

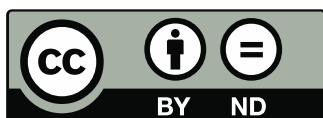
Schriftenreihe des DFG-Graduiertenkollegs „Das Wissen der Künste“  
herausgegeben von Barbara Gronau und Kathrin Peters

## **Das Wissen der Arbeit und das Wissen der Künste**

Herausgeberinnen: Marina Gerber, Daniela Fugellie

Paderborn: Wilhelm Fink, 2017

Gestaltung: Jenny Baese



Der Text dieser Publikation ist unter einer Creative Commons Lizenz vom Typ Namensnennung – Keine Bearbeitung 4.0 International zugänglich. Um eine Kopie dieser Lizenz einzusehen, konsultieren Sie <http://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/> oder wenden Sie sich brieflich an Creative Commons, Postfach 1866, Mountain View, California, 94042, USA. Fotos und Abbildungen mit anderen Nachweisen sind ausgenommen.

# INHALT

BARBARA GRONAU/KATHRIN PETERS Vorwort zur Schriftenreihe .....	7
MARINA GERBER Einleitung .....	9
TATJANA BERGIUS Tatort Tagung: Zeichnungen von der Tagung „... macht aber viel Arbeit. Kunst – Wissen – Arbeit“ .....	17
EPISTEMOLOGIE UND <i>GENERAL INTELLECT</i> DER KÜNSTE	
STEWART MARTIN Sohn-Rethel's Critique of Epistemology and Art .....	29
JENS SCHRÖTER Die Kunst und der Konflikt zwischen Wissen und Arbeit .....	49
HANS-GEORG BAUER Handwerk Maschinenwerk .....	63
ARBEIT UND KÜNSTLERISCHES WISSEN	
MARINA GERBER Kunst nach der Arbeit: Die Kollektiven Aktionen und die ‚leere Handlung‘ .....	77
SERGEY LETOV Scientific Work and Free Jazz in the Late Soviet Era: An Auto-Biographical Reflection .....	97
VADIM ZAKHAROV Book Designer, Publisher, Archivist, Collector: The Formation of My Artistic Practice .....	111

TATJANA BERGIUS / JENS MEINRENKEN / NINA WIEDEMEYER		
Tatort Tagung: Ein Gespräch über Tatortvermessung, Phantombilder, Kunst und die Dokumentation der Tagung „... macht aber viel Arbeit. Kunst – Wissen – Arbeit“ .....	123	
MUSIK ALS BERUF		
SARAH ZALFEN		
Prekär, professionell, pluralistisch. Ein Blick auf den musikalischen Arbeitsmarkt .....	137	
MATTHIAS PASDZIERNY		
Der Techno-Club als spirituelles Zentrum der <i>creative class</i> : Das Berliner Holzmarkt-Projekt .....	149	
DANIELA FUGELLIE		
„Musik als Beruf“ bei einem Konzert am 30. Oktober 1944 in Buenos Aires und am 10. Oktober 2014 in Berlin .....	161	
WIEDERAUFFÜHRUNG DES PROGRAMMS NR. 42 DER NUEVA MÚSICA VOM 30. OKTOBER 1944 IN BUENOS AIRES MIT DEM ENSEMBLE IBEROAMERICANO .....		171
AUTORINNENVERZEICHNIS .....	179	

EPISTEMOLOGIE UND  
*GENERAL INTELLECT* DER KÜNSTE

HANS-GEORG BAUER

## HANDWERK MASCHINENWERK

Eine Verbindung von Kunst und Arbeit lässt sich nicht selten im Handwerk und dort besonders anschaulich erkennen. Im Gegensatz zu industriellen Produktionsprozessen vermag das Handwerk mit kreativen Lösungen und geschickter Anwendung seiner Techniken auf oftmals individuelle Randbedingungen zu reagieren. Auch in der Architektur geht es, trotz aller Versuche, serielle und automatisierte Fertigungen zu etablieren, zumeist um spezifische Einzelobjekte, deren bauliche Umsetzung bislang weitgehend in Abhängigkeit von handwerklichen Prinzipien steht. Nach Richard Sennett ist dabei eines der Kennzeichen des Handwerks eine wohldurchdachte Herangehensweise an eine Aufgabe und die kluge Auswahl des richtigen Werkzeugs, um mit minimalem Aufwand ein möglichst gutes Ergebnis zu erzielen.<sup>1</sup> Die zunehmende Rolle digitaler Werkzeuge und Methoden in der architektonischen Planung und Fertigung führt hierbei zu einer Reihe neuer Fragestellungen über das Verhältnis digitaler Planungsprozesse und handwerklicher Techniken. Wie verändert das Digitale die Strukturen und Techniken des Handwerks und wie lässt sich ein eigener Begriff des Handwerks im Digitalen denken? Welche Rolle spielt der Computer als Werkzeug des Entwerfens in der architektonischen Planung? Und kann eine bestimmte Arbeitsweise mit dem Computer durch handwerkliche Eigenschaften charakterisiert werden?

