

Zwischen Entwurf

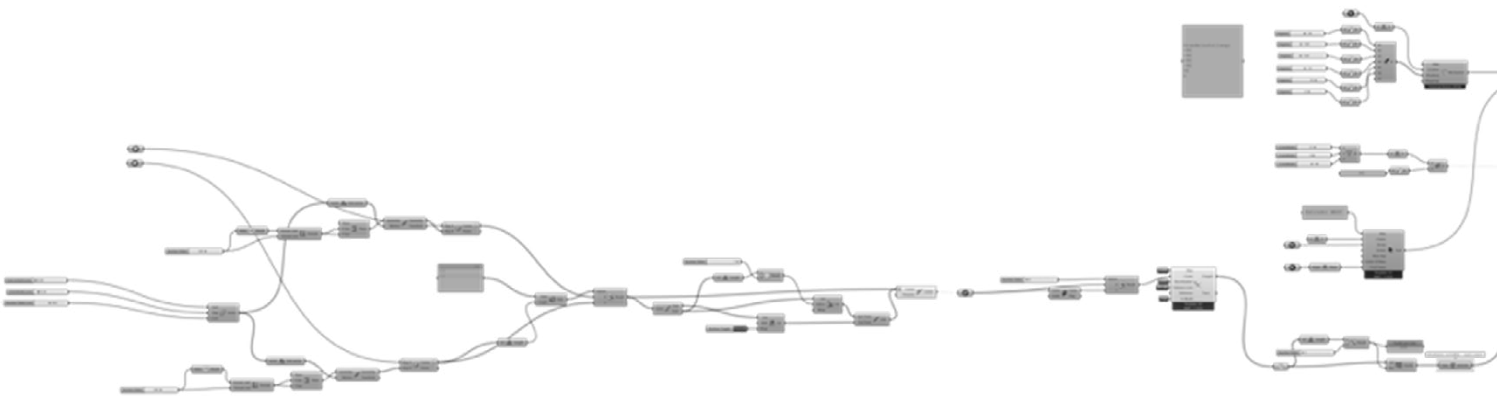


Abb. 1: Interaktion während der robotergestützten additiven Fertigung zwischen Designer, Entwurfsgegenstand, Material und Werkzeugen.

und Resultat

Digitales Handwerk am Beispiel des gestalterischen Umgangs mit Abweichungen innerhalb algorithmisch-maschineller Entwurfs- und Herstellungsprozesse

Designforschungsprojekt und Text: Michael Braun



Michael Braun is a product designer and design researcher and teaches and researches at the Chair of Design Theory and Design Research at the Bauhaus University Weimar. He focuses on contemporary and emerging technologies' impact on design and design processes, bridging theory and practice. In his dissertation, he explores the potential of digital craftsmanship in the field of action design research and examines the paradigm shift in design and manufacturing processes in the digital age. He investigates how computerized design processes enable the development of variable products within a seemingly lost processuality.

Abb. 3: Grasshopperskript zur parametrischen Variantenbildung und Generierung der Werkzeugpfade.

Der Beitrag diskutiert den Paradigmenwechsel in zeitgenössischen Entwurfs- und Herstellungsverfahren im Kontext des digitalen Zeitalters. Dabei werden historische Präzedenzfälle kontextualisiert, etwa die Notationsideen von Leon Battista Alberti, die die Dichotomie von Konzeption und Ausführung entscheidend prägten. Im Zentrum steht die These, dass im Zeitalter der Digitalisierung computergesteuerte Verfahren die Möglichkeit zur Erstellung variabler Produkte innerhalb einer verlorengegangenen Prozessualität (wieder-)eröffnen. Designer_innen übernehmen vermehrt die Kontrolle über den vollständigen Produktionszyklus – unter Verwendung modernster Technologien wie der computergesteuerten additiven Fertigung. Der Beitrag sondiert in diesem Zusammenhang, wie konventionelle Designmethoden im Angesicht dieser Transformationsprozesse neujustiert werden müssen. Beispielhaft wird die gestalterische Verhandlung von Abweichungen bei der Herstellung eines Sitzmöbels aus Porzellan mittels robotischem 3D-Druck behandelt, um auszugsweise eine Annäherung zu dokumentieren, welche Maßnahmen innerhalb dieser emergenten Herstellungsverfahren ergriffen werden können, um ein erweitertes Potenzial dieser Technologien zugänglich und damit für die Disziplinen des Designs fruchtbar zu machen.

