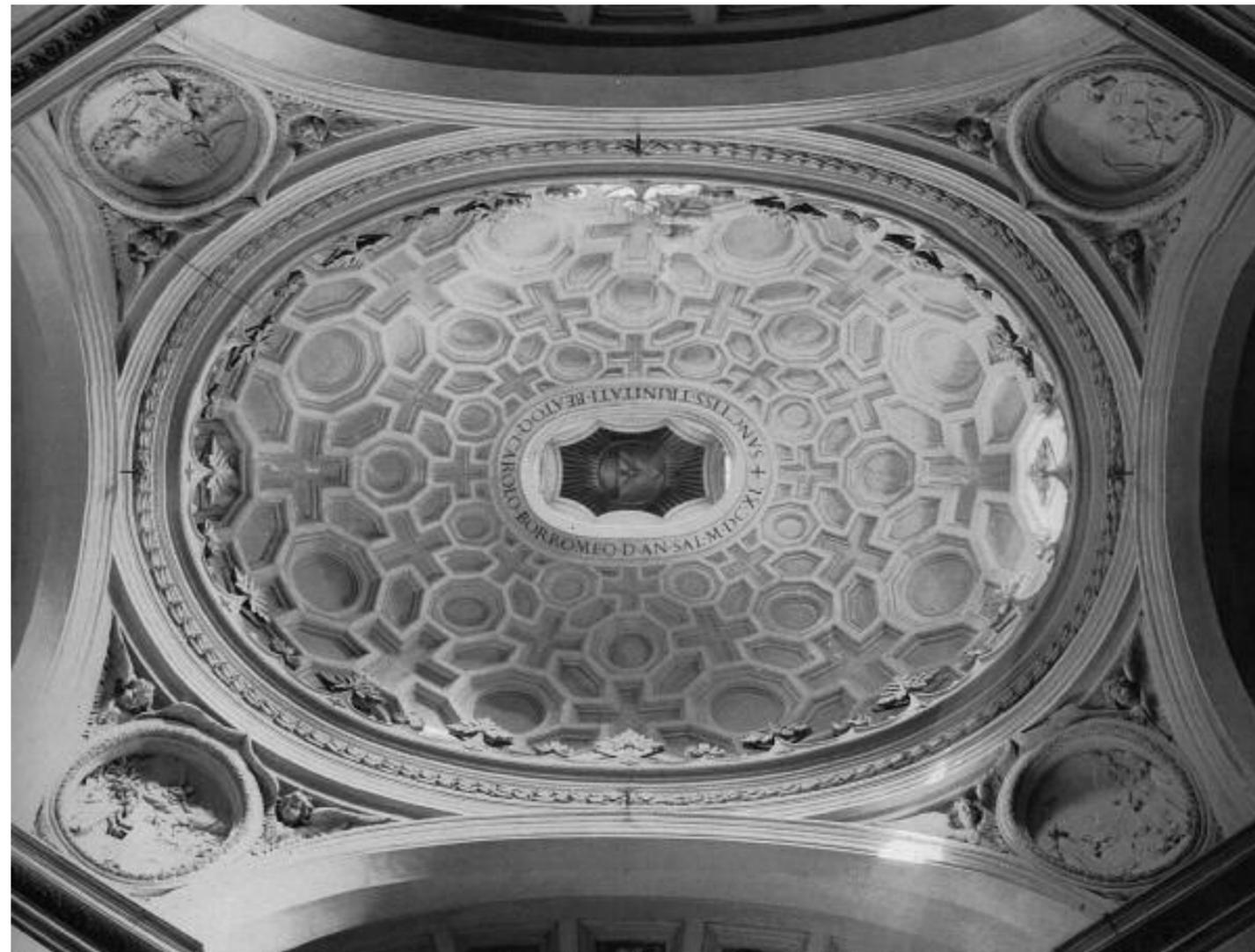


Vom Blob zur algorithmisch generierten Form

Tobias Wallisser

Ob das Mercedes-Benz-Museum, der Watercube oder das Olympia-Stadion in Peking – die meisten spektakulären Großbauten der letzten Jahre wären ohne die Verfügbarkeit neuer Software und numerischer Fertigungsmethoden nicht realisierbar gewesen. Der Einsatz digitaler Techniken ist bei Konzeption, Entwicklung und Umsetzung architektonischer Entwürfe ablesbar geworden. Das konzeptuelle Arbeiten mit dem Computer hat sich stark in Richtung eindeutig definierter Geometrien regelbasierter Formen entwickelt und die Formgenerierung mittels Animationen abgelöst.



Die Kuppel der Kirche San Carlo alle Quattro Fontane von Francesco Borromini ist ein frühes Beispiel für die Anwendung assoziativer Geometrien.

Im September 1995 erschien ARCH+ 128 zum Thema „Entwerfen am Computer“. Wenn man heute die im Editorial formulierten konzeptionellen Ansätze der vorgestellten Projekte liest, stellt man fest, dass diese im Prinzip noch immer aktuell sind. Es ist vom Einfließen der „Komplexität multipler Beziehungen“ in den Entwurf und der Übertragung von „Prozessen des Lebendigen“ auf die Entwurfsmethodik die Rede. Prozesstechniken aus der Filmanimationsbranche, die Transformationen und Austauschprozesse fließend darstellen können (Morphing), waren die Vehikel für die Entwicklung neuartiger Formen und beeinflussten vor allem die Darstellungstechniken. Computerarchitektur war vor allem eine kulturelle Metapher.

