

Experimentieren

Séverine Marguin
Henrike Rabe
Wolfgang Schäffner
Friedrich Schmidgall
(Hg.)

Einblicke in Praktiken
und Versuchsaufbauten
zwischen Wissenschaft
und Gestaltung

[transcript]

**Experimentieren.
Einblicke in Praktiken und Versuchsaufbauten
zwischen Wissenschaft und Gestaltung**

Séverine Marguin
Henrike Rabe
Wolfgang Schäffner
Friedrich Schmidgall
(Hg.)

Science Studies

Séverine Marguin (Dr.), geb. 1985, Soziologin, ist Leiterin des Methodenlabs im SFB 1265 *Re-Figuration von Räumen* an der Technischen Universität Berlin. Sie forschte zwischen 2015 und 2018 am Exzellenzcluster *Bild Wissen Gestaltung. Ein interdisziplinäres Labor der Humboldt-Universität zu Berlin* und promovierte in Arbeits- und Kunstsoziologie an der Leuphana Universität Lüneburg sowie der   cole des Hautes études en Sciences Sociales Paris.

Henrike Rabe (Dipl.-Ing.), geb. 1980, ist Architektin und forschte von 2012 bis 2018 am Exzellenzcluster *Bild Wissen Gestaltung. Ein interdisziplinäres Labor der Humboldt-Universität zu Berlin*. Zuvor betreute sie als Senior Architect bei Kazuhiro Kojima + Kazuko Akamatsu/CAT in Tokio die Planung von Universitäten, Schulen, Medienzentren und Museen. Sie studierte Architektur an der Technischen Universität Berlin.

Wolfgang Sch  ffner (Prof. Dr. phil.), geb. 1961, ist Professor für Wissens- und Kulturgeschichte an der Humboldt-Universität zu Berlin. Er ist Sprecher des Exzellenzclusters *Matters of Activity* und Direktor des Hermann von Helmholtz-Zentrums für Kulturtechnik der Humboldt-Universität zu Berlin. Seit 2005 ist er Profesor invitado permanente und Direktor des Walter Gropius Forschungsprogramms an der Universidad de Buenos Aires.

Friedrich Schmidgall (Dipl.-Des.), geb. 1984, ist Interaction Designer und leitet das Open Lab am Einstein Center Digital Future der Technischen Universität Berlin. Von 2012 bis 2018 forschte er am Exzellenzcluster *Bild Wissen Gestaltung. Ein interdisziplinäres Labor der Humboldt-Universität zu Berlin*. Er studierte Industriedesign an der Hochschule der Bildenden Künste Saar in Saarbrücken und Interaction Design an der Weißensee Kunsthochschule Berlin.

Experimentieren.

Einblicke in Praktiken und Versuchsaufbauten zwischen Wissenschaft und Gestaltung

Séverine Marguin
Henrike Rabe
Wolfgang Schäffner
Friedrich Schmidgall
(Hg.)

[transcript]

*Experimentieren. Einblicke in Praktiken
und Versuchsaufbauten zwischen
Wissenschaft und Gestaltung*
Herausgegeben von Séverine Marguin,
Henrike Rabe, Wolfgang Schöffner und
Friedrich Schmidgall

Für den Exzellenzcluster *Bild Wissen
Gestaltung. Ein interdisziplinäres Labor*
Humboldt-Universität zu Berlin

Lektorat (außer Beitrag Berg) und Korrektorat
Dagmar Deuring (Deutsch)
Beste Worte GmbH (Englisch)

Umschlaggestaltung, Innen-Layout und Satz
www.studiogretzinger.de

Koordination
Sarah Etz

Schriften
A-Grotesk (Katja Gretzinger),
GT Super (Grilli Type)

Druck
Majuskel Medienproduktion GmbH, Wetzlar

Print-ISBN 978-3-8376-4638-2
PDF-ISBN 978-3-8394-4638-6
<https://doi.org/10.14361/9783839446386>

Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier
mit chlorfrei gebleichtem Zellstoff.

Besuchen Sie uns im Internet:
<https://www.transcript-verlag.de>
Bitte fordern Sie unser Gesamtverzeichnis
und andere Broschüren an unter:
info@transcript-verlag.de

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese
Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet
über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.



Dieses Werk ist lizenziert unter der Creative
Commons Attribution 4.0 Lizenz (BY). Diese
Lizenz erlaubt unter Voraussetzung der Namens-
nennung des Urhebers die Bearbeitung,
Vervielfältigung und Verbreitung des Materials in
jedem Format oder Medium für beliebige
Zwecke, auch kommerziell. (Lizenztext: [https://
creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de))
Die Bedingungen der Creative-Commons-Lizenz
gelten nur für Originalmaterial. Die Wieder-
verwendung von Material aus anderen Quellen
(gekennzeichnet mit Quellenangabe) wie
z.B. Schaubilder, Abbildungen, Fotos und Text-
auszüge erfordert ggf. weitere Nutzungsgenehmi-
gungen durch den jeweiligen Rechteinhaber.

Erschienen 2019 im transcript Verlag, Bielefeld
© Séverine Marguin, Henrike Rabe, Wolfgang
Schöffner, Friedrich Schmidgall (Hg.)

Trotz intensiver Bemühungen ist es nicht bei allen
Abbildungen gelungen, Urheberchaft und
Herkunft zu klären. Berechtigte Ansprüche
werden selbstverständlich abgegolten.



Sponsored by



Die Publikation wird ermöglicht durch den Exzel-
lenzcluster *Bild Wissen Gestaltung. Ein Interdiszi-
plinäres Labor* der Humboldt-Universität zu Berlin
(Fördernr. EXC 1027/1) und die finanzielle Unter-
stützung durch die Deutsche Forschungsgemein-
schaft im Rahmen der Exzellenzinitiative.

9

Einleitung

Séverine Marguin, Henrike Rabe,
Wolfgang Schäffner, Friedrich
Schmidgall

25

**Etwas über Kulturen
des Experimentierens**

Hans-Jörg Rheinberger

37 Durchqueren

**Experimentieren im Feld der
Kunst als Praxis im Offenen**

Elke Bippus

51 Entwerfen

Upscaling Textiles.

**Experimenteller Materialentwurf
im räumlichen Kontext**

Christiane Sauer

67 Erfahren

**Experimente mit technischer
Demokratie in Entwurfskursen**

Ignacio Farías,
Thomás Sánchez Criado

81 Experimentieren
Probieren
Versuchen

**Experimentelle Praktiken
in Wissenschaften, Technik
und Literatur**

Gunhild Berg

93 Improvisieren

**Playing with Virtual Realities.
A Practice-based-Research
Experiment in Dancing with
Technology**

Einav Katan-Schmid

107 Ko-laborieren

**Die Experimentalzone.
Raumforschung an der**

**Schnittstelle zwischen Gestaltung
und Sozialwissenschaft**

Séverine Marguin, Henrike Rabe,
Friedrich Schmidgall

123 Kombinieren

Durch den Datenschwungel
auf der Suche nach Erkenntnis.
Experimentieren in der
molekularen Mikrobiologie
Regine Hengge

137 Kontrollieren

Laborexperimente in der
wirtschaftswissenschaftlichen
Forschungspraxis
Juliane Haus

151 Messen

Ein Bericht aus der
Physikforschung
Interview mit Norbert Koch

161 Modellieren

Virtuelle Experimente zur
funktionellen Morphologie
der Wirbeltiere
John A. Nyakatura, Oliver E.
Demuth

175 Multiplizieren

The experiment assemblage.
Transforming healthcare through
three versions of the experiment
Peter Danholt, Morten Bonde
Klausen, Claus Bossen

189 Plausibilisieren

(Re-)Konstruktion als Experiment.
Sehen und Hören in antiker
Architektur
Christian Kassung, Susanne Muth

205 Proben

Ein Bericht aus der
choreografischen Praxis
Interview mit Lea Moro

215 Programmieren

Zwischen Mensch und Technik.
Das Experiment in der Informatik
Claudia Müller-Birn,
Jesse Josua Benjamin