Produktion im Wandel der Zeit

Gegenwärtig erfährt die fortschreitende Transformation der Produktionskulturen eine bemerkenswerte Dynamik, die maßgeblich durch die Wiederbelebung des handwerklichen Kernparadigmas charakterisiert ist: die Prozessualität. Diese Prozessualität charakterisiert sich durch eine Vielzahl an Eigenschaften – allem voran sind hier Interaktivität und Variabilität zu nennen. Digitalisierte Designprozesse, die unter Verwendung von Rapid Prototyping nicht nur den Modellbau (mit u.a. Funktionsmodellen, Formmodellen oder Prototypen), sondern auch die Herstellung einschließen können, erfahren diese wiederbelebte Prozessualität in der Interaktion zwischen Designer_in, Entwurfsgeneratoren, Entwurfsgegenstand, Materialien und Werkzeugen (Abb. 1). Genau diese Interaktion ist vergleichbar mit der des traditionellen Handwerks, das sich als Arbeit mit einer Technik oder einem Gerät versteht, bei der die Qualität des Ergebnisses nicht von vornherein feststeht, sondern vom Urteilsvermögen, der Geschicklichkeit und der Sorgfalt der herstellenden Person abhängt (Pye 1968: 20). Dieser Zusammenhang ebnet den Weg zu einer Symbiose, in der traditionelle Handwerklichkeit und Digitalität in eine neue Form der Produktion zusammenfließen, welche sich maßgeblich durch einen Wiedereinzug von Variabilität auszeichnet (Willmann et al. 2014: 181f.).

Historisch betrachtet unterschied sich das Handwerk von industriellen Herstellungsmethoden primär durch den Grad der Differenzierung. Die ästhetischen und funktionalen Eigenschaften, die im Verlauf des 20. Jahrhunderts aufgrund der Industrialisierung und Mechanisierung weitgehend abhandengekommen sind, erfahren nun durch algorithmisch gesteuerte Entwurfs- und Herstellungsmethoden eine unaufhaltsame Wiederbelebung. Dieses Abhandenkommen kann auf Akteur_innen wie Leon Battista Alberti aus der Frührenaissance zurückgeführt werden. In den Büchern 1, 2 und 9 seines Werkes *De re aedificatoria* analysiert Alberti differenzierte Termini, um den konzeptuellen Disparitäten zwischen aedificatio (Bauen) und dem kreativen lineamenta (Entwerfen) Ausdruck zu verleihen. Dieses Paradigma repräsentiert eine der essenziellen Leitlinien seiner architektonischen Theorie und entwickelte eine damals neue Definition von Entwurfszeichnungen und Modellen für ein neues Bauen (Carpo 2011: 36f.). Mit ebensolchen Vorgehensweisen prägte er die klassische Konzeption von Autor_innen- und Urheber_innenschaft, die die Trennung von Kopf und Hand und damit die Trennung von Idee und Ausführung heraufbeschwor. Dabei wurde versucht, keinen Interpretationsspielraum zu lassen, damit Handwerker_innen jene Pläne und damit die zugrundeliegende Idee so umsetzen können sollten, wie es von den Entwerfer_innen intendiert war – ganz ohne Abweichungen. Selbst im traditionellen Buchdruck lässt sich die Evolution der Logik hinter der Trennung von intellektueller Konzeption und manueller Ausführung verdeutlichen: Durch die Anwendung einer mechanischen Druckvorlage (Matrix) im Buchdruckverfahren wurden identische Kopien erzeugt, wobei nicht nur das von Gutenberg avancierte Ziel der Homogenisierung des Textbildes und der Buchstaben erreicht wurde, sondern zugleich jeglicher Raum für Interpretation und Variation bei der Reproduktion vermieden wurde.