Zunächst sollen zwei unterschiedliche Ansätze der Integration des Computers in architektonisches Schaffen differenziert werden. Nach der Darstellung von Schwierigkeiten im Erlernen neuer Techniken werden grundlegende Methoden der Modellierung im *computational design* vorgestellt sowie die in diesem Zusammenhang wichtigen Konzepte des parametrischen Entwerfens und der Nutzung von Simulationen im Entwurfsprozess. In einer kurzen Zusammenfassung wird schließlich ein Entwurfsansatz erläutert, der durch die Kopplung dieser Methoden eine stärkere Integration thermischer Aspekte in die frühe Phase des architektonischen Entwurfs ermöglicht.

Der Einsatz von Computern beeinflusst sowohl die Wahrnehmung als auch die Planung und Konstruktion von Raum, architektonischer Form und Struktur auf grundlegende Weise. Konzepte und Denkweisen aus Bereichen wie Systemtheorie und Kybernetik und deren wissenschaftliche Grundlagen in Mathematik und Informatik finden ihren Weg in die Architektur und spiegeln sich in zeitgenössischer Architekturproduktion durch zwei Erscheinungen. Einerseits zeigen sie sich in einer neuen gestalterischen Freiheit und formalen Auseinan-

---

<sup>1</sup> Vgl. Sennett, Richard: *The Craftsman*, Yale 2008.

dersetzung mit den Möglichkeiten des Computers losgelöst von materialbedingten Zwängen und konstruktiven Grenzen; andererseits in einer Überforderung mit den spezifischen Techniken und Konzepten digitaler Formfindungsmethoden, computergestützten Herstellungsverfahren und einer integralen Nutzung von Modellen für Simulation, Planung und Fertigung. Selten gab es eine solche Vielzahl an tiefgreifenden Neuerungen in allen Bereichen des Entwerfens, Planens und Bauens wie in den letzten Jahrzehnten. Viele technologische Veränderungen wurden und werden aus anderen Industriezweigen transferiert, sodass die Architektur noch immer in einer Findungsphase ist. Die Schwierigkeit, mit dem Potential neuer Technologien umzugehen, liegt auch in der Notwendigkeit, bestehende Konventionen und Sichtweisen aufgrund neuer Entwicklungen zu überdenken und zu hinterfragen. In der Baugeschichte gibt es zahlreiche vergleichbare Beispiele, wie das gestalterische Denken und Handeln bei technologischem Fortschritt zunächst zögert und erst nach mehreren Projektgenerationen das Potential der Neuerung zu erkennen und integrieren vermag. Bei ersten Einsätzen von neuen Werkstoffen wurden beispielsweise oftmals die aus einer anderen Werkstofflogik entwickelten und bewährten Fügungen und Detaillierungen weiterverwendet, bis sich ein eigener materialspezifischer Umgang etablieren konnte.

Um einen rechnergerechten Ansatz in der Architektur zu diskutieren, bedarf es einer Untersuchung der unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten des Rechners im Entwurf. Kostas Terzidis schreibt dazu:

The dominant mode of utilizing computers in architecture today is that of computerization; entities or processes that are already conceptualized in the designer's mind are entered, manipulated, or stored on a computer system. In contrast computation or computing, as a computer based design tool is generally limited. The problem with this situation is that designers do not take advantage of the computational power of the computer.<sup>2</sup>

Für ein Verständnis der grundlegend unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten von Computern in der architektonischen Planung ist die Unterscheidung zwischen *computation*, also computerbasierter, und *computerization*, also computergestützter Planung, von Bedeutung. Während computergestützte Verfahren, wie im *computer-aided design* (CAD) verwendet, Methoden bereitstellen, um Informationsmengen zu verwalten und bestehende Informationen zu verknüpfen, werden in computerbasierten Verfahren hingegen neue Ergebnisse aus bestehenden Informationen generiert. Im CAD wird die anfangs eingegebene Information verwaltet, im *computational design* dagegen erhöht sich die Menge und Spezifität der Information durch ausgeführte Berechnungsschritte.<sup>3</sup> Der CAD-Ansatz wird für die Planung von Objekten seit den 1960er-Jahren von einer

<sup>2</sup> Terzidis, Kostas: *Algorithmic Architecture*, Oxford 2003, S. 58.

<sup>3</sup> Vgl. Terzidis, Kostas: *Expressive Form. A Conceptual Approach to Computational Design*, London 2003.