227 Prototyping

Von Grund auf. Einige Bemerkungen
zum Experimentieren
im Design
Jörg Petruschat

247 Provozieren

Unwiederholbare Experimente.
Entwerfen zwischen Grenzziehung
und Überschreitung
Carolin Höfler

263 Publizieren

Ein Bericht aus der interdis-
ziplinären Wissensvermittlung
Interview mit Kerstin Germer

275 Rechnen

Mathematische Physik von
Raum, Zeit und Materie
Matthias Staudacher

283 Simulieren

Experimente in der Büro-
raumgestaltung. Konzepte,
Herausforderungen und
praktische Beispiele aus Sicht
der Architektur
Kerstin Sailer

297 Skalieren

The Seductive Trap of Linear
Thinking. Skalierungseffekte
im Experiment
Reinhard Wendler

309 Spielen

Ludische Intervention. Experiment
und Gameplay
Robert M. Erdbeer

323 Systematisieren

Entwerfen um 1960. Methodische
Objektivität zwischen Kalkül
und Intuition
Claudia Mareis

341 Variieren

Die Psychologie des
Experimentierens und das
Experiment in der Psychologie
Robert Gaschler

355

Über die AutorInnen
Abbildungsnachweise

Einleitung

Forschen und Gestalten sind Vorgehensweisen, die darauf ausgerichtet sind, etwas Neues, noch nicht Existierendes hervorzu- bringen. Insoweit haben beide Projektcharakter, da sie sich einem Nullpunkt des Wissens aussetzen, wo noch nicht sicher ist, ob und wie ein Problem gelöst oder als Projekt realisiert werden kann. Doch welche Strategien und Verfahren sind es, die aus diesem Nichtwissen, diesen Vermutungen und Ideen zu konkreten Ergeb- nissen führen? Als Raum des Experimentierens ist für solche Vorgehensweisen seit dem 19. Jahrhundert das Labor als elemen- tarer Ort der Wissensproduktion entworfen worden: Hier werden in kontrollierter Weise kritische Konstellationen und Momente des Nichtwissens untersucht und manipuliert, die etwas Neues möglich machen. „Was wirklich neu ist, muss sich einstellen, es muss sich ereignen“, schreibt Hans-Jörg Rheinberger. „In den neuzeitlichen Wissenschaften hat sich der Forscher mit dem Experiment eine empirische Struktur geschaffen, eine Umgebung, die es erlaubt, in diesem Zustand des Nichtwissens um das Nichtwissen handlungs- fähig zu werden“ (Rheinberger 2014: 233 f.). Beschreibungen dieser fundamentalen Serendipität des Forschens machen deutlich, dass es beim Experimentieren um einen Prozess geht, für den bestimmte Routinen entwickelt werden, der aber auch eine große Offenheit darstellt und einen elementaren Kern des Entwerfens und Gestal- tens enthält.

Vor diesem Hintergrund haben wir am interdisziplinären Labor *Bild Wissen Gestaltung* eine enge Zusammenarbeit von historisch- theoretischer Analyse, naturwissenschaftlichem Experimentieren und gestalterischem Entwerfen entwickelt. Diese Kollaboration von Geistes-, Natur- und Technikwissenschaften mit Gestaltungs- disziplinen als gleichrangigen Partnerinnen verbindet sehr unter- schiedliche Wissenskulturen und Praktiken und sie verändert tradierte Forschungsprozesse in entscheidender Weise. Eine solche Zusammenarbeit, die als „trading zone“ (Galison 1997, 1999) selber zum Experiment mit hybriden Anordnungen wird, macht das Anliegen des vorliegenden Bandes deutlich, in dem es darum geht, die Schauplätze des historischen Arbeitens, empirischer

soziologischer Analysen, des gestalterischen Entwerfens und des naturwissenschaftlichen Forschens durch die Frage nach dem Experimentieren in einen methodischen Zusammenhang zu bringen. Für ein solches Unternehmen gibt es gegenwärtig einzigartige Bedingungen, wie der Blick auf die erstaunliche Wende der Naturwissenschaften zur Gestaltung deutlich macht (Sch  ffner 2010). Diese bisher auf die Analyse der Natur ausgerichteten Disziplinen wenden sich nun der gestaltenden Synthese von elementaren Bausteinen zu. Damit zeigen sich im Inneren dieser Experimentalwissenschaften Entwurfsprozesse, wie sie sonst nur in den klassischen Gestaltungsdisziplinen zu finden waren. Und umgekehrt wird durch die neuere Gestaltungs- und Entwurfsforschung deutlich, dass auch Entwurfsprozesse eine fundamentale experimentelle Dimension verkörpern. Daraus ergeben sich viele überraschende Überschneidungen und Kombinationsmöglichkeiten, die klassische Unterschiede von Disziplinen gerade in einer auf experimentelle Praktiken ausgerichteten Zusammenarbeit produktiv werden lassen.

Um Kollaborationsformen einer Vielzahl von Disziplinen zu untersuchen, haben wir einerseits eine empirische Versuchsaapparatur entwickelt, die es ermöglicht, interdisziplinäre Arbeitsprozesse selbst als Experiment zum Gegenstand der Untersuchung zu machen, um sie als hybride Praxis beobachten, analysieren und gestalten zu können. Zugleich haben wir das Experimentieren als vielfältige Praxis ins Zentrum unserer Untersuchungen gestellt, die als gemeinsamer Nenner den Raum, die Praktiken und kollaborativen Aktivitäten im interdisziplinären Labor bestimmen. Zur genaueren Verdeutlichung der Vielfalt und Produktivität des Experimentierens haben wir zwischen 2015 und 2017 die Workshopreihe „ExpertInnen des Experiments“ mit VertreterInnen aus unterschiedlichen Disziplinen organisiert. Vor diesem Hintergrund stellt dieser Band an eine ganze Reihe von Forschenden die Frage nach dem Experiment und damit die Frage nach ganz unterschiedlichen Kulturen des Experimentierens, die als solche vor allem im Vergleich dieser verschiedenen Formate sichtbar werden können. Dabei geht es nicht darum, eine einförmig naturwissenschaftlich geprägte Definition als Maßstab an andere Formate des Experimentierens anzulegen. Vielmehr soll in dieser vergleichenden Analyse experimenteller Kulturen der eigentümliche Raum der Offenheit deutlich werden: Wir haben deshalb eine möglichst breitgefächerte Auswahl an Disziplinen angestrebt und konnten ExpertInnen aus den Feldern Anthropologie, Archäologie, Architektur, Biologie, Choreografie, Designtheorie und -forschung,

Ethnologie, Wissenschaftsillustration, Human-Centered Computing, Informatik, Interaction Design, Literaturwissenschaft, Kunsttheorie und -geschichte, Kulturwissenschaft, Medienwissenschaft, Mikrobiologie, biologische Morphologie, Physik, Philosophie, Psychologie, Science and Technology Studies, Soziologie, Tanz, theoretische Physik und Wissenschaftsgeschichte gewinnen. Es ging uns dabei darum, die Experimente der unterschiedlichen Disziplinen „auf einer Ebene“ zu verorten, zu analysieren (Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte 2001) und damit in einen produktiven Zusammenhang zu bringen.

Die von uns durchgeführten Workshops hatten gezeigt, dass der Begriff des Experiments nicht disziplinär zu fassen ist. Denn Experimente zeichnen sich durch eine große Vielfalt auch innerhalb einer vermeintlich homogenen Disziplin aus, wie auch durch überraschende Gemeinsamkeiten zwischen unterschiedlichen Disziplinen. Wie kann man also die Praxis des Experimentierens disziplinenübergreifend untersuchen und beschreiben? Wie kann dabei der Komplexität der unterschiedlichen Konstellationen Rechnung getragen werden? Und wie verändert sich schließlich auch das Bild des Experimentierens und welche neuen kollaborativen Möglichkeiten ergeben sich daraus für eine interdisziplinäre Forschungspraxis?