Doch diese Form der Produktion stieß in den gestalterischen Disziplinen bis weit ins 19. Jahrhundert hinein größtenteils auf Widerstand. Die Prinzipien der Massenproduktion sowie die inhärenten arbeitsmethodischen Verfahren und ihre soziokulturelle Signifikanz – ja, sogar ihre praktische Realisierbarkeit – wurden erst mit dem Abschluss des Werkbundstreits und der nachfolgenden Gründung des Staatlichen Bauhauses in Weimar in die Paradigmen des modernen Designs inkorporiert. Zugleich haben Akteur_innen wie Peter Behrens angesichts des aufkeimenden Maschinenzeitalters postuliert, dass der Designprozess allein in den Verantwortungsbereich von Designer_innen fallen sollte, während die konkrete Umsetzung einem »Werkmeister« übertragen werden könnte (Behrens 1910: 176f.). Diese von Behrens geforderte Separation zwischen dem kreativen Designprozess und der technisch-handwerklichen Umsetzung verlieh einerseits dem Design eine disziplinäre

»An die Stelle der starren mechanischen Apparate-, wie Press- oder Stanzformen treten flexible digitale Prozesse. Das hat einen maßgeblichen Einfluss auf die bis dato geltenden Produktionskulturen«

Autonomie, während andererseits die industrielle Massenproduktion und ihre inhärenten Prinzipien von Homogenität und Identität weiter vorangetrieben wurden. In der Gegenwart führt die zunehmende Auflösung dieser seit der Renaissance bestehenden Dichotomie zwischen intellektueller Konzeption und Umsetzung, zwischen Kopf und Hand zu fundamentalen Veränderungen. Dies zeigt sich sowohl in den Möglichkeiten der algorithmisch-maschinellen Entwurfs- und Herstellungsprozesse als auch in den daraus resultierenden Debatten zur Autor_innen- und Urheber_innenschaft. Zugleich wird eine implizite, jedoch äußerst bedeutsame Verbindung zu zeitgenössischen Entwurfsmethoden im Design in Bezug auf die handwerkliche Prozessualität hergestellt. Was in der Moderne ein schrittweiser Annäherungsprozess im Entwerfen war, der durch Empirie stets modifiziert wurde, wird heute, im Zeitalter der Digitalisierung, zu einer Interaktion zwischen Designer_innen und den digitalen Entwurfs- und Herstellungswerkzeugen. Während dieser Interaktion wird Intuition und Improvisation innerhalb jener Annäherungen an den Designgegenstand erneut zugelassen, wodurch sie als performative, explorative und durchaus handwerkliche Methode verstanden werden kann.

Möglichkeitenräume und Herausforderungen in algorithmisch-maschinellen Entwurfs- und Herstellungsprozessen

Wie eben ausgeführt, basieren aktuelle algorithmisch-maschinelle Entwurfs- und Herstellungsprozesse im Vergleich zur vordigitalen industriellen Produktion auf einer anderen, oft entgegengesetzten technischen Logik. An die Stelle der starren mechanischen Apparate wie Press- oder Stanzformen treten flexible digitale Prozesse. Das hat einen maßgeblichen Einfluss auf die bis dato geltenden Produktionskulturen, indem zwei wesentliche Verknüpfungen entfallen, die für die klassische industrielle Produktionsweise paradigmatisch waren: einerseits die technische Notwendigkeit der Serienfertigung, sowie andererseits die Kapitalisierung durch hohe Stückzahlen. Denn jedes

digital hergestellte Objekt – ob subtraktiv, formativ oder additiv gefertigt – kann bei gleichem Produktionsaufwand und gleichen Kosten ein variables Objekt (oder »Unikat«) sein, was einen erweiterten Möglichkeitsraum für das Design eröffnet. Dagegen wirken sich höhere Auflagen oder die Herstellung identischer Kopien bei digitalen Herstellungsverfahren nicht wesentlich auf die Produktionskosten aus.

Algorithmisch-maschinelle Entwurfs- und Herstellungsprozesse bringen jedoch erhebliche Herausforderungen mit sich, von denen einige ungelöst, konzeptuell noch nicht hinreichend ergründet oder vielleicht noch unentdeckt geblieben sind (Willmann 2019: 311–319). Insbesondere treten diese Herausforderungen in Bezug auf Fragen nach der optimalen oder »guten« Form, Auflösung oder Materialität, nach dem »korrekten« Maßstab zutage. Diese Aspekte, die traditionell im Entwurfs- und Herstellungsprozess verankert waren, erfahren nun unter dem Einfluss der algorithmisch-maschinellen Entwurfs- und Herstellungsprozesse eine tiefgreifende Destabilisierung. Hierbei sehen wir uns auch mit einem Dilemma konfrontiert: Einerseits eröffnet uns die digitale Umgebung die Möglichkeit, in kürzester Zeit eine schier unerschöpfliche Anzahl von Formvariationen zu generieren, andererseits bleibt jede erzeugte Form im digitalen Raum unaufhörlich veränderbar – sie bleibt in einem Zustand konstanter Variabilität. Wie gestaltet sich also nun die Formfindung im Kontext des digitalen Entwurfs? Wird die ideale Form für konkrete Produkte im digitalen Zeitalter von Designer_innen »gefunden« und bestimmt, oder wird die Form dieser Produkte von, mit oder ganz ohne Designer_innen für jede Person immer wieder neu ausgehandelt, da in digitalen Designprozessen weniger die endgültige Erscheinung der Produkte im Vordergrund steht als vielmehr der Prozess selbst?

