



„Kobra“ aus Brettspertholz |

Neue Methode zur Realisierung von Freiformflächen aus ebenen Elementen an Prototyp erprobt

Markus Manahl

spezialisierte sich schon während seines Architekturstudiums auf digitale Entwurfs- und Produktionsmethoden. Seit seinem Studienabschluss 2011 ist er Mitarbeiter im Forschungsteam des Instituts für Architektur und Medien, TU Graz.

Albert Wiltsche

Diplomstudium in den Fächern Geometrie und Mathematik. Doktorat in Geometrie über Freiformflächen. Arbeits- und Forschungsschwerpunkte in den Bereichen Geometrie in der Architektur, vor allem Verwendung von Freiformflächen und Industrie-Robotern, TU Graz.

Im Rahmen des FWF-Forschungsprojekts „Non-Standard-Architektur mit Ornamenten und planaren Elementen“ (L695) hat sich eine Forschergruppe am Institut für Architektur und Medien der TU Graz zum Ziel gesetzt, neue Maßstäbe hinsichtlich der Realisierbarkeit von Freiformflächen zu setzen. Im Rahmen des Projekts wurde ein geometrischer Algorithmus entwickelt, der es erlaubt, doppelt gekrümmte Freiformflächen in ornamentale ebene Teile zu zerlegen, die mit konventionellen CNC-Maschinen kostengünstig gefertigt werden können. Dem kreativen Einsatz neuer digitaler Planungswerkzeuge verdanken wir so aufsehenerregende Bauwerke wie das Kunsthhaus in Graz (Peter Cook und Colin Fournier) oder die Hungerburgbahn in Innsbruck (Zaha Hadid Architects), deren Gebäudehüllen aus doppelt gekrümmten, frei geformten Flächen bestehen. Solche Elemente waren mit Lineal und Zirkel nur schwer zu beschreiben, doch mit den heutigen dreidimensionalen CAD-Programmen können auch die komplexesten virtuellen Formen modelliert werden. Die Umsetzung dieser Modelle in gebaute Realität ist jedoch eine ganz andere Frage.

Noch immer wird nach geeigneten Methoden gesucht, um die neue Formensprache mit vertretbarem Aufwand zu materialisieren.

Während die Massenproduktion gebogener Bauteile im Flugzeug- oder Automobilbau auf eine bald hundertjährige Tradition zurückblicken kann, ist die Fabrikation von fließend gekrümmten, nicht-standardisierten Einzelbauteilen im architektonischen Maßstab noch immer eine große Herausforderung. Üblicherweise erfordert die Herstellung von frei geformten Fassaden die individuelle Produktion von eigenen Guss- oder Pressformen für jedes einzelne Fassadenelement. Es versteht sich von selbst, dass so aufwendige Verfahren enorme Kosten verursachen können. Aus diesem Grund wurden in den letzten Jahren verschiedene Strategien erforscht, die eine effizientere Produktion von Freiformbauten erlauben, indem etwa die Gebäudehüllen so angepasst werden, dass Formteile mehrmals verwendet werden können, oder indem die Flächen sogar so vereinfacht werden, dass die Herstellung mit seriell gefertigten Bauelementen möglich wird.

Unter dem Begriff „Design Rationalisation“ zusammengefasst, haben sich solche Anpassungen im Sinne der Herstellbarkeit eines Entwurfs zu einem zentralen Forschungsfeld im Bereich der computergestützten Planungsmethoden entwickelt.

Eine besonders effektive Rationalisierungsstrategie ist die planare Diskretisierung. Dabei wird eine kontinuierlich gekrümmte Freiformfläche durch eine Geometrie angenähert, die aus vielen einzelnen planaren Elementen besteht. Diese ebenen Paneele können aus industriell massenproduzierten Standardbaumaterialien gefertigt werden und sind üblicherweise sehr leicht mithilfe von CNC-Maschinen herzustellen. Die Fertigung einer solchen diskreten Geometrie ist damit natürlich sehr viel günstiger als die Produktion einer kontinuierlich gekrümmten Fläche.

Die einfachste geometrische Möglichkeit, um eine Freiformfläche in planare Elemente umzuwandeln, ist die Triangulation. Dabei wird eine Reihe von Punkten auf der kontinuierlichen Fläche berechnet, aus denen dann ein Dreiecksnetz gebildet wird. Diese Methode wurde unter anderem bei der Hofüberdachung des British Museum in London von Norman Foster und der neuen Messe in Mailand von Massimiliano Fuksas angewandt. Die Dreiecksgeometrie bedingt jedoch, dass bei einer regelmäßigen Triangulation an den Eckpunkten der einzelnen Flächen im Durchschnitt sechs Paneele aneinanderstoßen, was zu komplexen und wiederum kostspieligen Konstruktionsdetails führt, insbesondere wenn entlang der Flächenkanten eine tragende Unterkonstruktion geführt wird.