In einem der Artikel im Heft verglich Annette LeCuyer den unterschiedlichen Einsatz des Computers in Entwürfen von Frank O. Gehry auf der einen Seite und Peter Eisenman auf der anderen Seite. Sie sah darin zwei Pole im Umgang mit dem Computer, den pragmatischen Zugang von Gehry, der hauptsächlich auf die Umsetzung des Entwurfs gerichtet ist, sowie den konzeptuellen von Eisenman, bei dem die Abkoppelung des Objekts von der Voreingenommenheit seines Schöpfers ein zentrales Thema war.²

Dieser Gegensatz wird heute mehr und mehr aufgehoben und zunehmend ersetzt durch eine Kombination von experimentellen Entwurfstechniken mit der simultanen Integration von herstellungsrelevanten Faktoren im Prozess.

Greg Lynn, der den Begriff „Blob“ in die Architekturterminologie eingeführt hat³ sprach unter Berufung auf Husserl von „anexakten“ Geometrien der erzeugten Objekte. Damit wurde im Gegensatz zu exakten, also mathematisch eindeutig definierten und jederzeit wiederholbaren sowie inexakten Formen eine figürliche, jedoch nur im Kontext sinnvoll definierte Form beschrieben.

Diese Definition lässt sich auf parametrische Entwurfsprozesse übertragen, da dort zwar präzise definierte Ergebnisse durch die Anwendung mathematischer Regeln entstehen, die Überlagerung verschiedener regelbasierter Prozesse mit Eingriffsmöglichkeiten zur experimentellen Veränderung der Parameter jedoch die Emergenz nicht vorher bestimmter Typen erlaubt. Werden die Parameter vom Kontext her gedacht, könnte man auch hier von anexakten Formen sprechen, die jedoch geometrisch definiert sind. Das Problem der Animationstechniken, die visualisierten Vorgänge an einem Punkt „einzufrieren“ und das entstehende Gebilde in eine definierbare Geometrie zu übersetzen, spielen deshalb bei den aktuellen algorithmisch definierten Prozessen keine Rolle mehr.