Dieses Dilemma – das Potenzial zugleich ist – verdeutlicht ein wachsendes Bedürfnis, algorithmisches Entwerfen an konkrete Kontexte zu binden, um sich in unendlicher parametrischer Variation einer digitalen »Blaupause« anzunähern. Mit anderen Worten: Im Möglichkeitsraum des algorithmisch-variablen Designs ist es wichtiger denn je, Parameter zu kontextuellen Bezügen zu schaffen, die eine Entscheidungsfindung



Abb. 2: Robotergetstützte additive Fertigung von nicht standardisierten Porzellanstrukturen.

anstoßen. Denn, obwohl sich die Möglichkeiten im digitalen Design erheblich erweitert haben (Kurman & Lipson 2013: 20f.), wird dadurch die Entscheidungsfindung komplexer, da sich Fragen stellen, die sich in vordigitalen Entwurfsprozessen für klassische (industrielle) Fertigungsprozesse in dieser Art nicht gestellt haben. Einerseits, da sie u. a. durch starre mechanische Apparate und das verwendete Material zum Teil »vorbeantwortet« wurden, andererseits, da Vereinheitlichungen, Standards oder Normen ein tiefgreifendes Eingehen auf variierende kontextuelle Bezüge verhinderten. Für das Design der Gegenwart könnten demzufolge Einbindungen konkreter individueller Bedürfnisse in das Produkt – über die verwendeten Materialsysteme und Herstellungsprozesse hinaus – stärker ins Gewicht fallen. Letztendlich entsteht am Ende algorithmisch-maschineller Entwurfs- und Herstellungsprozesse, insbesondere im Produktdesign, eine physische, also materielle Entsprechung, die sich nicht mehr substanziell variieren lässt und auch ökologische Konsequenzen mit sich bringt. Der real gewordene »Blob« (Lynn 1999: 30f.) lässt noch auf sich warten¹. Damit braucht es für die aktuelle Entwurfs- und Herstellungspraktiken einen sensibleren Umgang in der Planung und Produktion – ja, ein Bewusstwerden der Potenziale der digitalen Möglichkeiten.

Abweichungen als Entwurfspotenzial: Deviation-driven Design

Dieses Bewusstwerden der Potenziale im Kontext algorithmisch-maschineller Entwurfs- und Herstellungsprozesse wirft bedeutende Fragen auf, die eine umfassende Auseinandersetzung und tiefgreifende Forschung erfordern, um damit ein neues (altes) Verständnis der implizierten Handwerklichkeit im Digitalen anzuerkennen (Braun 2020: 100f.). In diesem Zusammenhang gibt es in der Forschung zu algorithmisch-maschinellen Entwurfs- und Herstellungsprozessen zahlreiche Projekte, die konkrete Verfahren entwickeln, anwenden und sich damit den Fragen des beschriebenen Umbruchs in der Produktentwicklung – und damit der Hinwendung zu einer interaktiveren Entwurfs- und Herstellungspraxis – widmen. Ein