Fülle von Anwendungen unterstützt. Obwohl CAD primär, als digitaler Ersatz der manuellen technischen Zeichnung entwickelt wurde, besteht die mithilfe des CAD erbrachte Arbeit im architektonischen Entwurf hauptsächlich aus Informationen zu Komposition und Dimensionierung. CAD wird heute in unterschiedlichsten Disziplinen mit spezifischen Anwendungen, vom Automobil über Flugzeugbau, Maschinenbau und Architektur, umfassend eingesetzt. Die Arbeitsweise in Architekturbüros gleicht dabei meist einer automatisierten Erweiterung traditioneller Prozesse der Formbeschreibung und Herstellung aus der Zeit vor der Einführung des CAD. Im Gegensatz dazu werden im *computational design* aus anfänglich abstrahierten codierten Werten und Berechnungsschritten neue Informationen gewonnen. Die Fähigkeit des Computers kann genutzt werden, um mittels Iteration zu einer Vielzahl von Lösungen zu gelangen, die als Varianten eines Lösungsraums definiert werden.<sup>4</sup> Was manuell viele Tage oder Wochen in Anspruch nehmen würde, kann innerhalb kürzester Zeit und unter Bezugnahme auf festgelegte Bewertungskriterien generiert werden.

Eine wesentliche Eigenschaft des computerbasierten Ansatzes liegt in der algorithmischen Informationsverarbeitung. Ein Algorithmus ist hierbei eine eindeutige Handlungsvorschrift zur Lösung eines Problems oder einer Klasse von Problemen. Algorithmen bestehen aus vielen, eindeutig beschriebenen und ausführbaren Einzelschritten, die eine bestimmte Eingabe in eine bestimmte Ausgabe überführen. Somit sind sie mithilfe einer formalen Sprache zur Implementierung in ein Computerprogramm geeignet und können vom Computer ausgeführt werden. Genauso können sie aber auch in menschlicher Sprache formuliert werden, weswegen als *computational design* hier nicht allein das auf digitalisierten, rechnergestützten Verfahren beruhende Entwerfen verstanden wird, sondern allgemeiner die Anwendung regelbasierter Prozesse für eine gestalterische Aufgabe. So können Verfahren der *material computation* verwendet werden, denen kein mathematisches Modell zugrunde liegt, stattdessen verarbeitet ein Material oder Materialsystem die Information und gibt sie weiter, beispielsweise in Selbstbildungsprozessen von Aggregaten unter definierten externen Einflüssen.<sup>5</sup> *Computational design* beschreibt also eine bestimmte Art der Informationsverarbeitung und Interaktion zwischen Elementen in einer festgelegten Umgebung. Dem/der EntwerferIn dient hierbei ein Rahmenwerk, innerhalb dessen durch Vermittlung und Steuerung von Information die Generierung komplexer Ordnung, Form und Struktur ermöglicht wird. Während Prozesse des CAD bereits mit spezifischen Informationen einer Objektdefinition beginnen, nutzen Prozesse des *computational design* elementare Objekteigenschaften, Objektbeziehungen und generative Regeln, um Ergebnisse aus einem dynamischen System zu gewinnen. Grundlegend dabei ist eine Abteilerung des Verhaltens eines Systems aus den Parametern des definierten Modells.

---

4 Vgl. Coates, Paul: *Programming Architecture*, Abington, New York 2010.

5 Vgl. Hensel, Michael / Menges, Achim (Hg): *Morpho-Ecologies. Towards Heterogeneous Space in Architectural Design*, London 2006.