Der Einfluss der Darstellungstechnik auf den Entwurf

Der englische Architekturtheoretiker und -historiker Robin Evans hat in seinem Buch „The Projective Cast“ dargelegt, dass Architektur traditionell unlösbar mit Geometrie verbunden ist. Er beschreibt, wie die historische Entwicklung der Architektur durch die Möglichkeiten der zweidimensionalen Darstellung, insbesondere der Technik der Projektionszeichnungen geprägt wurde. Der Zusammenhang zwischen der durch die zur Verfügung stehenden Techniken definierten Wiedergabe und der Konzeption von architektonischen Entwürfen ist nach Evans daran erkennbar, dass alle architektonischen Aktivitäten (Entwerfen, Bauen und Überprüfen) mittels einer „projektiven Transaktion“ stattfinden. Dies gilt für alle nacheinander folgenden Zwischenschritte gleichermaßen, vom Aufskizzieren der inneren Vorstellung über die Präsentation des Projekts mittels einer Perspektivdarstellung an den Bauherrn bis zur Ausführung mittels orthografischer Pläne. Entwerfen ist „Handeln aus der Distanz“, schließt Evans, beschränkt durch die zur Verfügung stehenden Übersetzungsmöglichkeiten der verwendeten Darstellungstechniken.⁴

Der Einfluss des Computers auf die Realisierung zeigt sich besonders deutlich im Werk von Frank O. Gehry. Dessen Guggenheim Museum in Bilbao war im Hinblick auf den Einsatz von Computern in der Architektur ein Meilenstein. Bei seiner Planung fand eine fundamentale Verschiebung zwischen Repräsentation und Konstruktion statt, da die beschriebene zweifache Übersetzung aufgrund der Entwicklung in Zeichnungen einerseits und der Ausführung mittels Werkplänen andererseits durch die direkte Umsetzung der 3D-Datenmodelle überwunden wurde. Der Entwurf wurde noch mittels Skizzen und am Modell entwickelt, der konsequente Einsatz des Softwarepakets CATIA aus der Flugzeugindustrie führte jedoch zur parametrischen Optimierung der Bauteile und zur konsequenten Berücksichtigung ausführungrelevanter Parameter im Planungsstadium.

Der Einsatz von Computern hat generell den Arbeitsalltag des Architekten verändert. CAD-Programme werden heute in fast allen Architekturbüros eingesetzt, allerdings in den seltensten Fällen als Entwurfswerkzeuge. Im englischen Sprachgebrauch wird bei der Definition der Art der Computernutzung zwischen „Computerisation“ und „Computation“ unterschieden. In seinem Buch „Algorithmic Architecture“⁵ hat Kostas Terzidis die Begriffe folgendermaßen definiert:

„Computerisation“ bezeichnet den Vorgang der Eingabe, Weiterentwicklung oder des Speicherns von Information in einen Computer, während „Computation“ einen Prozess der Kalkulation, also der Bestimmung durch mathematische oder logische Methoden beschreibt. Die Mehrzahl aller Computernutzungen in der Architektur ist demnach also noch „Computerisation“; Elemente oder Prozesse, die bereits als Konzept in der Vorstellung des entwerfenden Architekten existieren, werden in den Computer eingegeben und „digitalisiert“. Die Erfassung von unbestimmten, vagen oder zu Beginn noch undeutlichen Prozessen, „Computation“, spielt dagegen in der Praxis noch kaum eine Rolle und ist überwiegend den akademischen Institutionen vorbehalten. Dadurch entsteht zum ersten Mal seit langer Zeit die Situation, dass Hochschulen eine Pionierleistung vollbringen und Impulse für die Praxis geben können. Ganze Abschlussklassen verschiedener Architekturschulen wie z.B. der Architectural Association in London bringen das erworbene Wissen direkt in die Büros ein und prägen dort die Entwürfe. Auch an der Klasse für „Innovative Bau- und Raumkonzepte“ an der Staatlichen Akademie der Bildenden Künste in Stuttgart steht im Fach „Digitales Entwerfen“ die Erforschung dieses Potentials im Vordergrund.