Beispiel ist das Projekt *Potenzielle Digitale Handwerklichkeit* am D-Lab der Professur für Theorie und Geschichte des Design an der Bauhaus-Universität Weimar aus dem Bereich der Aktionsdesignforschung (ADR). In diesem Forschungsprojekt wird das Auftreten von Abweichungen zwischen dem algorithmisch generierten Entwurf einerseits und dem materialisierten Ergebnis andererseits im Bereich der robotergestützten Fertigung untersucht. Abweichungen können erwartungsgemäß oder unerwartet in verschiedenen Qualitäten und Quantitäten auftreten, wie z. B. durch Ungenauigkeiten oder andere verfahrenstechnische Effekte, die aus u. a. Limitationen des verwendeten Werkzeugs oder Eigenschaften des verwendeten Materials in Wechselwirkung zum jeweiligen Entwurf hervorgehen. Letzteres spielt eine Schlüsselrolle, da das mitunter unvorhersehbare Verhalten des Materials zu Abweichungen führen kann und dadurch nicht nur aus ästhetischen und konstruktiven Gründen relevant wird, sondern auch direkte Auswirkungen auf ökologische und ökonomische Dimensionen hat. Um nunmehr die Lücke zwischen dem digitalen Entwurf und dem materiellen Ergebnis zu schließen, gibt es verschiedene Ansätze für den Umgang mit auftretenden Abweichungen. Der naheliegendste und meist frühzeitige Ansatz ist die Neutralisierung von Abweichungen, gefolgt von der Kontrolle oder Beherrschung der Abweichungen, was meist zu standardisierten Abläufen führt. Diese Ansätze werden vor allem in der Serienproduktion angewandt, z. B. durch die Optimierung der Produktionsergebnisse, bis das prototypische Ergebnis die gewünschte Qualität aufweist, um es dann in Masse standardisiert zu reproduzieren. Wenn das Design jedoch variabel oder anpassbar bleibt und nur in kleinen Stückzahlen (oder nur einmal) hergestellt wird, sind solche Optimierungen aus der Zeit der Serienproduktion zu unflexibel und starr, da sie oft nicht auf sich ändernde Designs übertragen werden können.

Ein neuer Ansatz, mit dem sich dieses Forschungsprojekt beschäftigt, ist es, Abweichungen als integrale und produktive Elemente des Designprozesses zu begreifen, da in algorithmisch-maschinellen Entwurfs- und Herstellungsprozessen die Qualität des Ergebnisses – genau wie im traditionellen Handwerk – nicht von vornherein feststeht, da jedes Objekt variabel sein und damit auf spezifische Bedürfnisse einer Person und unterschiedliche Kontexte eingehen kann. Diese Abweichungen manifestieren sich dabei nicht nur als Resultat technologischer Limitationen, sondern gehen ebenso auf den prozessualen und performativen Raum der Möglichkeiten zurück, der sich während der Herangehensweise an den Gestaltungsgegenstand entfaltet. So werden in diesem Ansatz auftretende Abweichungen parametrisiert, was eine interaktive Erkundung des Designraums eröffnet, die die Wahrnehmung, das Verständnis und die Akzeptanz von Abweichungen nejustiert und infolgedessen einen effektiven und effizienten Umgang mit ihnen ermög-

1 Der Begriff »Blob« wurde durch den Science-Fiction-Horrorfilm *The Blob* (Regie: Irvin Yeaworth, Drehbuch: Kay Linaker und Theodore Simonso) aus den 1950er Jahren geprägt. Der »Blob« im Film ist eine außerirdische schleimige Substanz, die Menschen absorbiert und dabei ständig wächst und ihre Form verändert. Diese Charakteristik des »Blobs« wurde von Personen wie Greg Lynn in den Bereichen des Designs und der Architektur mit digitalen Entwurfs- und Fertigungstechnologien in Verbindung gebracht. In diesem Kontext versteht sich ein »Blob« als eine amorphe, oft organisch wirkende Form, die erst Dank fortschrittlicher digitaler Entwurfs- und Fertigungstechnologien konzeptionell erkundet werden konnte. Diese Formen brechen mit den traditionellen geometrischen Konventionen und bieten neue ästhetische und strukturelle Möglichkeiten u. a. im Design und in der Architektur.

»Algorithmisch-maschinelle Entwurfs- und Herstellungsprozesse erlauben die Entwicklung variabler Produkte unter Einbeziehung verlorengelaubter Prozessualität als eine digitale Handwerklichkeit.«

licht. Aufgrund der erhöhten Komplexität eines algorithmischen Entwurfs und der robotergestützten Fertigung von nicht standardisierten Porzellanstrukturen ist es nicht möglich, alle potenziellen Abweichungen im Voraus zu simulieren oder vorherzusagen. Daher sind neben den üblichen digitalen Simulationsmethoden, die nur bedingt helfen können, auch materialisierte »Blaupausen« unerlässlich (Abb. 2).