Das klassische Bild des Experimentierens ist vor allem von den Naturwissenschaften geprägt, die in ihren Labors seit Mitte des 19. Jahrhunderts in fast allen Disziplinen das Experimentieren als zentrales Vorgehen entwickelt haben. Der *wissenschaftliche Versuch* gilt heute als eine „scientific procedure undertaken to make a discovery, test a hypothesis, or demonstrate a known fact“ (Oxford Dictionaries 2018). Dafür werden durch die Forschenden Variablen bestimmt und in einer künstlichen, stark kontrollierten Umgebung getestet. Es gilt, Vorgänge „möglichst frei von allen ungewollten Einwirkungen zu verwirklichen, um durch Messung der Zahlenwerte der in sie eingehenden Größen und durch Variation der Versuchsbedingungen zur Aufstellung eines mathematisch formulierten Gesetzes zu gelangen“ (Westphal 1956: 6). Die naturwissenschaftliche Definition im Sinne von „Reproduzierbarkeit, Standardisierbarkeit und Messbarkeit“ (Kühl 2009: 535) prägt das heutige Verständnis des Begriffs maßgeblich (Berg 2011: 140). Im Unterschied dazu ist das Experiment im Sinne eines *gewagten Unternehmens* definiert als „course of action tentatively adopted without being sure of the outcome“ (Oxford Dictionaries 2018). Diese Definition wird oft mit gestalterischen Experimenten assoziiert, wie die Charakterisierung künstlerischen Experimentierens als

„erkundendes, probierendes, ungewohntes Vorgehen“ zeigt (Jäger 1997: 546). Darüber hinaus wird das künstlerische Experiment als „innovativer wie singulärer Akt der Erfindung, Entdeckung oder Schöpfung durch neuartige künstlerische Techniken“ beschrieben (Berg 2011: 143), während es andererseits auch nur als ein Experimentieren „im metaphorischen Sinne“ verstanden wird (Jäger 1997: 546).

Diese Vorstellungen zeigen jedoch, dass sich mit dem Experimentieren ein breites und heterogenes Aktionsfeld öffnet. So situieren sich die Experimente in den ganz unterschiedlichen in diesem Band vertretenen Disziplinen in einem Spannungsfeld zwischen *hypothesengeleitetem* und *explorativem* Vorgehen. Während einige ForscherInnen vorrangig hypothesengeleitet arbeiten (z. B. Robert Gaschler), andere eher explorativ (z. B. Ignacio Far  as und Thom  s S  nchez Criado), ist unter den Beiträgen überraschenderweise eine kombinierte Vorgehensweise recht häufig (z. B. Regine Hengge). Darüber hinaus kann auch das von vielen AutorInnen beschriebene iterative Vorgehen oder Trial-and-Error-Verfahren zwischen hypothesengeleitetem und explorativem Vorgehen verortet werden. Denn während solche Vorgehensweisen insgesamt oft explorativ sind, wird bei einem einzelnen Trial oder Versuch meist eine implizite oder explizite These getestet. Iterative und Trial-and-Error-Methoden werden sowohl von Natur- und GeisteswissenschaftlerInnen als auch von GestalterInnen und KünstlerInnen in diesem Sammelband als Methode genannt.

Zudem fokussieren die Experimente häufig entweder auf *wiederholbare* oder gerade auf *unwiederholbare* Ereignisse. Während Wiederholbarkeit beispielsweise in den von Norbert Koch beschriebenen Physikexperimenten von großer Bedeutung ist, spielt sie Carolin Höfler zufolge in den von ihr untersuchten Architekturprojekten keine Rolle. Geht es um die Analyse von Ausnahmen und Singularitäten, soll das Experiment gerade Sachverhalte sichtbar werden lassen, deren Einmaligkeit oftmals schwer detektierbar und kaum wiederholbar ist. Darüber hinaus gibt es ambivalente Beispiele wie bei Lea Moro in der Choreografie, wo die Wiederholbarkeit erst nach dem Experiment wichtig wird.

Als wichtiges Charakteristikum lassen sich Experimente auch in einem Spannungsfeld zwischen *physisch* und *virtuell* oder *simuliert* verorten. Vorrangig physisch experimentiert wird beispielsweise in der gestaltenden Materialforschung von Christiane Sauer, während die archäologischen Experimente von Christian Kassung und Susanne Muth ausschließlich im virtuellen Raum simuliert werden. Darüber hinaus wurden auch Experimente, die physische und

virtuelle Strategien kombinieren, dargestellt: Die Experimente von John A. Nyakatura und Oliver E. Demuth wechseln zwischen physisch und virtuell, denn die Knochen und Muskeln eines petrifizierten Tieres werden zunächst vom physischen Objekt digital gescannt, dann digital weiter modelliert und getestet und schließlich wieder als Material 3D-gedruckt. Nicht abwechselnd, sondern gleichzeitig physisch und virtuell sind dagegen die Tanzexperimente von Einav Katan-Schmid, die diese Schnittstelle dezidiert thematisieren. Zudem gibt es auch viele Simulationsexperimente etwa in den Bereichen des Ingenieurwesens, wo physische Experimente, die enorme Kosten bedeuten würden, zunächst durch Simulationsexperimente ersetzt werden, um die physischen Experimente dann schon weit präziser durchführen zu können.

All diese sehr unterschiedlichen Formen haben die Möglichkeit einer Definition des Experimentierens auf der Basis naturwissenschaftlicher Richtlinien immer mehr zurückgedrängt. Auch die klassische Dichotomie zwischen wissenschaftlichen Experimenten auf der einen und gestalterischen Versuchen auf der anderen Seite ist längst obsolet geworden. Sogar in Bezug auf die naturwissenschaftlichen Experimente selbst wurde deren Reduktion auf Messbarkeit, Standardisierbarkeit, kontrollierte Umgebung und Reproduzierbarkeit bereits vielfach in Frage gestellt.

Demzufolge spielen in allen Konstellationen die *Differenz*, das *Zufällige*, die *Kreativität*, *unscharfe Konturen* und das *Einmalige* eine wichtige Rolle: Der Wissenschaftshistoriker Hans-Jörg Rheinberger plädiert für eine „differentielle Reproduktion“, bei der die Reproduktion – im Sinne der Aufrechterhaltung der materiellen Bedingungen eines Experimentalprozesses – *Differenz* im Sinne eines Abweichens erzeugt: „Letztlich ist jede Innovation in einem grundlegenden Sinn ein Resultat – vielleicht eher noch ein Zufall, ein Abfall – solcher Reproduktion“ (Rheinberger 2001: 77). Das *Zufällige*, auch als Serendipity bezeichnet, definiert er als ein „Auf-treten von Dingen und Zusammenhängen, nach denen man nicht gesucht hat“ (Rheinberger 2001: 145). Solche nicht vorwegnehmbaren Ereignisse sind hochrelevant, denn sie können die Neufokussierung ganzer Forschungsunternehmen bewirken (ebd.). Inwieweit eine solche *Kreativität* unabdingbar ist, zeigen schon die Experimente des Chemikers Antoine Lavoisier: Seine Laborbücher belegen, dass er „immer mehrere Projekte zugleich verfolgte, wobei die Ergebnisse eines Projektes oft unerwartet ein anderes Projekt aus der Sackgasse führten, in die es geraten war. [...] Die experimentelle Arbeit selbst nahm die Struktur eines kreativen Prozesses an“ (Rheinberger 2003: 371). Experimente bilden zudem – entgegen der

üblichen Vorstellung – keine in sich geschlossenen Abläufe innerhalb einer hermetischen Laborumgebung, sondern haben *unscharfe Konturen* bzw. Verbindungen nach außen (Rheinberger 2001, Pickering 1984). Rheinberger nennt es die „ausfransende oder sogar fraktale Ränderung, die in der Regel unscharfen Konturen von Experimentalsystemen“ (Rheinberger 2001: 146). Andere naturwissenschaftliche Experimente sind nur noch zum Teil oder gar nicht mehr im Labor situiert und überspannen mehrere Kontinente wie die Experimente des CERN oder das Human Genome Project (Galison/Jones 1999, Knorr Cetina 2001, Schmidgen 2011). Es ist gar von einer „Experimentiergesellschaft“, einem „world wide lab“ die Rede (Schmidgen et al. 2004). Isabelle Stengers beschreibt zudem die Relevanz des *Einmaligen*: Momente der Erfindung neuer Paradigmen sind ihr zufolge „rare events“ (Stengers 2000: 49).