Das kreative Potential des Computers

Was kann man unter „digitalem“ Entwerfen verstehen? Wenn Computerprogramme im Entwurfsstadium angewendet werden, kann noch nicht von „digitalem Entwerfen“ die Rede sein. „Digital“ beschreibt die Reduktion eines Prozesses in diskrete Muster und die Verknüpfung dieser Muster zu neuen Strukturen, die von einem Computer genutzt werden sollen, das heißt, „digital“ beschreibt einen Prozess, nicht ein Produkt.

Digitale Techniken bieten auf jeder der von Robin Evans beschriebenen Ebenen neue konzeptionelle Möglichkeiten: bei der Darstellung und Konzeption, der Präsentation und der Realisierung. Die erweiterten Möglichkeiten der Darstellung helfen sicherlich bei der Kommunikation mit dem Bauherrn und dem Planungsteam. Die Möglichkeiten der direkten Umsetzung auf Basis von Datenmodellen vereinfachen nicht nur die Kommunikation und die Herstellung, sondern haben auch einen weit reichenden konzeptuellen Einfluss auf den Entwurf.

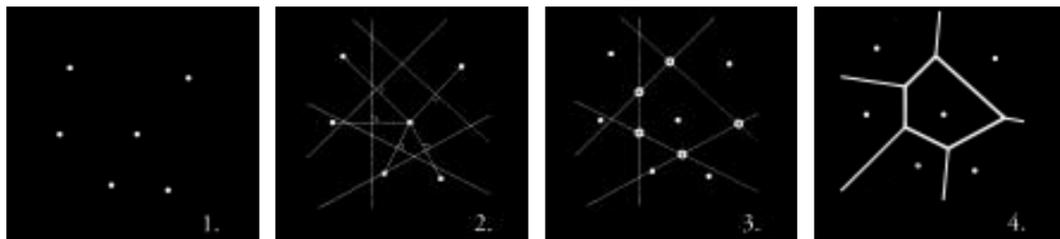
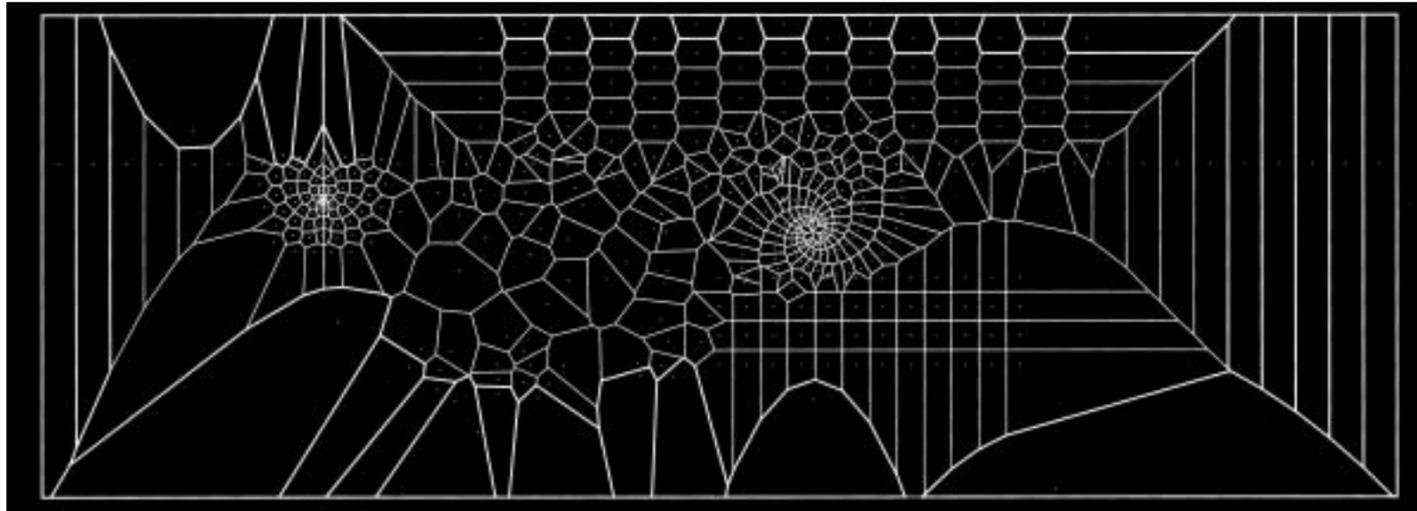
Bei der Computerdarstellung eines Entwurfs werden geometrische Elemente durch variable Attribute definiert, die Parameter heißen. Eine so genannte parametrische Software erlaubt die Darstellung und Erstellung von Variationen parametrisch definierter Elemente in Echtzeit und ermöglicht dem Entwerfer dadurch direkte Eingriffsmöglichkeiten und Kontrolle. Im Prinzip ist parametrisches Entwerfen kein neues Verständnis des Entwurfsvorganges und kann anhand historischer Beispiele illustriert werden.