In diesem Zusammenhang wird in einer Fallstudie innerhalb des Forschungsprojekts untersucht, wie Abweichungen, die bei der additiven Roboterfertigung von nicht standardisierten Porzellanstrukturen auftreten, gehandhabt werden können. Im Gegensatz zu konkurrierenden Ansätzen, die – wie eingangs ausgeführt – darauf abzielen, Abweichungen zu eliminieren, wird ein neuartiger computergestützter Entwurfsablauf für die Roboterfertigung vorgestellt, der diese Ansätze erweitert. Er umfasst dabei den computergestützten Entwurf nicht standardisierter Porzellanstrukturen, der Abweichungen zur treibenden Kraft des Entwurfs macht, sowie die Übertragung von Entwurfsdaten in einen robotergestützten Fertigungsprozess und die Integration dieser Ergebnisse in ein einheitliches System und dessen Entwurfsimplikationen. Letztlich ermöglicht dieser Ansatz nicht nur die Beherrschung nicht modellierter oder unerwarteter Abweichungen, sondern bietet auch einen kontrollierten Umgang mit ihnen durch Parametrisierung oder Computerisierung und eröffnet eine interaktive Designraumerforschung (»Deviation-driven Design«). Konkret demonstriert eine Reihe von digitalen und Materialexperimenten den Nutzen und das Potenzial des entwickelten Workflows und verdeutlicht damit die Prozessintegration als prozessbezogene Interaktion zwischen Designer_in, Modellierungswerkzeugen für Design (Rhinoceros 3D, Grasshopper) und Strukturoptimierung (Millipede, ein Plug-in für Grasshopper), Simulationswerkzeugen (Hal-Robotics), Fertigungswerkzeugen (Universal Robot 10e, WASP Extruder XL), Material (Porzellan, bestehend aus Feldspat, Kaolin und Quarz) und Fertigungsergebnissen (nicht standardisierte Strukturen), einschließlich der damit verbundenen Prozesse des Trocknens, Brennens und Zusammen-

fügens zu strukturellen Konfigurationen. Die resultierenden nicht standardisierten Porzellanstrukturen und ihre Konfigurationen bieten eine einzigartige Materialästhetik und beweisen die Machbarkeit des vorgeschlagenen Workflows unter realen Bedingungen. In der Anwendung dieses Workflows zeigt sich die Rückkehr der Prozessualität aus dem Exil des Kunsthandwerks durch eine autonome und ergebnisoffene Konfluenz von konzeptueller Entwurfsbildung und Formgebung. Durch die scheinbar grenzenlosen Möglichkeiten an digitalen Formvariationen innerhalb kontinuierlicher Interaktion wird eine umfassende Bandbreite an potenziellen Designs generiert (Abb. 3) und die Möglichkeit geschaffen, bereits während des Entwurfsprozesses ausgewählte Bauteile, Bauteilgruppen oder den gesamten Gegenstand selbst zu fabrizieren – ohne, wie innerhalb noch weitverbreiteter Massenproduktionsprozesse der Industrie, komplexe Formen entwickeln zu müssen, die solche Erprobungen kostspielig und oftmals in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit der Entwicklung undenkbar machen.

Insbesondere dieser Moment, zwischen dem Gemachtwerden und dem Gemachtsein, eröffnet einen weiteren, schier unendlichen Raum an Variation im Abgleich der physisch-materiellen Machbarkeit des digitalen Entwurfs, da die unzureichenden Simulationsfähigkeiten der genutzten Entwurfssoftware zum Zeitpunkt der Herstellung den algorithmischen Entwurf auf die Probe stellen. Damit ist gemeint, dass bestimmte Aspekte des Designs wie die Körperlichkeit und damit Erfahrungen, die im digitalen Medium nicht direkt darstellbar sind, wie z. B. taktile oder akustische Qualitäten, oft unberücksichtigt bleiben. Diese sind jedoch entscheidend für die Benutzer_innenfreundlichkeit, sodass eine Einbettung im Realmaßstab und Erprobung der Funktionalität im entsprechenden Kontext (Abb. 4) bereits während des Designprozesses zu weiteren und kontinuierlichen Varianten in der Entwurfsbildung führen kann, um diese auf die jeweiligen Bedürfnisse, beispielsweise ergonomische Anforderungen, anzupassen.



Abb. 4: Version 1 eines robotisch
hergestellten Sitzmöbels aus Porzellan.

