnellen Berechnung von Lösungen. Eine andere Art von digitalem Modell wird durch generative Modelle beschrieben. In diesem Fall beschreibt das Modell nicht nur die Zusammenhänge zwischen den Entwurfsparametern, es nutzt zusätzlich diese Informationen aus, um den Entwurf automatisch zu verändern und Entwürfe zu erzeugen.

Integrative Modelle und Fabrikation

Die Fabrikations- und die Konstruktionsmethode wird heute bereits im Entwurfsstadium von Architektur immer wichtiger. Mit der Einführung von digitalen Fertigungsmethoden, wie zum Beispiel CAM-Technologien⁵ und Robotischen Ferti-



gungstechniken, wurde auch der geometrische Lösungsraum für den architektonischen Entwurf stark erweitert.⁶ Digitale Fabrikationsmethoden erlauben den Zusammenbau von hochkomplexen Geometrien mit individuellen Bauteilen, die präzise im Raum zusammengefügt oder verarbeitet werden. Trotzdem sind die Möglichkeiten solcher Fertigungsmethoden nicht unendlich. Jede einzelne Methode hat ihre spezifischen Grenzen und Bedingungen, welche im Entwurfsprozess berücksichtigt werden müssen. Das Ergebnis verlangt eine direkte Kopplung von physikalischer und digitaler Welt, welche in integrativen Modellen gegeben ist. Dies bedeutet, dass neue, komplexe Fabrikationsmethoden nur durch analoge Prototypen erforscht werden können, so dass sie in das digitale Modell integriert werden können. Der Kreislauf digitales Modell – analoger Prototyp – digitales Modell ist nun zu einer Notwendigkeit geworden und erlaubt das Ausnutzen der Freiräume, die durch neue Fabrikationsmethoden ermöglicht werden. Anhand des Projektes am Department für Architektur der ETH Zürich (Gramazio Kohler Research) «Entwurf und Robotische Assemblierung von Räumlichen Strukturen»⁷ wird dieser Zusammenhang wie folgt dargestellt: Mehrere Roboter fügen gemeinsam geometrisch differenzierte Strukturen aus Stahlstäben zusammen. Diese werden mit computergesteuerten Hilfsmitteln entworfen und gebaut. In jedem Prototyp werden unterschiedliche Parameter bezüglich der Baubarkeit getestet, zum Beispiel die Reihenfolge der Positionierung der Stäbe, die geometrische Zusammenbaulogik, die Verbindungsmethode, die Bewegung der Roboter und die Stabilität der Struktur. Die Erkenntnisse flossen direkt in das algorithmische Entwurfswerkzeug, welches nach und nach angepasst wurde, um am Ende dem Entwerfer oder der Entwerferin zu ermöglichen, Strukturen zu planen, die nicht nur statisch und geometrisch funktionieren, sondern mit Hilfe einer robotischen Anlage kollisionsfrei zusammengebaut werden können. Das grundlegende digitale Modell beschreibt dabei die Zusammenhänge dieser Parameter und nicht einen Zwischen- oder Endzustand des Entwurfs. Das Ergebnis ist ein einziges Modell, das unendlich viele Strukturen generieren kann, ohne dabei die grundlegende Struktur des Modells ändern zu müssen. Anhand der Datenstruktur war es zudem möglich, aus dem Basismodell unterschiedliche Modelle zu generieren, wie zum Beispiel ein geometrisches Modell zur Visualisierung, ein statisches Modell zur

Tragwerksanalyse und ein Fabrikationsmodell, welches die robotischen Parameter beinhaltet.

Fazit

Die digitale Architektur hat sich zum Ziel gesetzt, den architektonischen Entwurf integrierter als bisher zu gestalten, das heisst, die Trennung zwischen Entwurf, Planung und den dazugehörigen Modellen aufzuheben und einen kontinuierlichen Prozess von der ersten Entwurfsidee bis hin zum gebauten Objekt zu erreichen. Dazu gehört das Abschaffen des klassischen Entwurfsprozesses, in dem der formale Entwurf an erster und die Fabrikation an letzter Stelle steht. Das Ganze beruht auf der Überzeugung, dass vor allem durch neuartige digitale Fertigungsmethoden der Spielraum für das Entwerfen um ein Vielfaches erweitert wird und das Ausnutzen dieses Spielraums nur durch adäquate, integrative digitale Modelle ermöglicht wird. Fabrikation ist nicht mehr nur ein Nachbearbeitungsschritt, der nach dem Entwurfsprozess eingesetzt werden muss, sondern integraler Bestandteil des Entwurfs und ermöglicht es Architekten, die neuen Technologien als Entwurfshilfsmittel einzusetzen, anstatt diese wegen ihrer Komplexität zu umgehen. ●

Anmerkungen

1 Computer-Aided Design beschreibt Methoden zur digitalen Darstellung eines Entwurfs durch die Anwendung dafür entwickelter Software (Yehuda E. Kalay. *Architecture's New Media: Principles, Theories, and Methods of Computer-Aided Design*. Cambridge, Mass. 2004).