In der barocken Kuppel der Kirche San Carlo alle Quattro Fontane in Rom von Borromini (1638–1641) werden die Ornamente durch „assoziative“ Anpassung einzelner Formen an die Gesamtform verzerrt und geometrisch variiert. Hier ist die Form der Ornamente nicht invariabel, jedoch die Regeln, die hinter ihrer Entstehung stehen.



Isometrische Schnitzzeichnung der Kirche San Carlo. Die einzelnen Elemente oder Formen passen sich der Gesamtgestalt an, beziehen sich aufeinander und bilden so eine Einheit des Raumes.

Forschung: Von Computerisation zur Computation



Zum System der Kachelung.
 1. Eine unbestimmte Menge und Verteilung von Punkten. 2. Die Halbierenden zwischen einem Punkt und allen anderen werden orthogonal eingezeichnet. 3. Durch die Überschneidungen der Halbierenden entsteht die nach einem russischen Mathematiker benannte Voronoi-Zelle. 4. Dieses Prinzip wird für alle Punkte des Sets wiederholt.

Dies kommt nahe an das Verständnis einer Form als Abbild eines Kräfte-diagramms oder als Momentaufnahme einer Konstellation unterschiedlicher Kräfteinflüsse heran. Im Gegensatz zur Beschreibung von D'Arcy Thompson in seinem Buch „On Growth and Form“ von 1917 handelt es sich hierbei jedoch nicht nur um Deformationen (Verzerrungen, affine Abbildungen) eines Umrisses bzw. Transformationen, bei denen weder neue Elemente hinzugefügt noch weggenommen werden. Der Prozess der regelbasierten Formgenerierung kann im Gegensatz dazu eine unendliche Formvielfalt hervorbringen.

In Zusammenarbeit von Toyo Ito mit Cecil Balmond und der Advanced Geometry Unit von ARUP entstand 2002 ein Pavillon für die Serpentine Galerie, der als frühes Beispiel des Einsatzes eines algorithmisch definierten Entwurfsmodells gelten kann. Die Notwendigkeit des schnellen Entwerfens und Realisierens verlangte nach einem Prozess, der eine möglichst nahtlose Umsetzung des Entwurfsthemas ermöglichte. Die Festlegung einiger weniger Ausgangspunkte wurde konsequent am Computer untersucht, wobei zuerst der Prozess aufgesetzt wurde und anschließend das Entwurfsmodell optimiert und selektiert wurde. Form, Struktur und Raum entstanden als Einheit und gleichzeitig mittels eines evolutionären Prozesses. Das Ganze und die einzelnen Komponenten sind integral miteinander verknüpft.