Umgekehrt kann man auch in den Architektur- und Designdisziplinen das Experimentieren als essentielles Verfahren im Rahmen der Entwurfs- und Gestaltungsprozesse bezeichnen. Hier ist es allerdings methodisch noch weniger festgelegt. Vielmehr gibt es eine ganze Bandbreite von Formen, das heißt nicht nur Experimente im Sinne eines Explorierens oder eines *gewagten Unternehmens*, sondern auch solche, die den Kriterien natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Experimente entsprechen, das heißt die hypothesengeleitet, kontrolliert, reproduzierbar oder messbar sind wie beispielsweise Experimente am Architekturmodell bei Frei Otto (Kotnik 2011), Eyetracking-Experimente im Webdesign (Nielsen/Pernice 2010), generative Gestaltungsmethoden in Design und Architektur (Groß 2009, Kotnik 2011), die Simulationen von Luftströmen oder Schallwellen wie etwa bei Kazuhiro Kojima + Kazuko Akamatsu / CAat (Rabe 2016) oder Simulationen der Bewegung von Menschen in Gebäuden bei Space Syntax (Turner/Penn 2002). Dass der Begriff des Experiments in Gestaltung und Kunst nicht auf einen metaphorischen Sinn reduziert werden kann, wird vor allem durch einen Blick in die Geschichte deutlich, wie die Literaturwissenschaftlerin **Gunhild Berg** in ihrem Beitrag in diesem Band zeigt. Sie belegt, dass sich der Begriff des Experiments erst mit dem britischen Empirismus des 17. Jahrhunderts in den Naturwissenschaften etabliert hat. Zuerst verwendet wurde der Begriff stattdessen in der Medizin, die zu diesem Zeitpunkt nicht als Wissenschaft, sondern als Kunst galt. Da in den medizinischen Experimenten dieser Epoche nicht streng methodologisch, vielmehr probierend vorgegangen wurde, war das Probieren und damit das Wagnis von Anfang an in den Begriff Experiment eingeschrieben.

Eine zentrale Beschränkung für eine vergleichende Analyse von Experimenten liegt darin, dass die meisten Forschungen über das Experiment sehr disziplinär ausgerichtet sind. Es gibt wenige disziplinenübergreifende Untersuchungen. Eine wichtige Ausnahme ist an dieser Stelle zu erwähnen: Bei der interdisziplinären Konferenz „Experimentalkulturen“ am Berliner Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte wurden 2011 Experimente in Biologie, Medizin, Literatur und Theater in den Blick genommen. Indem dabei das „Zusammenwirken von Wissenschaft, Kunst und Technik als ein offener Zusammenhang“ analysiert wurde, ergab sich im Spannungsfeld von wissenschaftlichem und künstlerischem Experiment, von Wissenschaft und Gestaltung ein weitaus komplexeres und verwobeneres Bild (Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte 2001). Die zentrale These war, dass „die dynamische Entwicklung der Moderne [...] von heterogenen Kollektiven getragen [wurde], die ihre Wirksamkeit oftmals quer zu den etablierten Disziplinen, Schulen und Branchen entfaltet haben: Experimentalkulturen [...]“ (ebd.). Mit unserem Sammelband knüpfen wir an diese Untersuchungen insbesondere auch in Person von **Hans-Jörg Rheinberger** an, der in diesem Band seinen Begriff der *Experimentalkulturen* genauer erläutert. Anhand einer Fallstudie, einem biologischen *In-vitro*-Experiment, vollzieht er nach, wie Ensembles von Experimentalsystemen Experimentalkulturen bilden, die durch eine materielle Wechselwirkung gekennzeichnet sind und sich eine oder mehrere konstituierende Komponenten teilen, sei es technischer, materieller, sozialer oder biologischer Art.

Wie können wir diesen Experimentalkulturen näher kommen? Laborstudien haben gezeigt, wie komplexe Wissensprozesse und -kulturen anhand eines praxistheoretischen Ansatzes untersucht werden können. Der Begriff der Kultur wird dabei nach Knorr Cetina direkt auf die Praktiken bezogen, das heißt es werden materialisierte Kulturen unter die Lupe genommen (Knorr Cetina 1999). Mit den Praktiken werden nicht nur die Personen, sondern auch die Artefakte, die Körper, die Materialität und die Routinen untersucht – letztlich genau die Elemente, die Rheinberger als Experimentalsystem beschreibt (Rheinberger 2001). In diesem Sinne haben wir die WissenschaftlerInnen explizit eingeladen, vor allem über ihre alltägliche Praxis des Experimentierens zu berichten und Einblicke in ihre Vorgehensweisen und Versuchsaufbauten zu geben.

Auf der Basis der Beiträge, die wir in diesem Band versammeln, konnten wir herausarbeiten, welche unterschiedlichen Praktiken dieses Feld des Experimentierens umfassen kann. Denn in der

Praxis der AutorInnen heißt experimentieren nicht nur „kontrollieren“, „systematisieren“, „beobachten“, „messen“ oder „auswerten“, sondern – wie das Vokabular dieses Bandes belegt – auch „durchqueren“, „entwerfen“, „erfahren“, „improvisieren“, „ko-laborieren“, „kombinieren“, „modellieren“, „multiplizieren“, „plausibilisieren“, „proben“, „programmieren“, „prototyping“, „provozieren“, „publizieren“, „rechnen“, „simulieren“, „skalieren“, „spielen“ oder „varieren“. Diese unterschiedlichen Praktiken werden damit zu essentiellen Komponenten des Experimentierens oder sogar selbst zu Synonymen für das Experimentieren. Aus ihnen kann man eine komplexe Praxeologie des Experiments ableiten:

Die Kunsthistorikerin **Elke Bippus** beschreibt in einem Vergleich zwischen der künstlerischen Arbeit *Democracy* und Rheinbergers Experimentalsystem die Ambivalenz zwischen Gemeinsamkeiten und Unterschieden: Während beide durch das Zusammenfügen von Elementen unterschiedlicher Art und Herkunft gekennzeichnet sind, fungiert das künstlerische Experimentieren als eine Praxis des DURCHQUERENS von sich überschneidenden Systemen und führt damit zu einer radikalen Öffnung. Die Experimente der Architektin **Christiane Sauer** dienen dem ENTWERFEN von neuen leichten Baumaterialien, für die die Prinzipien und Strukturen von Textilien imitiert, vergrößert oder abgewandelt werden. Experimentieren begreift sie nicht als abgeschlossenen Prozess, vielmehr als eine andauernde Tätigkeit. Ihre Versuche folgen keinem festgelegten Handlungsablauf, sondern sind offen für Richtungswechsel, Zufall und Intuition. Experimentieren kann aber auch ERFAHREN bedeuten, wie die Anthropologen **Ignacio Farías** und **Tomás Sánchez Criado** darlegen. In ihren pädagogischen Experimenten mit Architekturstudenten testen sie drei Methoden aus der Anthropologie: *Ko-laboration*, *Fallenstellen* und *Intravention*. Durch den Fokus auf die Erfahrung gelingt es den Studierenden, vom PROBLEM-SOLVING zum PROBLEM-MAKING zu gelangen. Die Literaturwissenschaftlerin **Gunhild Berg** zeichnet die historische Verwendung der Begriffe EXPERIMENTIEREN, PROBIEREN und VERSUCHEN sowie ihre Überlappungen und Doppeldeutigkeiten nach. Damit zeigt sie, wie die Begriffe schon seit dem 17. Jahrhundert zwischen verschiedenen Erkenntnisbereichen changieren und sowohl philosophische und künstlerische als auch technische und wissenschaftliche Praktiken inkorporieren. Die Experimente der Tanzphilosophin **Einav Katan-Schmid** sind auf der Praxis des IMPROVISIERENS begründet. In ihrem interdisziplinären und praxisbasierten Forschungsprojekt *Playing with Virtual Realities* erkundet sie gemeinsam mit TänzerInnen und unter