0X000000000000000000000000

0000000X00

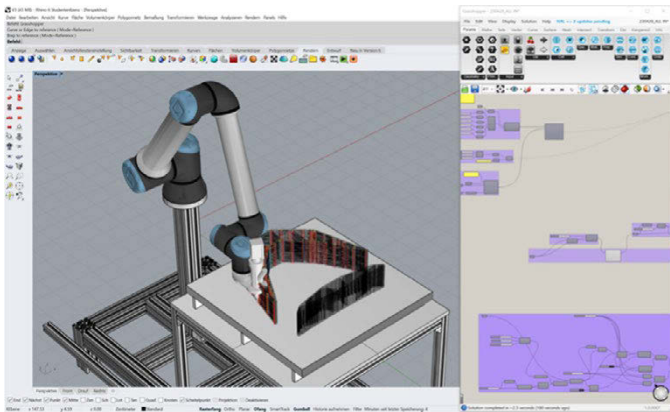


Abb. 5: Simulation der Roboterbewegungen durch das Plugin Hal für Grasshopper.

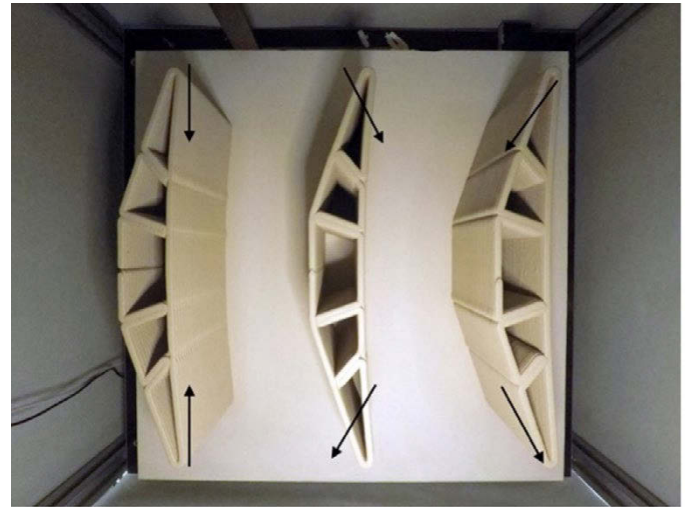


Abb. 6: Komparative Studie unterschiedlicher Werkzeugpfade am Beispiel einer Porzellanstruktur (Sitzfläche) des Sitzmöbels, mit kontrollierten Deformationen in festgelegten Richtungen.

Behrens, Peter (1910): Kunst und Technik. Vortrag auf der 18. Jahresversammlung des Verbandes Deutscher Elektrotechniker in Braunschweig am 26.5.1910. Der Industriebau. 1. Jg., Heft 8, Berlin.

Braun, Michael (2020): Neue Perspektiven des Digital Turn: Computerbasiertes Entwerfen als Digitale Handwerklichkeit. In: Siegfried Gronert & Thilo Schwer (Hg.): Im Zeichen des Bauhauses 1919–2019. Stuttgart: avertedion.

Carpo, Mario (2011): The Alphabet and the Algorithm. Cambridge/MA: MIT Press.

Lipson, Hod & Melba Kurman (2013): Fabricated: The New World of 3D Printing. Indianapolis: Wiley.

Lynn, Greg (1999): Animate Form. New York: Princeton Architectural Press.

Pye, David (1968): The nature and art of workmanship. London: Herbert Press.

Willmann, Jan, Fabio Gramazio & Matthias Kohler (2014): The Robotic Touch – How Robots Change Architecture. Zürich: Park Books.

Willmann, Jan (2019): Gegenwart mit Geschichte: Entwurf und Urheberchaft im digitalen Zeitalter. In: Winfried Speitkamp & Claudia Weinreich (Hg.): Idee Inhalt Form: Beiträge zur Gestaltung der Gegenwart. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar.

Darüber hinaus stoßen die konzeptuell oftmals überbe-
mühten Potenziale theoretischer Debatten der digitalen Her-
stellung (Kurman & Lipson 2013: 20f.) in der Anwendung
in spezifischen Kontexten oftmals an technologische, materielle
oder funktionale Grenzen, die eine Realisierung des digitalen
Entwurfs einschränken. Dies führt zu der Erkenntnis, dass der
Einsatz spezifischer (digitaler) Fertigungsverfahren und Mate-
rialsysteme darüber entscheidet, welche der allseits bekannten
Potenziale digitaler Entwurfs- und Fertigungsverfahren in wel-
cher Qualität materielle Realität werden können und welche
nicht. Es zeigt sich damit auch, dass der Möglichkeitsraum im
digitalen Zeitalter in letzter Konsequenz bzw. zum Zeitpunkt
der Herstellung der daraus resultierenden Entwürfe (noch)
nicht unendlich ist und Abweichungen – wie im Handwerk –
auch im digitalen Zeitalter trotz effizienter Technologien inhä-
rente Bestandteile bleiben.