## Digitales Handwerk im *computational design*

Um eine mögliche Ausprägung des digitalen Handwerks im *computational design* zu untersuchen, lohnt es sich, die anfangs zitierte Kennzeichnung des Handwerks als eine wohldurchdachte Herangehensweise und kluge Werkzeugwahl zur Optimierung von Arbeitseinsatz und Ergebnis als Ausgangspunkt zu nehmen. Solch effektive Sparsamkeit entspringt sowohl der Erfahrung der HandwerkerInnen als auch dem Verständnis des Werts ihrer Arbeit an sich und dem Wissen über das Werkzeug, das ihnen bei der Umsetzung hilft. Gutes Handwerk verlangt bewusste Entscheidungen bei der Werkzeugwahl sowie bei der Strategie der Ausführung. Beim Umgang mit Computern im architektonischen Entwurf fehlt vielen planenden ArchitektInnen diese Sensibilität. Eine Kunstfertigkeit im Umgang mit computerbasierten Prozessen ist oft nur in spezialisierten Teams größerer Büros zu finden. Die Vorstellung eines allgemeinen digitalen Handwerks im architektonischen Entwurf ist noch wenig verbreitet. Der Punkt, an dem die Fertigkeit einer eleganten prozeduralen Logik in einem parametrischen Modell erkannt und im gleichen Maße wie die Kunstfertigkeit in der Herstellung eines physischen Objekts anerkannt wird, ist noch lange nicht erreicht. Um digitales Handwerk im *computational design* zu etablieren, ist ein grundlegendes Verständnis der Prinzipien von computerbasierten Prozessen notwendig. In Anbetracht der Dauer, die ein/e ArchitektIn durchschnittlich am Computer verbringt, ist diese Art der Computernutzung in der Planung verwunderlich. Forschung über Mensch-Computer-Interaktion durch Bürosoftware zeigt jedoch, dass eine längere Nutzung von Software bei den meisten NutzerInnen zwar zu effizienterer Arbeit, aber kaum zur Infragestellung der bisherigen Arbeitsweise führt. So verbessert sich die Arbeitseffizienz beispielsweise durch schnellere Kommandoauswahl und höhere Anschlaggeschwindigkeit, aber nur selten verbessert sich die Effektivität durch eine grundlegende Auseinandersetzung mit fortgeschrittenen Konzepten, neuen Kommandos, die letztlich in weniger Arbeitsschritten resultierten.<sup>6</sup> Bei Architekten mag eine Voreingenommenheit gegenüber der Anwendung von computerbasierten Methoden auch an den begrenzten Zeitspannen von Projekten liegen. Es erscheint einfacher, eine Aufgabe mit den bekannten Mitteln zu lösen, als eine effektivere neue Methode zu erlernen. In seiner Studie *LOGO Programming and Problem Solving* von 1983 beschreibt Roy Pea die Schwierigkeiten seiner StudentInnen im Erlernen der Programmiersprache LOGO.<sup>7</sup> So nutzten viele auch nach einer Einführung in Schleifenprozeduren eine umständlichere Arbeitsweise, indem sie Zeile für Zeile Listen im Programmcode definierten. Diese Arbeitsweise erscheint ProgrammieranfängerInnen zwar klarer, ist aber bei Weitem weniger effektiv als die

---

6 Vgl. Nilsen, Eric u.a.: „The Growth of Software Skill: A Longitudinal Look at Learning and Performance“, in: *Proceedings of the INTERACT '93 and CHI '93 Conference on Human Factors in Computing Systems*, Amsterdam 1993, S. 149–156.

7 Vgl. Pea, Roy: *LOGO Programming and Problem Solving*, Montreal 1983.



Implementierung eines einfachen Algorithmus. Im Verständnis der StudentInnen ist eine manuelle Bearbeitung des gesamten Programmcodes einfacher als die Umsetzung mithilfe einer prozeduralen Repräsentation. Der Nutzen scheint den kognitiven Aufwand zeitlich nicht aufzuwiegen. Dabei benötigen ArchitektInnen keine formale Ausbildung in Informatik und Mathematik, um eine Kunstfertigkeit im Umgang mit dem Computer zu erreichen. Diese Kunstfertigkeit bezieht sich auf die Integration von Prinzipien des *computational design* in den architektonischen Entwurfsprozess, nicht auf komplexe Softwareentwicklung oder mathematische Beweisführung. ArchitektInnen benötigen Werkzeuge, wie beispielsweise Programmierung, um eine Aufgabe effizient zu erledigen. Code-Fragmente können kopiert und für eine neue Aufgabe modifiziert werden; Programme dürfen kurz, Datenstrukturen einfach und die Dokumentation spärlich sein, solange das Werkzeug der Aufgabe angemessen ist.

### Methoden der Modellierung im *computational design*

Zur Beschreibung von architektonischer Form am Computer können unterschiedliche Methoden genutzt werden. William Mitchell, ehemaliger Professor für Architektur und Leiter des Media Arts and Sciences Program am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Boston, unterscheidet in seinem 1975 erschienenen Artikel „The Theoretical Foundation of Computer-Aided Architectural Design“ die drei Modellkategorien ikonisch, analog und symbolisch (Abb. 1).<sup>8</sup> Ikonische Modelle in der Architektur sind demnach getreue Darstellungen einer architektonischen Situation, beispielsweise durch traditionelle Darstellungen in Plan, Schnitt und virtuellem dreidimensionalem Modell. Sie erlauben eine räumliche Bewertung eines potentiellen Entwurfs durch Skalierung und verschiedene Arten der Projektion. Die graphische Benutzeroberfläche einer CAD-Software ermöglicht die direkte Manipulation dieser Modelle und dient gewissermaßen als digitales Zeichenbrett. In analogen Modellen, erzeugt in visuellen Programmierumgebungen, wird eine Reihe von Eigenschaften des zu entwerfenden Objekts durch eine abstrakte Repräsentation derselben Eigenschaften definiert, die erleichterte Manipulationen erlauben. Abhängigkeiten werden oft in Form von Verkettungen dargestellt, veränderliche Variablen durch unterschiedliche Regler. Mitchell schreibt hierzu: „Analogue generative systems often represent potential designs by settings of wheels, dials, sliding columns, etc. The operations performed to change the state of the system (that is to describe a new potential design) are thus mechanical [...]“<sup>9</sup>

Symbolische Modelle wiederum werden durch die Syntax einer formalen Programmiersprache mit Zeichen, Zahlen und mathematischen Operatoren ge-

8 Vgl. Mitchell, William J.: „The Theoretical Foundation of Computer-Aided Architectural Design“, in: *Environment and Planning*, Bd. 2, 1975, S. 127–150.