Schlaich Bergermann & Partner entwickelten in Zusammenarbeit mit Frank Gehrys Büro eine verfeinerte Methode, die es erlaubt, bestimmte Flächen durch ein Netz ebener Vierecke zu approximieren. Bei einem Vierecksnetz stoßen nur mehr vier Paneele aneinander, allerdings ist dieses Verfahren auf die Diskretisierung von einer bestimmten Klasse von Flächen, den Translationsflächen, beschränkt. Auch in Österreich wird zur Geometrierationalisierung geforscht. Die Wiener Forschergruppe um Helmut Pottmann entwickelte eine Methode, bei der eine Freiformfläche durch ein Netz, das ebenfalls aus Polygonen mit mehr als drei Seiten besteht, angenähert wird. Die Polygone sind dabei anfangs nicht planar, können dann aber mithilfe eines iterativen Verfahrens unter anderem dahingehend optimiert werden, dass eine ebene diskrete Geometrie entsteht.

Diese Methode wurde zum Beispiel bei der Außenhaut des Yas Marina Hotels in Abu Dhabi von Asymptote Architecture verwendet.

Am Institut für Architektur und Medien der Technischen Universität Graz wird momentan an einem weiteren Ansatz gearbeitet. Die hier erforschte Methode basiert auf Verschneidungen von Tangentialebenen der originalen kontinuierlich gekrümmten Fläche. Dabei wird eine beliebige Anzahl von Punkten, die frei verteilt sein können, in den $[u, v]$ -Parameterraum der originalen Fläche übertragen. Die so gewonnenen Punkte auf der Fläche bilden die Basispunkte der Tangential-

Ebenen, die später miteinander geschnitten werden. Die Schnittlinien der Tangentialebenen bilden dabei die Seiten der ebenen Paneele der diskreten Geometrie.

Das Besondere an dieser Methode ist, dass durch die Verschneidungen der Ebenen komplexe, ornamentale Muster entstehen.

Die diskrete Geometrie kann dabei, je nach Flächenkrümmung und Positionierung der Tangentialebenen bzw. ihrer Basispunkte auf der Fläche, aus ebenen Polygonen mit variablen Seitenanzahlen zusammengesetzt sein. Jede neue Zusammenstellung von Basispunkten lässt ein eigenes Muster entstehen. Die Muster tendieren dabei automatisch zu einer Konfiguration, bei der immer nur drei Paneele an den Eckpunkten der Flächen zusammenstoßen.

Den Architekten spektakulärer Freiformbauten wird gerne vorgeworfen, dass ihre Entwürfe jeden Bezug zu verfügbaren architektonischen Produktionsverfahren verweigern.

Tatsächlich geben die Architekten das Problem der geometrischen Rationalisierung für den Bau solcher Entwürfe im Regelfall an spezialisierte Bauingenieure weiter. Eine solche Arbeitsteilung verhindert allerdings, dass Form und Struktur, Konstruktion und Herstellungsprozesse im bestmöglichen Einklang entwickelt werden.

Aus diesem Grund wurden im Zuge des Forschungsprojekts an der TU Graz digitale Entwurfswerkzeuge entwickelt, die es erlauben, die Bedingungen der baulichen Umsetzung einer Form von Anfang an in den architektonischen Entwurfsprozess zu integrieren. Herzstück dieser Tools ist ein neues geometrisches Objekt, das prototypisch für die Rhinoceros-3D-Software implementiert wurde und deren native Polygonnetz- und NURBS-Geometrien komplementiert. Dieses geometrische Objekt formt automatisch die planare Diskretisierung einer kontinuierlich gekrümmten Fläche unter Verwendung der beschriebenen Tangentialebenen-schnittmethode.

Unter Verwendung dieses neuartigen Werkzeugs wurde auch die „Kobra“ entwickelt, eine Prototypstruktur, welche in Zusammenarbeit mit dem Kompetenzzentrum für Holzbau an der TU Graz realisiert wurde.

Die Kobra wurde als selbsttragende Schale aus Brettspertholz ausgeführt, einem relativ jungen Baustoff, der auf diese Weise im Kontext digitaler Fabrikation noch kaum Verwendung fand. Die Struktur ist $10 \times 4 \times 4$ Meter groß und besteht aus 51 vier- bis siebeneckigen Platten, die mit keilförmigen Laschen aus hochfestem Furnierschichtholz aneinander befestigt sind – eine eigens für diese Anwendung entwickelte Holzverbindung.

Die Prototypstruktur wurde in der HTBLA Graz-Ortweinschule gefertigt und kann in den Infeldgründen der TU Graz besichtigt werden. ■

„Kobra“ aus Brettspertholz