Ein konkretes Beispiel einer in der Forschungsarbeit untersuchten materiellen Abweichung zwischen algorithmischem Entwurf und robotisch hergestelltem Objekt ist die entstehende Deformation des additiv fabrizierten Porzellanobjekts während der Trocken- und Brennvorgänge im Ofen. Anhand dieser Abweichung wird nochmals das Potenzial des Abgleichs in Bezug auf die physisch-materielle Machbarkeit deutlich, die innerhalb der verwendeten Entwurfssoftware nicht abgebildet werden kann. Es wurde die Erkenntnis gewonnen, dass die Qualität des Druckergebnisses nicht nur durch die lokale und globale Geometrie des digitalen Entwurfs oder die Zusammensetzung des Materials beeinflusst wird, sondern ebenso maßgeblich durch die Bewegungsrichtung des industriellen Manipulators während der additiven Herstellung (3D-Druck). Da die Bewegungsrichtungen des industriellen Manipulators bereits ab dem algorithmischen Entwurf, durch die sogenannten Werkzeugpfade, bestimmt und beeinflusst werden, können die Erkenntnisse aus den materiell-iterativen Erprobungen in den computerbasierten Entwurf bidirektional zurückfließen und jene Deformation per Definition »berechenbar« machen, um sie anschließend auf nachkommende Variationen des Entwurfs zu übertragen (Abb. 5). Diese Untersuchung steht daher beispielhaft für die Eröffnung eines unerwarteten Möglichkeitsraums im Um-

gang mit derartigen Abweichungen – denn hierbei muss nicht zwangsläufig ein »ingeniöses« Umgehen dieser Abweichung in Form der Vermeidung oder Reduktion, quasi interpretiert als Fehlerhaftigkeit, als Einzellösung für einen konkreten Entwurf herangezogen werden, sondern ermöglicht der algorithmisch-maschinelle Entwurfs- und Herstellungsprozess zugleich einen intuitiven, frivolen – ja, fast spielerischen – Umgang mit jenen ungeplanten Momenten im Entwurfsprozess. Beispielsweise werden in Bezug auf Deformationen konkrete Bewegungsrichtungen und -geschwindigkeiten des industriellen Manipulators so eingesetzt, dass sich das 3D-gedruckte Objekt »kontrolliert« während des Trocknens und Brennens in vorab bestimmte Ausprägungen und Richtungen deformiert (Abb. 6).

Wie dargestellt, ist ein Paradigmenwechsel im Design im Kontext des digitalen Zeitalters unverkennbar, in dem konventionelle (vordigitale) Designmethoden neujustiert werden. Algorithmisch-maschinelle Entwurfs- und Herstellungsprozesse erlauben die Entwicklung variabler Produkte unter Einbeziehung verlorengegaubarer Prozessualität als eine digitale Handwerkslichkeit. Designer_innen gewinnen zunehmend Einfluss über den gesamten Produktionszyklus zurück, insbesondere durch Technologien wie den 3D-Druck, was zu einem Anstoß weitläufiger Transformationsprozesse und damit zu einer Hinwendung zu neuen Designverständnissen führt. Zugleich treten mit den Chancen ebensolcher Entwurfs- und Herstellungsverfahren durch die Wiederkehr der Prozessualität bedeutsame Herausforderungen auf. Diese betreffen nahezu jede Phase der Entwicklung von Produkten – sogar die Autor_innen- und Urheber_innenschaften –, da sie unter dem Einfluss der Digitalisierung destabilisiert werden. Der noch größtenteils verbreitete und zugleich veraltet wirkende Designbegriff ist noch zu sehr durch die Identität der Produktion der Moderne an Serialisierung, Standardisierung und Typifizierung gebunden.

Das digitale Zeitalter befreit das Design von dieser Einseitigkeit und bringt Variabilität, Interaktivität und Improvisation zurück in die Produktionskulturen, und damit die Möglichkeit einer intuitiveren und performativeren Designpraxis.