2 Minimalflächen beschreiben Flächen, die lokal einen möglichst kleinen Flächeninhalt haben. Dadurch haben sie überall die gleiche Oberflächenspannung, wie man sie etwa in Seifenblasen erkennen kann (Klaus Bach, Berthold Burkhardt, Frei Otto. *IL 18, Seifenblasen*. Stuttgart 1988).

3 Lösungsraum bezieht sich hier und im Verlauf des gesamten Textes auf die Gesamtheit aller möglichen Entwurfsergebnisse, die die gegebenen Parameter, Einschränkungen und Rahmenbedingungen erfüllen. Durch eine mathematische Beschreibung eines solchen Lösungsraumes ist es möglich, diesen weitgehend zu erkunden.

4 Patrik Schumacher definiert den Begriff «Parametricism» als eine computergenerierte, regelbasierte Entwurfsmethode, die neue architektonische Ausdrücke durch komplexe Formen erzeugen kann (Patrik Schumacher. *The Autopoiesis of Architecture*. Chichester 2011).

5 Computer-Aided Manufacturing beschreibt Methoden zur computerbasierten Fabrikation mittels spezifischer Software, z. B. CNC-Fräsen und Laserschneiden

(Sotiris Makris, Dimitris Mourtzis, George Chryssolouris. «Computer-Aided Manufacturing». In: *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*. Berlin 2014).

6 Gramazio Kohler Research gründeten 2005 das erste robotische Labor für Forschung in der Architektur an der ETH Zürich und eröffneten dadurch Möglichkeiten für computergesteuerte, robotische Assemblierung von komplexen Geometrien. In einem ihrer ersten Projekte, «Die Programmierte Wand», wurden Backsteine von einem Roboterarm individuell abgelegt, so dass jeder Stein eine andere Position und Orientierung hat. <http://gramaziokohler.arch.ethz.ch/web/d/lehre/81.html>.

7 Das Projekt «Entwurf und Robotische Assemblierung von Räumlichen Strukturen» entstand im Rahmen der Doktorarbeit der Autorin am Institut für Architektur und Digitale Fabrikation, Gramazio Kohler Research ETH Zurich. Es erforscht Methoden zur robotischen Assemblierung von komplexen räumlichen Stabstrukturen mit nichtstandardisierten Elementen und Knoten. Ein Schwerpunkt lag in der Beschreibung eines integrierten Modells, welches Fabrikation, Statik und Geometrie zusammenbringt und so baubare Strukturen generiert. <http://gramaziokohler.arch.ethz.ch/web/forschung/d/0/0/0/285.html>.

Zur Autorin

Stefana Parascho ist Architektin und Doktorandin an der ETH Zürich, Gramazio Kohler Research. In ihrer Forschung untersucht sie die Möglichkeiten von robotischen Fabrikationsprozessen und Methoden zur Integration solcher Prozesse in digitalen Entwurfswerkzeugen. Kontakt: parascho@arch.ethz.ch

Résumé

Maquettes d'architecture intégratives – le rôle des maquettes en architecture numérique

L'importance des maquettes pour les projets d'architecture a considérablement changé avec le développement de la numérisation. Alors que les anciennes maquettes devaient essentiellement fournir une représentation visuelle en trois dimensions d'un projet, elles servent aujourd'hui à décrire et à intégrer le plus possible de paramètres, ce qui permet de contrôler des corrélations complexes. Une application directe de tels modèles intégratifs est utilisée dans la fabrication numérisée, où des méthodes

complexes peuvent être décrites et paramétrées, selon lesquelles sont élaborées des maquettes répondant aux critères prédéfinis. Le projet «Esquisse et assemblage robotique de structures dans l'espace», développé à l'École polytechnique de Zurich par Gramazio Kohler Research en est un exemple. Grâce aux processus d'esquisse et de fabrication gérés sur ordinateur, des structures complexes de tiges ont pu être dessinées, visualisées et construites par deux robots.

Riassunto

Modelli di architettura integrativi – il ruolo del modello nell'architettura digitale

Con lo sviluppo dell'architettura digitale, il significato del modello nella progettazione architettonica è profondamente cambiato. Se in passato i plastici venivano utilizzati principalmente per rappresentare un progetto in termini visuali e spaziali, oggi i modelli servono a descrivere e a integrare il maggior numero possibile di parametri progettuali, consentendo così di inserire nel progetto, in modo controllato, delle relazioni complesse. Questi modelli integrativi trovano un'applicazione diretta nella fabbricazione digitale, dove rendono possibile la descrizione di complicati metodi di fabbricazione attraverso i loro parametri, permettendo così di creare dei progetti che soddisfino appieno tali parametri. Ne è un esempio il progetto «Entwurf und Robotische Assemblierung von Räumlichen Strukturen» (Progettazione e assemblaggio robotico di strutture spaziali), sviluppato presso il Politecnico di Zurigo da Gramazio Kohler Research. Grazie ai processi di progettazione e di fabbricazione telematica, è stato possibile progettare, visualizzare e assemblare, mediante due robot, delle complesse strutture di aste.