9 Mitchell 1975 (wie Anm. 8), S. 132.

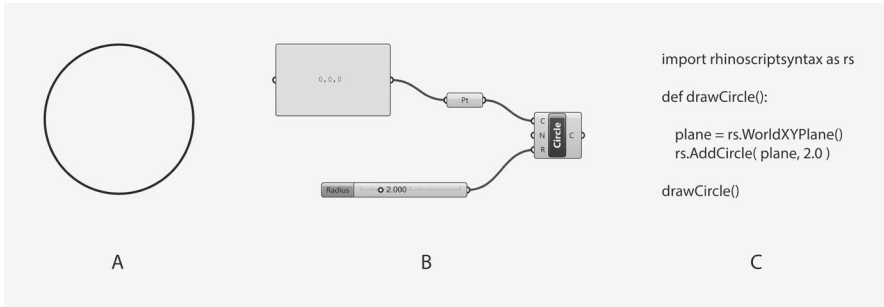


Abb. 1: Kreisdefinition in einem CAD-Programm als ikonisches (A), analoges (B) und symbolisches Modell (C), Darstellung Hans-Georg Bauer, 2014.

bildet. Sie stellen eine weitere Abstraktion eines Entwurfs dar und werden wegen ihrer Flexibilität und Geschwindigkeit bezogen auf Informationsverarbeitung und mathematische Modellierung besonders für Simulationsmodelle, beispielsweise zur Analyse von strukturellen, akustischen oder thermischen Eigenschaften eingesetzt. Konzepte des *computational design* können in unterschiedlicher Abstraktion in allen drei Kategorien umgesetzt werden. Parametrische Beziehungen lassen sich in manchen digitalen Zeichenprogrammen visuell in der graphischen Oberfläche den Elementen einer Zeichnung zuordnen, etwa eine variable Geschosshöhe für alle Zeichenelemente eines Wandtypus. Für eine angemessene und handwerklich elegante Umsetzung des Konzeptes der parametrischen Modellierung sind jedoch die abstrakteren analogen und symbolischen Modelle notwendig. Entsprechend sind für rechenintensive und komplexe Simulationen nur noch symbolische Modelle wirklich geeignet. Zwar gibt es, gerade auch im Versuch, diese Werkzeuge ProgrammieranfängerInnen zur Verfügung zu stellen, eine Vielzahl an Implementierungen von Simulationsmethoden in analoger Modellform. Dies ist aber nur beschränkt und auf Kosten von Geschwindigkeit, Genauigkeit und vor allem der Übersicht über das Modell möglich, da oftmals fundamentale Prinzipien symbolischer Modelle, wie beispielsweise Rekursion und Schleifen, nur über Umwege realisierbar sind. Allerdings werden in zunehmendem Maße die Grenzen auch hier fließend, einige Zeichenprogramme ermöglichen teilweise die Kombination von und einen erleichterten Zugang zu allen drei Methoden.

## Parametrisches Entwerfen

Parametrisches Entwerfen nutzt die grundlegende Variabilität eines parametrischen Modells als Entwurfsmethodik, um aus einem durch Elementbeziehungen definierten Metaschema einen spezifischen Entwurf oder Varianten eines Entwurfs zu entwickeln. Die im dreidimensionalen Koordinatenraum beschriebene Geometrie definiert dabei das Objekt nicht primär, dies erfolgt vielmehr

durch die relativen Abhängigkeiten seiner Elemente untereinander, d.h. der assoziativen Geometrie. Es werden hierbei also nicht nur eine Form, sondern darüber hinaus auch mögliche Reaktionen auf Kräfte und Veränderungen beschrieben. Zusammenhänge und Abhängigkeiten werden zu untrennbaren Eigenschaften jeder Form. Eine Grundlage des mathematischen Verständnisses der Beziehung von Form und Formwerdung mit diesen Abhängigkeiten und damit der parametrischen und assoziativen Logik lieferte die Arbeit des Biologen und Mathematikers D'Arcy Thompson über den biologischen Prozess der Morphogenese als Entstehung von Form, Struktur und Muster aus dem Zusammenspiel äußerer und innerer Kräfte. In seinem Buch *On Growth and Form* (1942) nutzt Thompson das kartesische Koordinatensystem als parametrisches Werkzeug, indem er durch lokale und globale Transformationen des Rasters Vergleiche zu den Geometrien der biologischen Objekte seiner Untersuchung und damit zu möglichen Verwandtschaften dieser Objekte zieht.<sup>10</sup> Besonders interessant für den schöpferischen Aspekt des architektonischen Entwurfs ist die über das rein Analytische hinausgehende Anwendung der mathematischen Transformationskonzepte Thompsons zur Generierung neuer Formen.