Assoziative Geometrien

Die aktuelle Softwareentwicklung erlaubt es, Beziehungen zwischen einzelnen Elementen festzulegen. Bei diesen assoziativen Geometriemodellen werden Objekte als parametrische Geometrien definiert, die direkt vom Prozess ihres Entstehens abhängig sind; trotz gleicher Form sind verschiedene Eigenschaften möglich. In einer solchen Umgebung „weiß“ ein Rechteck, dass der Winkel zwischen zwei Kanten ein rechter sein muss. Deformationen durch Verschiebung eines Punktes sind nicht möglich bzw. resultieren in einer Skalierung des Objekts.

Die Arbeit mit diesen Programmen ermöglicht es dem Entwerfer, Grenzwerte festzulegen und so zum Beispiel Materialeigenschaften zu simulieren. Es wird nicht nur die Form bestimmt, sondern darüber hinaus auch mögliche Reaktionen auf Kräfte und Veränderungen. Zusammenhänge und Abhängig-

keiten werden zu untrennbaren Eigenschaften jeder Form.

Durch assoziatives Einfügen von generischen Elementen auf geometrisch komplexe Oberflächen wird eine große Vereinfachung in der Differenzierung von standardisierten Elementen möglich. Die automatische Adaption der Teile auf die Oberflächengeometrie lässt ein Gesamtsystem entstehen, in dem zwar alle Teile im gleichen Prozess hergestellt werden, jedoch jedes eine unterschiedliche Form hat. Hierbei gibt es verschiedene Möglichkeiten, die Gesetzmäßigkeiten und die resultierenden Einflusskräfte auf ein Element zu steuern, entweder mittels grafischer oder numerischer Eingaben oder der Kombination von beidem. Entwerfen wird hier zum interaktiven Entwickeln unterschiedlicher Varianten, zur Steuerung eines Zusammenspiels von Maschine und Gestalter. Form entsteht in einem emergenten Prozess.

Die Kirche Sagrada Familia in Barcelona ist der bekannteste Entwurf von Antoni Gaudí und ein in jeder Hinsicht ungewöhnliches Bauwerk, das seiner Zeit weit voraus war. Gaudí veränderte seine Entwurfsstrategie weg von der reinen Komposition freier Formen wie beim Apartmentblock Casa Milà zu einer rigiden, regelbasierten Formbeschreibung. Auch wenn der Entwurf lange vor der Erfindung des Computers konzipiert wurde, ist er als Beispiel einer parametrischen Entwurfsweise wegweisend. Er ist gekennzeichnet durch die systematische Herangehensweise an die Schaffung von Formen und bietet einen guten Ausgangspunkt, den Nutzen des Computers bei Entwurf und Konstruktion zu analysieren. Da die meisten der Originalmodelle von Gaudí zerstört waren, wurde mittels „Reverse Engineering“ versucht, die ursprüngliche Logik nachzuvollziehen und die eingescannten Fragmente der Gipsmodelle zu ergänzen.

Dem Entwurf liegt ein Codex für reichhaltige Formgeneration zugrunde, der eine wiederholbare, innerhalb von Regeln veränderbare, präzise Beschreibung der Geometrie erzeugt. Viele Elemente bei Gaudí sind geometrische Regelflächen, der Herstellungsprozess war Teil der Formentwicklung. Regelflächen sind mit wenigen Hilfsmitteln baubar, ihre einfache Abwickelbarkeit erlaubt es, gerade Bewehrungsstäbe in doppelt gekrümmten Flächen anzuordnen. Durch Überlagerung einfacher Elemente entsteht Komplexität und Formenvielfalt im Gesamtprojekt.



Um 180° gedrehte photogrammetrische Aufnahme des Rekonstruktionsmodells, welches vom Institut für leichte Flächentragwerke unter Leitung von Frei Otto und in Zusammenarbeit mit der Gaudí-Gruppe aus Delft angefertigt wurde.