Anwendung von VR-Technologie die Schnittstelle zwischen physisch und virtuell. Für die Soziologin **Séverine Marguin**, die Architektin **Henrike Rabe** und den Designer **Friedrich Schmidgall** heißt Experimentieren **KO-LABORIEREN** mit Bindestrich. Mittels einer experimentellen und gestaltungsbasierten Feldforschung betreiben sie eine Raumforschung, bei der sie nicht über die Untersuchten, sondern gemeinsam mit ihnen forschen. Für die Experimente der Mikrobiologin **Regine Hengge** ist das **KOMBINIEREN** zentral. Sie beschreibt drei Arten des Experiments – hypothesengetriebenes und nichthypothesengetriebenes Experimentieren sowie mathematisches Simulieren und Modellieren – und legt dar, wie diese Typen beim explorativen **ERSCHLIESSEN** von wissenschaftlichem Neuland kombiniert werden. Ähnlich wie in der Biologie wird auch in der experimentellen Wirtschaftsforschung angestrebt, die Erhebungssituation möglichst stark zu **KONTROLLIEREN** und zu standardisieren, wie die Wissenssoziologin **Juliane Haus** darlegt. In ihrem Beitrag skizziert sie die Entwicklung dieses Feldes und stellt – basierend auf einer eigenen ethnografischen Untersuchung – einen typischen Experimentablauf dar. Der Physiker **Norbert Koch** spricht in einem Interview über die Zusammenhänge von Experimentieren und **BEOBACHTEN** und gibt Einblicke in die interdisziplinäre Experimentierpraxis der molekularen Elektronik. Er beschreibt, wie Physiker, Chemiker und Ingenieure auf der Suche nach besseren Halbleitern neue Moleküle herstellen und deren Eigenschaften experimentell **MESSEN**. In den Experimenten des Biologen **John A. Nyakatura** und des Gestalters **Oliver E. Demuth** stellt das **MODELLIEREN** eine zentrale Praktik dar. In ihrem Forschungsprojekt zu einer fossilen Krokodilart werden die Hebelarmverhältnisse von Muskeln mittels unterschiedlicher dreidimensionaler Modellierungen untersucht. Sie erläutern ihre experimentelle Vorgehensweise und vergleichen sie mit anderen Experimenten dieses Felds. Die Wissenschafts- und Technikforscher **Peter Danholt**, **Morten Bonde Clausen** und **Claus Bossen** beschreiben das von ihnen beobachtete Experiment im dänischen Gesundheitswesen als eine Assemblage. Die Praktik des **MULTIPLIZIERENS** ermöglicht es ihnen als teilnehmenden Beobachtern, dessen Heterogenität und Komplexität aufzufächern und zu erforschen. Eine Akteursanalyse zeigt darüber hinaus die Reichweite des Experimentierverständnisses bei einem sozialen Experiment auf. Die Archäologin **Susanne Muth** und der Kulturwissenschaftler **Christian Kassung** rekonstruieren in ihren interdisziplinären historischen Experimenten mit Hilfe von **VISUELLEN** und **AKUSTISCHEN SIMULATIONEN** das Forum Romanum als Bühne für

verschiedenste Handlungen und Nutzungen des Platzes. Da das **TESTEN** der unterschiedlichen Parameter der Raumrekonstruktion auf ihre Plausibilität hin ausgerichtet ist, bedeutet Experimentieren für sie auch **PLAUSIBILISIEREN**. Die Choreografin und Tänzerin **Lea Moro** beschreibt in einem Interview ihre Arbeit als experimentellen Prozess. Zentral darin sei das **PROBEN**, bei dem das jeweilige Stück in einer iterativen Vorgehensweise gemeinsam mit den TänzerInnen entwickelt wird. Themen wie Wiederholbarkeit und Beobachtung zeigen Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Vergleich zum wissenschaftlichen Experimentieren auf. Die InformatikerInnen **Claudia Müller-Birn** und **Jesse Benjamin** beschreiben das Experimentieren als **PROGRAMMIEREN** und vollziehen den Wandel von einem naturwissenschaftlich hin zu einem gestalterisch geprägten Experimentierbegriff in der Informatik nach. Denn wurden in der Informatik zunächst meist abstrakte Modelle getestet, so wurde mit dem Entstehen des Feldes der Human-Computer-Interaction ein neues Vorgehen erforderlich. Der Designtheoretiker **Jörg Petruschat** versteht Gestaltung als Basisprozess aller Wissensproduktion und löst damit die Dichotomie zwischen Wissenschaft und Gestaltung grundsätzlich auf. Er identifiziert im Design drei unterschiedliche Experimenttypen, nämlich faszinations-, explorations- und resonanzgetriebenes Experimentieren. Verbunden sind die drei Typen durch die Praktik des **PROTOTYPINGS**. Die Architekturtheoretikerin **Carolyn Höfler** hebt das **PROVOZIEREN** und das **BASTELN**, die Bricolage, als Praktiken der experimentellen Architektur der 1960er und siebziger Jahre hervor und beschreibt die Unwiederholbarkeit dieser Experimente sowie die durch sie bewirkte Bedeutungsverschiebung. Da diese alten Gegenkulturen zunehmend in eine Marktlogik eingebunden werden, stellt sie die Frage nach dem gestalterischen Experiment heute. Ein neues Feld des Experimentierens wird durch die Frage nach den Formaten der interdisziplinären Wissensvermittlung aufgemacht. In einem Interview spricht die Literaturwissenschaftlerin **Kerstin Germer** über die Zusammenhänge von Experimentieren und **PUBLIZIEREN** und über den Wandel des wissenschaftlichen Kommunikationssystems. Die Gedankenexperimente des theoretischen Physikers **Matthias Staudacher** werden durch die Praktik des **RECHNENS** bestimmt. Er untersucht die Frage nach der einheitlichen mathematischen Struktur von Raum, Zeit und Materie, denn die Quantenfeldtheorie und die Allgemeine Relativitätstheorie ergeben in der Zusammenführung logische Widersprüche. Überprüft werden die durch Trial-and-Error entstandenen Szenarien dann online durch die internationale Community.

Die Architekturforscherin **Kerstin Sailer** versteht Gebäude als ungetestete Thesen und plädiert für deren Überprüfung im Sinne evidenzbasierter Forschung. Sie beschreibt Methoden, die es zukünftigen NutzerInnen ermöglichen, Entwürfe bereits vor der Realisierung der Gebäude zu **TESTEN**: das **SIMULIEREN** und virtuelle Begehen von Entwürfen, Simulationen anhand von Grundrissen und physischen Testbereichen. Der Kunsthistoriker **Reinhard Wendler** setzt sich in seinem Beitrag mit der Experimentalpraktik des **SKALIERENS** auseinander. Anhand eines Experiments, bei dem einem Elefanten eine auf seine Körpergröße skalierte Menge von LSD verabreicht wurde, zeigt er auf, dass die fehlerhafte Skalierung in Experimenten fatale Konsequenzen haben kann. Der Literaturwissenschaftler **Robert Matthias Erdbeer** untersucht in seinem Beitrag das **SPIELEN** als Experimentalpraktik. Er beschreibt das Videogame *The Stanley Parable* als ein Selbstexperiment, das als eine ludische Erzählung über Experimentalsysteme verstanden werden kann. Die Designtheoretikerin **Claudia Mareis** setzt sich mit der Praktik des **SYSTEMATISIERENS** in der Gestaltung der 1960er Jahre auseinander und vollzieht die Erfindung und Entwicklung des sogenannten *morphologischen Kastens*, einer einflussreichen Entwurfsmethode der Zeit, nach. Abschließend stellt der Psychologe **Robert Gaschler** dar, wie der Mensch, aber auch höher entwickelte Tiere wie Ratten systematisch Einfluss auf ihre Umwelt nehmen, um Wissen über die Welt zu erlangen. Darauf aufbauend beschreibt er anhand mehrerer Beispiele, vor welche Herausforderungen Experimentatoren in der Psychologie gestellt sind und wie sie diese durch ein geschicktes **VARIIEREN** von bekannten und unbekannten Störvariablen meistern.