Um von der Biologie zurück zum parametrischen Entwerfen in der Architektur zu kommen, lohnt sich ein Blick auf die Arbeit von Antoni Gaudí am Entwurf der Sagrada Família in Barcelona mit Baubeginn 1882. Als historisches Beispiel eines wegweisenden parametrischen Entwurfs, lange vor der Entwicklung des digitalen Computers, lässt sich die gesamte Geometrie der Kathedrale, die im Wesentlichen aus Rotationshyperboloiden besteht, aus einem Metaschema ableiten. Die aus Geraden konstruierbaren Regelflächen sind mit wenigen Hilfsmitteln konstruierbar und wurden in einer systematischen Herangehensweise durch Wiederholung und Transformation definierter Parameter zu einem Gesamtprojekt komponiert, das aus der Überlagerung einfacher Elemente seine Formvielfalt gewinnt. Nach dem Tod Gaudís 1926 und der Zerstörung der Pläne und Modelle im Spanischen Bürgerkrieg kam der Bau vor der Fertigstellung zunächst zum Erliegen. Aus Bruchstücken von Modellen konnten mithilfe der Logik der Regelflächen ganze Elemente geometrisch exakt rekonstruiert werden. Seit den 1950er-Jahren wird der Bau fortgesetzt und durch den Einsatz parametrischer Modelle am Computer auf Basis der gefundenen Regeln experimentell weiterentwickelt. Der seit mehr als 25 Jahren die digitale parametrische Modellierung der Sagrada Família leitende Architekt Marc Burry betont dabei die Rolle des Computers in der Entwicklung eines dynamischen und offenen Modells, das nahe am Verständnis von natürlichen Systemen liegt, gekennzeichnet von Wachstum, Form und Evolution.<sup>11</sup>

Bereits in der 1963 von Ivan Sutherland am MIT entwickelten ersten Zeichensoftware mit graphischer Benutzeroberfläche *Sketchpad* wurden Konzepte

<sup>10</sup> Vgl. Thompson, D'Arcy: *On Growth and Form*, Cambridge 1942.

<sup>11</sup> Vgl. Burry, Marc: *Gaudí Unseen: Die Vollendung der Sagrada Familia*, Berlin 2007.

des parametrischen Modellierens implementiert.<sup>12</sup> So konnten geometrische Abhängigkeiten definiert sowie generativ und regelbasiert zur Formgestaltung genutzt werden. Doch während sich die graphische Benutzeroberfläche der CAD-Programme als digitales Zeichenbrett spätestens in den 1980er-Jahren mit der Ausbreitung des Personal Computers als Werkzeug in den Architekturbüros durchsetzen konnte, blieb das Konzept des parametrischen Modellierens im Kontext des architektonischen Entwurfs lange Zeit unbedeutend. Möglicherweise wegen der Nähe zu Konzepten der Programmierung, aber auch wegen der Besonderheiten eines architektonischen Entwurfsprozesses, in dem immer wieder konzeptionelle Brüche und radikale Entwurfsänderungen eine Neudefinition des Modells mit anderen Parametern erfordern. So erklären Robert Aish und Robert Woodbury:

The structure of design work using parametric systems remains poorly understood. Designers must simultaneously attend to both the specific, concrete design instance and the graph structure that captures its conceptual and mathematical structure. At the same time they must attend to the multifaceted design task at hand. We should neither underestimate nor undervalue the change to the structure of work and design process required.<sup>13</sup>

Seit einigen Jahren werden Techniken der parametrischen Modellierung durch neue Software und einen stärkeren Fokus auf computergestützte Methoden in der Hochschulausbildung auch vermehrt in der Praxis angewandt, vor allem jedoch als Hilfsmittel zum Entwurf und zur Fertigung von Gebäuden mit komplexer Geometrie.