Aufnahme der Gruppe, die das Entwurfsmodell Antoni Gaudís von 1908 – für die Sagrada Família in Barcelona – rekonstruierte und für die Ausstellung „Der Hang zum Gesamtkunstwerk“ in Zürich bereitstellte. Arnold Walz (ganz links) ist heute Mitinhaber des Büros Design to Production, welches maßgeblich an der konstruktiven Umsetzung des designtoproduction Mercedes-Benz Museums in Stuttgart beteiligt war.

Durch den Einsatz des Computers war eine parametrische Annäherung und Weiterentwicklung des Gebäudes möglich. Die Verarbeitung von großen Mengen an Daten erlaubt die parallele Betrachtung unterschiedlicher Aspekte und damit eine experimentell-spekulative Weiterentwicklung des Entwurfs auf Basis der gefundenen Regeln. Faszinierend ist, dass seine Konzeption ohne Computer erfolgte, es aber erst durch den Einsatz assoziativer Computermodelle im Team weiterentwickelt und gebaut werden konnte und in wenigen Jahren seiner Vollendung entgegensteht. An diesem Prozess zeigen sich prototypische und richtungweisende Tendenzen für den Einsatz des Computers in der heutigen Zeit:

- Die rationale Beschreibung und Herstellung ist wichtiger als die Ästhetik des Ergebnisses,
- Die Logik ist klar beschrieben, aber das Resultat ist nicht vorhersehbar und lässt viele mögliche Aktualisierungen zu.

Marc Burry, der seit mehr als 25 Jahren die computerunterstützte Arbeit an der Sagrada Família leitet, kommt aufgrund seiner Erfahrungen zum Schluss, dass Computer einen ablesbaren Effekt auf die Entwurfsqualität und die gebaute Form haben. Das Verständnis von Raum und Zeit ändert sich von stabilen Konzepten in der Klassik oder der Renaissance zu einem dynamischeren, unvorhersehbaren Modell, das näher am Verständnis von natürlichen Systemen liegt, die von Wachstum, Form und Evolution gekennzeichnet werden.⁶

Ausblick

Was sind die Auswirkungen digitaler Entwurfsmöglichkeiten auf das Berufsfeld? Welche Entwicklungen werden in den nächsten Jahren auf uns zukommen?

1. Der Einsatz des Computers erleichtert die Kommunikation zwischen allen Beteiligten, komplexe Aufgaben können im Team so bearbeitet werden, dass alle Beteiligten am gleichen Datenmodell arbeiten. Die Zusammenarbeit zwischen Ingenieuren und Architekten wird dadurch fließender. In großen Büros entstehen vermehrt interdisziplinäre Teams.

2. Architektonische Projekte entstehen in einem emergenten Prozess, ähnlich evolutionären Prozessen in der Natur, wobei das Entwerfen zum Festlegen von Funktionen und Parametern sowie der permanenten gestalterischen

Auseinandersetzung mit den eigenen Vorgaben wird. Der Entwurf wird dabei nicht mittels Zeichnungen, sondern durch das Programmieren und dem Festlegen von Flächen und Formen mittels numerischer und algorithmischer Vorgaben weiterentwickelt.

3. Algorithmisches Entwerfen macht aus dem Computer ein robustes Werkzeug, das die Manipulation und das Hinzufügen weiterer Parameter und Elemente, die beim architektonischen Entwurf relevant sind, erlaubt.

4. Es bilden sich Spezialisten, die sich ihre eigenen Softwareanwendungen programmieren und sich ganz speziell für die Aufgaben zugeschnittene Werkzeuge selbst erstellen können. Dabei werden Tätigkeiten zur parametrischen Optimierung vor allem für die Ausführung sowie konzeptuelle Entwurfswerkzeuge für die Anfangsphase eines Projekts unterschiedlich behandelt. In großen Architekturbüros (wie Foster oder SOM und KPF) sind „Special Geometry Units“ entstanden, die anfänglich eher Optimierung betrieben, nun aber vermehrt ihre Kenntnisse zur algorithmischen Formgenerierung verwenden. Vor allem in der formalen Entwicklung von Hochhausprojekten lässt sich ihr Beitrag bereits ablesen.⁷

5. Neben der Spezialisierung entsteht eine Individualisierung der Arbeitsplätze durch Werkzeuge, die von den Bearbeitern selbst für Projekte oder Projektaufgaben maßgeschneidert werden. Dies wird durch die Softwareentwicklung ermöglicht, bei der Programme stets mehr als Plattformen verstanden werden (siehe Übersicht Martin Schroth).