Die in diesem Sammelband vereinten Beiträge aus diesem breiten Spektrum von Disziplinen zeigen, dass es die diametral entgegengesetzten Idealtypen des Experiments – naturwissenschaftlich und gestalterisch – nicht gibt und dass diese beiden Formen selbst auch kein einheitliches Bild ergeben würden. Ob grundlegende Zusammenhänge erkundet werden (vgl. z. B. Staudacher oder Hengge), ob historische Konstellationen rekonstruiert (vgl. Kassung und Muth, Nyakatura und Demuth), Möglichkeitsräume eröffnet (vgl. Bippus oder Moro) oder Neues erschaffen werden soll (vgl. Koch, Petruschat oder Sailer), ob Experimente als Gesellschaftskritik fungieren (vgl. Höfler), ob Problematiken identifiziert und verstanden werden sollen (vgl. Fariás und Sánchez Criado) oder ein Experiment anderer beobachtet und evaluiert werden soll (vgl. Danholt et al. sowie Haus) – die unterschiedlichen Vorgehensweisen werden nicht

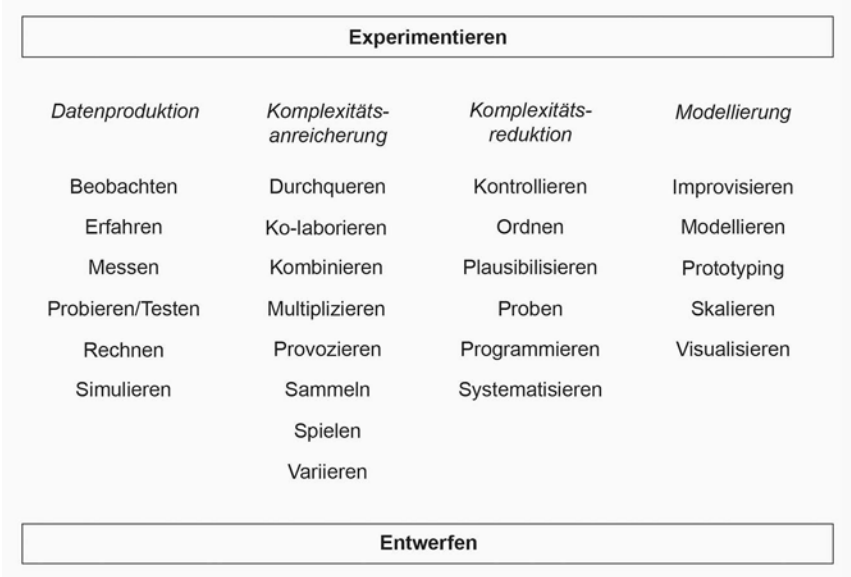


Abb. 1. Spielfeld der Experimentalpraktiken.

disziplinär, sondern jeweils dem Ziel einer Untersuchung angepasst und spezifisch ausgewählt.

Die Fokussierung auf die Vielfalt der Praktiken des Experimentierens zeigt, dass viele AutorInnen ihre Experimente in einem Spannungsfeld zwischen *geschlossen* und *offen* positionieren. Viele der beschriebenen Experimente werden nicht als in sich geschlossene und zeitlich begrenzte Abläufe beschrieben, sondern als räumlich oder zeitlich offene und nicht vollständig kontrollierbare Prozesse mit – nach Rheinberger – ausgefransten Rändern. Einige Experimente sind offen in Bezug auf die AkteurInnen; beispielsweise können diese zahlreich und unstetig sein (vgl. Danholt et al., Moro) oder das Experiment findet online mit unz  hligem AkteurInnen statt (vgl. Erdbeer, M  ller-Birn und Benjamin). Es wird aber auch über zeitlich offene Experimente berichtet – entweder indem das Ende des Experiments nicht von vornherein festgelegt wird (vgl. Danholt et al.) oder indem das Experiment als ein andauerndes, permanentes Experimentieren verstanden wird (vgl. Sauer).

Gemeinsam thematisieren die AutorInnen durch die Beschreibung ihrer Experimentalpraktiken auch ihr Verständnis und Verhältnis zur Frage der Wissenschaftlichkeit und zu den Grenzen des Wissens, an die die Experimente immer vorstoßen. Können experimentelle Anordnungen als Garant für die Wissenschaftlichkeit

eines Vorhabens fungieren? Anders formuliert: Sorgen Experimente dafür, dass den aus ihnen resultierenden Erkenntnissen eine besondere Gültigkeit zuteil wird? Diese Frage wird in dem Buch nicht direkt beantwortet, an ihr schärfen sich jedoch fast alle Positionierungen. Besonders instruktiv ist es, das Verhältnis zwischen Gestaltung und Wissenschaft anhand der vorliegenden Beiträge aus der Gestaltung zu eruieren. Es ist beispielsweise bemerkenswert, dass mehrere AutorInnen, auch außerhalb der Naturwissenschaften, Rheinbergers Begriff des Experimentalsystems heranziehen, um Experimente in der Kunst (vgl. Bippus), in der Spielerfahrung (vgl. Erdbeer) oder in der Designgeschichte (vgl. Mareis) zu beschreiben.

Was folgt nun aus diesem vergleichenden Blick, diesem Spiel mit den Komponenten, die sich aus den unterschiedlichen Experimentalverfahren gewinnen lassen? Zum einen erlaubt diese Zusammenschau die Identifizierung ähnlicher Verfahren, die in sehr vielen Formen des Experimentierens auftauchen, etwa das Modellieren und Visualisieren. Eine gemeinsame Arbeit an diesen Verfahren ermöglicht es, den Einsatz von Bildern und Visualisierungen, die in den verschiedenen Disziplinen ganz unterschiedlichen Anforderungen und Standards entsprechen, integrativ zu analysieren und daraus praktische Konsequenzen zu ziehen, etwa im Sinne eines elaborierteren Gebrauchs von Diagrammen, die beispielsweise für die Bildwissenschaften oder für das Grafik- und Informationsdesign kaum genutzte Erkenntnisse bereitstellen. In unserem Cluster *Bild Wissen Gestaltung* haben wir uns diesem Bereich in besonderem Maße gewidmet.

Der vorliegende Band schlägt vor, die diversen Praktiken des Experimentierens in einen engeren Zusammenhang zueinander zu setzen: Die unterschiedlichen Nachbarschaften und Ähnlichkeiten, die verschiedenen Zuordnungen, die man treffen kann, eröffnen ein *Spielfeld*, in dem die Verfahren der Datenproduktion, der Komplexitätsanreicherung oder -reduktion und der Modellierung strategische Achsen und Bereiche markieren. Dabei verlieren die klassischen Unterschiede von Disziplinen an Bedeutung und es tauchen neue Zusammenhänge und Unterschiede auf, die sich quer durch das ganze Spielfeld legen. Dies kann zeigen, dass disziplinär als sehr unterschiedlich verstandene Vorgehensweisen dennoch große Ähnlichkeiten miteinander aufweisen, oder umgekehrt, dass ein disziplinäres Experiment erstaunlich heterogene Verfahren integriert.