## Simulation

Physikalische Experimente dienten ArchitektInnen bei der Formgenerierung immer wieder als Ausgangspunkt des Entwurfsprozesses. Ein bekanntes Beispiel sind Frei Ottos seit den 1950er-Jahren entwickelten Hängemodelle, beispielsweise zur Formfindung der 1975 fertiggestellten hölzernen Gitterschale in Mannheim.<sup>14</sup> Waren bei Ottos Entwurf für das Gebäude aufgrund der limitierten Rechenleistung und unzureichender mathematischer Modelle noch physikalische Experimente für das detaillierte Verständnis des Materialverhaltens notwendig, so können diese natürlichen Prozesse der Formfindung heute auf jedem Laptop digital durchgeführt werden. Computerbasierte Simulationen, also physikalische

12 Vgl. Sutherland, Ivan: *Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System*, Boston 1963.

13 Aish, Robert / Woodbury, Robert: „Multi-Level Interaction in Parametric Design“, in: *Smart Graphics. 5th International Symposium*, hg. von Andreas Butz u.a., Frauenwörth Cloister 2005, S. 151–162.

14 Vgl. Otto, Frei / Rasch, Bodo: *Finding Form: Towards an Architecture of the Minimal*, Stuttgart 1996.

Experimente in digitaler Version, stehen heute in unterschiedlichsten Disziplinen als leistungsstarkes analytisches Werkzeug zur Verfügung. Mathematische Modelle, meist basierend auf numerischen Verfahren, simulieren dynamisch näherungsweise Lösungen, von Graphiken in Computerspielen über ökonomisches Marktverhalten bis hin zu ingenieurwissenschaftlichen Fragestellungen. Werkzeuge zur thermischen Gebäudesimulation werden seit den 1960er-Jahren entwickelt, basierend auf Theorien aus Physik, Mathematik, Materialwissenschaften, Biophysik, Verhaltensforschung, Umwelt- und Computerwissenschaften. Sowohl Stärken als auch zahlreiche theoretische und praktische Hürden entstehen aus der Komplexität dieses Zusammenspiels. Viele der frühen Simulationsmodelle beschränkten sich auf Berechnungen von Heiz- und Kühllasten sowie des Energieverbrauchs technischer Anlagen. Mit der Zeit wurden komplexere Mechanismen der Energieübertragung, Luftströmungen durch das Gebäude, Tageslichtsimulation sowie NutzerInnenverhalten und Steuerungsmodelle integriert.<sup>15</sup> Das Potential für den architektonischen Entwurf liegt in der Integration dieser herkömmlicherweise disziplinär isoliert betrachteten und oftmals den formalen Aspekten nachgestellten Faktoren in einen Entwurfsprozess. Von Beginn an werden hierbei die Zusammenhänge aus Entwurfskonfiguration und performativen Effekten einbezogen. Architektur, mit ihrer spezifischen räumlichen Organisation, Materialität und Nutzung, wird in Wechselwirkung mit den Umweltbedingungen von Klima, Licht und Schall als System externer und interner Einflüsse moduliert. Die in Rückkopplung dieser Einflüsse entworfene Architektur stellt sowohl die Dominanz der visuellen Darstellung als Gestaltungsmittel infrage und stärkt die Analyse eines Systems in einer spezifischen Situation gegenüber der Anwendung generalisierender Prinzipien. Angesichts der immer wichtiger werdenden energetischen Bewertung von Gebäuden wird zunehmend Software entwickelt, die den/die EntwerferIn bei der Minimierung des Energieverbrauchs unterstützen soll. Allerdings sind diese für ArchitektInnen entwickelten Simulationsprogramme, um die Handhabung für Nicht-ExpertInnen überschaubar zu machen, entweder in ihren physikalischen Modellen vereinfacht oder bieten nur einen Ausschnitt der Möglichkeiten von professioneller Simulationssoftware<sup>16</sup> und Ergebnisanalyse. Ungenaue Ergebnisse und falsche Ergebnisinterpretation können so schnell zu falschen Entwurfsentscheidungen führen.

### Ansatz einer simulationsbasierten Entwurfsmethodik

Im Kontext der Schaffung behaglicher Bedingungen im Innenraum können zwei Strategien für den klimatischen Ausgleich zwischen Innen und Außen unterschieden werden. Einerseits primär durch passive architektonisch-bauliche

---

15 Vgl. Hensen, Jan / Lamberts, Roberto (Hg.): *Building Performance Simulation for Design and Operation*, Oxford 2011.

16 Beispielsweise EnergyPlus, TRNSYS und DOE-2.

Mittel, wie Konzepte der Zonierung, Wahl von Material und Konstruktion, Kompaktheit, Form und Öffnungsverhalten. Andererseits primär durch aktive künstliche Konditionierung mithilfe additiver Gebäudetechnik. Es stellt sich die Frage, wie sich eine effektivere und den Energieverbrauch minimierende Architektur planen lässt, anstatt auf eine rein technisch basierte Effizienz zu setzen. Um die Auswirkungen passiver architektonischer Konzepte auf die Behaglichkeit und den Energieverbrauch eines Gebäudes untersuchen zu können, gilt es, rechnergestützte Simulationswerkzeuge in den frühen architektonischen Entwurf zu integrieren. Die durch die gewonnenen Aussagen zu performativen Eigenschaften von Gebäuden und Gebäudekomponenten getroffenen Entwurfsentscheidungen haben in der frühen Entwurfsphase die größten Auswirkungen, da hier die grundlegenden Konzepte definiert werden. Das Prinzip Hightech für Lowtech bedeutet die Nutzung komplexer computergestützter Planungswerkzeuge zur Umsetzung einfacher baulicher Lösungen, die mit wenig Technik auskommen.