6. Die Übertragung von Informationen von einem Medium in das nächste kann vermieden werden. Die simultane Bearbeitung großer Datenmengen erlaubt die Beherrschung von Komplexität und das parallele Betrachten unterschiedlicher Aspekte.

7. Faktoren aus dem Herstellungsprozess können früher und einfacher in den Entwurfsprozess integriert werden, so dass es kaum eine Kluft zwischen Form und Materialisierung mehr gibt. Geometrie und Materie werden als kontinuierlich gesehen, allerdings besteht keine lineare Abhängigkeit, so dass sich dem Entwerfer Raum für eigene Entscheidungen, Anpassungen und Veränderungen des geometrischen Modells auf dem Weg zu einer baubaren Struktur bieten.

8. Durch eine prozesshafte Arbeitsweise unter Erzeugung vieler Varianten entsteht ein anderes Verständnis von Form. Entwerfen wird zur Mischung aus regelbasierten Festlegungen und experimentellem Erkundungsprozess, was grundsätzlich neue Raumkonzepte ermöglicht.

9. Die Wechselwirkung zwischen den kreativen Anforderungen von Seiten der Entwerfer an die Werkzeuge einerseits und den technischen Möglichkeiten der zur Verfügung stehenden Werkzeuge andererseits generieren neue unvorhersehbare Ergebnisse und tragen zur Weiterentwicklung der Disziplin Architektur bei.

10. Wie bei vielen technischen Anwendungen werden wir eine Konvergenz der unterschiedlichen Computer-Programme aus dem 2D- und 3D-Bereich sehen, die sich zu Plattformen entwickeln werden. Auf dem Markt ist bereits der Trend zur Versammlung unterschiedlichster Pakete bei einigen wenigen Anbietern als Vorstufe abzulesen.

11. In der Ausbildung sollte das notwendige Wissen vermittelt werden. Fähigkeiten wie darstellende Geometrie, das Denken in Prozessketten und 3D-Kenntnisse beim Entwurf werden Grundbestandteile werden.

In Kürze werden wir die Qualität der so entstandenen architektonischen Ergebnisse beurteilen können. Der Einsatz computerbasierter generativer Methoden der Formfindung wird dabei die zentrale Rolle spielen.

(1) Nikolaus Kuhnert, Angelika Schnell: „Computerarchitektur“, in: Editorial ARCH+ 128 „Entwerfen am Computer“, September 1995

(2) Annette LeCuyer: „Entwerfen am Computer. Frank Gehry und Peter Eisenman“, in: ARCH+ 128, September 1995, S. 26ff.

(3) Greg Lynn: „Das Gefaltete, das Biegsame und das Geschmeidige“, in: ARCH+ 131, S. 62ff.

(4) siehe ARCH+ 137 („Die Anfänge moderner Raumkonzeptionen“), mit

deutschen Auszügen aus Evans', „The Projective Cast“, Juni 1997; Jules Moloney, Collapsing the Tetrahedron: Architecture with(in) Digital Machines, CHART Conference Proceedings, Bd. 2, 2000

(5) Kostas Terzidis, Algorithmic Architecture, Amsterdam 2006

(6) Mark Burry, Jane Burry: Gaudí and CAD, <http://itcon.org>, 2006

(7) Vortrag von Tobias Schwinn, SOM London, an der Akademie der Bildenden Künste Stuttgart am 7. Juli 2008