Diese Wahrnehmung erlaubt es, noch einen Schritt weiterzugehen. Indem man die in dem *Spielfeld* abgebildeten Verfahren

selbst in interdisziplinäre Untersuchungsgegenstände und Experimente verwandelt, wird eine weitere Konsequenz aus dieser Untersuchung experimenteller Praktiken deutlich: Sie liegt in den sich dadurch eröffnenden Möglichkeiten interdisziplinärer Zusammenarbeit, die sich durch die große gegenseitige Anschlussfähigkeit der Verfahren vor allem mit dem Blick auf die praktische Ebene ergeben: Diese Interaktion haben wir als Ko-laborieren mit Bindestrich in Gang gesetzt (vgl. Marguin et al.) und daraus Verfahren entwickelt, die Disziplinen miteinander verbinden, die bisher kaum zusammengearbeitet haben. Gerade mit dem Fokus auf das Experimentieren kommt ein Bereich von Disziplinen in den Blick, der als eine Art innerer Öffnung beschrieben werden kann, als der Bereich der Veränderung und Transformation, welcher sich in besonderem Maße für die Kollaboration mit anderen Disziplinen eignet.

Betrachtet man zudem die einzelnen Experimentalsituationen mit ihren sehr heterogenen Verfahren, so lassen sich diese als Vorgehensweisen beschreiben, die die Ordnung von Datenproduktion als Filtern, die Steuerung der Komplexität und die Modellierung und Gestaltung auch als sequenzielle Schritte deutlich machen, die, wenn auch in jeweils veränderter Form, nahezu in jedem Experiment vorkommen. Zugleich zeigen diese Vorgehensabl  ufe, dass sie in ähnlicher Form auch für Entwurfsprozesse konstitutiv sind.

Die Beiträge belegen damit, dass auch gestalterische und geisteswissenschaftliche Experimente als „Experimentlr  ume im Sinne eines materialisierten Entdeckungszusammenhanges“ verstanden werden können (Rheinberger 2003: 371). Allerdings heißt das eben nicht, dass sich die Gestaltung etwa naturwissenschaftlich ausrichten sollte, sondern vielmehr, dass all diese unterschiedlichen Disziplinen etwas Grundlegendes teilen, nämlich eine Wissensproduktion, in der sich Projektieren, Gestaltung und Experimentieren eng miteinander verbinden. Damit ergibt sich als besonders wichtige und folgenreiche Einsicht, dass Experimentieren und Entwerfen als Verfahren, die man gewöhnlich strikt voneinander trennt, immer mehr ineinander übergehen: Kein Experimentieren ohne Entwerfen, kein Entwerfen ohne Experimentieren, denn es handelt sich um zwei Betrachtungsweisen und Formen von Wissens- und Gestaltungsprozessen, deren innerer Zusammenhang insbesondere die in diesem Band beschriebenen interdisziplinären Experimente bestimmt.

Die hiermit unserem Band vorangestellten Überlegungen sollen einladen, die große Differenziertheit der in den folgenden Texten präsentierten experimentellen Zugänge wahrzunehmen. Aus

diesem Grund haben wir als Anordnung der Texte im Buch die bloße alphabetische Reihung als offene Form gewählt, die es erlaubt, unterschiedliche Wege durch die einzelnen Texte zu finden. Die Abfolge der Texte bedeutet deshalb auch keine privilegierte Verbindung von Text zu Text. Wichtiger ist, dass Texte, die aus für LeserInnen möglicherweise fremderen disziplinären Zusammenhängen kommen, weit näher den eigenen Interessen und Überlegungen erscheinen können, als man vermutet hätte. Damit kann dieses Buch selbst zum Ort des Experimentierens werden.

So zeigen diese Beiträge die Chancen und auch Herausforderungen einer Zusammenarbeit mit noch nicht vertrauten Disziplinen. Gerade Experimente im Rahmen einer Zusammenarbeit, die Geistes-, Natur- und Technikwissenschaften sowie Gestaltungsdisziplinen verbindet, werfen besondere methodologische Fragen auf, weil nicht auf disziplinäre Experimentalpraktiken zurückgegriffen werden kann, sondern spezifische interdisziplinäre Forschungsdesigns entwickelt werden müssen. Zudem stellen sie eine besondere Herausforderung dar, weil mit jedem Schritt die Gültigkeit bzw. deren Evaluierung sowie die Relevanz der produzierten Erkenntnisse hinterfragt werden. Mit Hilfe solcher Experimente werden Erkenntnisse produziert, die aus den Routinen der einzelnen Disziplinen ausbrechen und umgekehrt diese Routinen selbst zum Gegenstand einer auch für diese einzelnen Disziplinen unerwarteten Experimentalisierung werden lassen. Das sind die Momente, in denen Neues entstehen kann – und in denen in den vergangenen Jahren in unserem interdisziplinären Labor *Bild Wissen Gestaltung* auch tatsächlich Neues entstanden ist.

Literatur

- Berg, Gunhild (2011): „Experimentieren“, in: Jaeger, Friedrich; Liebsch, Burkhard; Rüsen, Jörn und Straub, Jürgen (Hg.): *Handbuch der Kulturwissenschaften*. Sonderausgabe in 3 Bänden, Stuttgart/Weimar: J.B. Metzler.
- Galison, Peter (1997): *Image and logic: A material culture of microphysics*. Chicago: University of Chicago Press.
- Galison, Peter (1999): „Trading Zone: Coordinating Action and Belief (1998 abridgment)“, in: Biagioli, Mario (Hg.): *The Science Studies Reader*. New York/London: Routledge, S. 137–160.
- Galison, Peter und Jones, Caroline A. (1999): „Factory, Laboratory, Studio: Dispersing Sites of Production“, in: Galison, Peter und Thompson, Emily (Hg.): *The Architecture of Science*. Cambridge: MIT Press, S. 497–540.
- Groß, Benedikt; Bohnacker, Hartmut; Laub, Julia und Lazzaroni, Claudius (Hg.) (2009): *Generative Gestaltung: Entwerfen, Programmieren, Visualisieren*. Mainz: Schmidt.
- Jäger, Georg (1997): „Experimentell“, in: Braungart, Georg; Fricke, Harald; Grubmüller, Klaus; Müller, Jan-Dirk; Vollhardt, Friedrich und Weimar, Klaus (Hg.): *Reallexikon der deutschen Literaturwissenschaft. Neubearbeitung des Reallexikons der deutschen Literaturgeschichte*. Berlin/Boston: De Gruyter.
- Knorr Cetina, Karin (1999) *Epistemic cultures. How the sciences make knowledge*. Cambridge, Mass. et al.: Harvard University Press.
- Knorr Cetina, Karin (2001): „Laboratory Studies“, in: *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences*. Amsterdam: Elsevier.