Um die Komplexität der Faktoren und Bewertungskriterien handhabbar zu machen, werden rechnergestützte, scriptbasierte parametrische Modellierung und dynamische Simulation eingesetzt. Die Open-Source-Programm-Bibliothek ANAR+ ermöglicht die Auswertung performativer Eigenschaften im frühen Entwurfsstand.<sup>17</sup> Geometrie-Erzeugung erfolgt durch geschriebenen Code, in der graphischen Benutzerschnittstelle sind kontinuierliche Parameteränderungen mithilfe von Reglern möglich. Die Entkopplung von Formbeschreibung durch Programmcode und graphischer Darstellung zwingt dabei den/die EntwerferIn zu einer reflektierten Vorgehensweise. Schnittstellen zu professioneller Mehrzonen-Simulationssoftware (EnergyPlus, Radiance, Modelica, BCVT) ermöglichen die systematische Bewertung von Lichtverhältnissen, Energieverbrauch und thermischen Eigenschaften alternativer Entwurfsvarianten. Ergebnisse können sowohl graphisch dargestellt als auch als Parameter in das Programm zurückgeführt werden, um iterativ Modifikationen am Modell nach performativen Kriterien umzusetzen. Der Zugriff auf den Quellcode ermöglicht überdies erfahrenen NutzerInnen, eigene Funktionen und Objekte zu entwickeln. Der/Die EntwerferIn schreibt dabei einen Programmcode, der eine parametrisch definierte Geometrie erzeugt. Im nächsten Schritt werden physikalische Werte zu Materialeigenschaften, die Konstruktion sowie Daten zu Nutzung und internen Lasten parametrisch definiert. Im Programmcode werden Simulationsabläufe sowie parametrische Beziehungen festgelegt, um Entwurfsvarianten zu analysieren und unterschiedliche Parameterkombinationen auf eine definierte performative Kapazität zu prüfen. Stochastische Methoden ermöglichen dabei, den Einfluss und die Wechselwirkungen der einzelnen Parameter quantitativ zu erfassen. Die Visualisierung der Daten aus Simulationsergebnissen wird ebenfalls im Programmcode nach Bedarf definiert. Eingabedateien für externe

---

17 Vgl. Nembrini, Julien: „Parametric Scripting for Early Design Performance Simulation“, in: *Energy and Buildings*, Bd. 68, 2014, S. 786–798.

Simulationsprogramme werden mit den von den NutzerInnen definierten Parametern automatisch generiert. Ergebnisse können in visualisierter Form oder durch Rückkopplung die Modifikation des Modells in einem Optimierungsprozess steuern.<sup>18</sup>

Um auf die anfangs gestellte Frage nach der Rolle des Computers als Werkzeug des Entwerfens in der architektonischen Planung im Kontext des umrissenen Entwurfsansatzes zurückzukommen, sollen mehrere Punkte festgehalten werden: Durch das parametrische *scripting* werden professionelle Simulationswerkzeuge im architektonischen Entwurf zugänglich, zugleich kann das Potential eines parametrischen Modells über die Generierung komplexer Geometrien hinaus im Kontext eines klimatisch orientierten Gebäudeentwurfs wirksam eingesetzt werden. Hierbei ist die Wahl des Werkzeugs und die richtige Anwendungsstrategie entscheidend, um die Anwendung des *computational design* als handwerkliche Methode im Entwurfsprozess zu integrieren. In diesem Fall sind das Handwerk des Entwerfens und das Handwerk des Programmierens nicht gänzlich voneinander zu trennen. Die Open-Source-Bewegung ermöglicht den Austausch von und freien Zugang zu relevanten Werkzeugen und unterstützt somit die Verbreitung und Weiterentwicklung einer entsprechenden Entwurfsmethodik.

---

18 Eine vertiefende Untersuchung dieser Entwurfsmethodik beschreibt der Autor in seiner Dissertation *Building Performance Simulation As Integrated Design Parameter*, die im Rahmen des DFG-Graduiertenkollegs „Das Wissen der Künste“ an der Universität der Künste Berlin entstanden ist.