- Kotnik, Toni (2011): „Das Experiment als Entwurfsmethode. Zur Möglichkeit der Integration naturwissenschaftlichen Arbeitens in die Architektur“, in: Moravánszky, Ákos und Kerez, Christian (Hg.): *Experiments: Architektur zwischen Wissenschaft und Kunst*. TheorieBau. 2. Aufl. Berlin: Jovis, S. 24–53.
- Kühl, Stefan (2009): „Experiment“, in: Ders.; Strodtz, Petra und Taffertshofer, Andreas (Hg.): *Handbuch Methoden der Organisationsforschung: Quantitative und Qualitative Methoden*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 534–558.
- Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte (2001): *Experimentalkulturen. Konfigurationen zwischen Lebenswissenschaften, Kunst und Technik (1830–1950)*. Konferenz am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte. Berlin. <http://vlp.mpiwg-berlin.mpg.de/exp/tagungen/mpiwg2001/index.html> (zuletzt aufgerufen: 4.1.2019).
- Nielsen, Jakob und Pernice, Kara (2010): *Eyetracking web usability*. Berkeley, CA: New Riders.
- Oxford Dictionaries (2018): „Experiment. Definition of experiment in English by Oxford Dictionaries“, in: *Oxford Dictionaries / English*. <https://en.oxforddictionaries.com/definition/experiment> (zuletzt aufgerufen: 26.9.2018).
- Pickering, Andrew (1984): *Constructing Quarks: A Sociological History of Particle Physics*. Chicago: University of Chicago Press.
- Rabe, Henrike (2016): „Experimentieren und Testen“, in: Doll, Nikola; Bredekamp, Horst und Schäffner, Wolfgang für den Exzellenzcluster Bild Wissen Gestaltung. Ein Interdisziplinäres Labor der Humboldt-Universität zu Berlin (Hg.): *+ultra gestaltung schafft wissen*. Ausstellungskatalog Martin-Gropius-Bau Berlin. Leipzig: E. A. Seemann, S. 357.
- Rheinberger, Hans-Jörg (2001): *Experimentalsysteme und epistemische Dinge: eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas*. Göttingen: Wallstein.
- Rheinberger, Hans-Jörg (2003): „Wissensräume und experimentelle Praxis“, in: Schramm, Hemar; Herrmann, Hans-Christian von; Nelle, Florian; Schäffner, Wolfgang; Schmidgen, Henning und Siegert, Bernhard (Hg.): *Bühnen des Wissens. Interferenzen zwischen Wissenschaft und Kunst*. Berlin: Dahlem University Press, S. 366–382.
- Rheinberger, Hans-Jörg (2014): „Über Serendipität: Forschen und Finden“, in: Boehm, Gottfried; Alloa, Emmanuel; Budelacci, Orlando und Wildgruber, Gerald (Hg.): *Imagination: Suchen und Finden*. Paderborn: Fink, S. 233–243.
- Schäffner, Wolfgang (2010): „The Design Turn. Eine wissenschaftliche Revolution im Geiste der Gestaltung“, in: Mareis, Claudia; Joost, Gesche und Kimpel, Kora (Hg.): *Entwerfen – Wissen – Produzieren. Designforschung im Anwendungskontext*. Bielefeld: transcript, S. 33–46.
- Schmidgen, Henning (2011): „Labor“, in: *Europäische Geschichte Online* (EGO), Institut für Europäische Geschichte, Mainz. <http://www.ieg-ego.eu/schmidgenh-2011-de> (zuletzt aufgerufen: 4.1.2019).
- Schmidgen, Henning; Geimer, Peter und Dierig, Sven (Hg.) (2004): *Kultur im Experiment*. Berlin: Kadmos.
- Stengers, Isabelle (2000): *The Invention of Modern Science*. Theory out of Bounds 19. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Turner, Alasdair und Penn, Alan (2002): *Encoding natural movement as an agent-based system: an investigation into human pedestrian behaviour in the built environment*. Environment and Planning B: Planning and Design 29 (4), S. 473–490.
- Westphal, Wilhelm H. (1956): *Physik*. Ein Lehrbuch. 18./19. Aufl. Berlin/Göttingen: Springer.

Etwas über Kulturen des Experimentierens

Hans-Jörg Rheinberger

Dieser kurze Text thematisiert den Übergang von der Mikro- zur Mesoebene des Experimentierens, die Passage von einer lokalen zu einer regionalen Betrachtungsweise. Er versteht sich damit als Teil einer historischen Epistemologie des Experiments aus der Bottom-up-Perspektive, also „von unten“, denn er betrachtet den Zusammenhang zwischen Experimentalsystemen und den aus ihnen sich ergebenden bzw., umgekehrt, sie prägenden Kontexten, die ich als Experimentalkulturen bezeichnen möchte (Rheinberger 2015a, 2017).¹ Der Begriff des Experimentalsystems steht für das Integral aller Ingredienzien – Materialien, Forschungstechnologien, Laborumgebung, kollektives Erfahrungswissen –, die dazu nötig sind, einen in der Regel auf ein einzelnes Labor und sein Kollektiv beschränkten Experimentierprozess in Bewegung zu setzen und in Gang zu halten. Er zielt darauf ab, die Entwicklung der experimentellen Wissenschaften nicht auf der Makroebene von Wissenschaft als Disziplin – als disziplinäres System – zu erfassen, sondern auf der Mikroebene der für sie charakteristischen Manipulationen und Prozeduren. Mit dem Begriff des Systems ist hier keine rigide, in sich geschlossene Struktur gemeint. Er erscheint aber insofern gerechtfertigt, als es sich bei Experimentalsystemen doch um so etwas wie die kleinsten funktionsfähigen und damit in einem gewissen Sinne auch selbstgenügsamen Forschungseinheiten handelt, die Materialien sowie Forschungstechnologien umfassen und Forschende als handlungsfähig darstellen. Ausgezeichnet sind sie durch eine enge Wechselwirkung zwischen den technischen Bedingungen – den technischen Dingen – des Systems und den in ihnen verhandelten epistemischen Dingen, das heißt, den Strukturen und Funktionen, über die mit Hilfe der in das System integrierten Forschungstechnologien etwas Neues in Erfahrung gebracht werden soll (Rheinberger 2006, 2015b).

Nun lässt sich beobachten, dass verschiedene Experimentalsysteme miteinander verbunden sein können, da sie auf einer

1 Der vorliegende Text ist ein Kondensat aus diesen Arbeiten.

Mesoebene verschiedene Aspekte der in ihnen verrichteten Arbeit miteinander teilen. Aspekte des Experimentierens auf dieser Mesoebene sind in der Literatur unter den Stichworten „Stile wissenschaftlichen Denkens“ (Crombie 1995) oder „Stile wissenschaftlicher Praxis“ (Hacking 1992, Ehrhardt 2017) und „Arten des Wissens“ oder „Arten des Tuns“ (Pickstone 2000, 2011) diskutiert worden. Ich schlage vor, das Gewebe, in dem verschiedene Experimentalsysteme sich miteinander verbinden, indem sie solche Aspekte miteinander teilen, als *Experimentalkultur* zu bezeichnen. Was ich mit dem Begriff der „Kultur“ in diesem Zusammenhang besonders einfangen möchte, ist der Aspekt der materiellen Wechselwirkung zwischen Experimentalsystemen – einer Wechselwirkung, deren Bedeutung sich erst in ihrer Entfaltung zeigt, die also nicht beschrieben werden kann als die Instantiierung oder Verkörperung eines vorgängigen Ideals. Entgegen der weithin akzeptierten Bedeutung des Begriffs der Kultur, der zumeist dem Bereich des rein Symbolischen verpflichtet ist (Geertz 2000), zielt meine Verwendung des Begriffs auf die Materialitäten des wissenschaftlichen Arbeitsprozesses. Den Fokus auf diese übergeordnete Ebene der Experimentalkulturen zu legen erlaubt es, von den relativ kurzen Zeiträumen, die Fallstudien über Experimentalsysteme umfassen, zu längeren Zeitspannen der Entwicklung einzelner Wissenschaftszweige oder ganzer Wissenschaften überzugehen, ohne die Ebene der wissenschaftlichen Praxis aus dem Blick zu verlieren.

Den Hintergrund für diese Überlegungen bildet die Analyse einer bestimmten Experimentalkultur in den Lebenswissenschaften, nämlich des Reagenzglas- oder In-vitro-Experiments, die hier kurz umrissen sei. Das Experimentieren in vitro erlangte in der Biologie des ausgehenden 19. und des 20. Jahrhunderts eine entscheidende Bedeutung. Eine frühe Form des In-vitro-Experimentierens basierte auf dem Versuch, Gewebe- und Zellkulturen in künstlichen Nährmedien zu kultivieren und ihre Stoffwechselumsätze zu messen; parallel dazu begann man, mit Zellhomogenaten zu arbeiten. Ab den 1930er Jahren schob sich die differenzielle Fraktionierung von Zellinhalten mittels Ultrazentrifuge in den Vordergrund und damit in Verbindung die Aufreinigung bestimmter zellulärer Substanzen bzw. Organellen. Nach dem Zweiten Weltkrieg verhalf die radioaktive Markierung von Biomolekülen der Verfolgung einzelner metabolischer Prozesse wie der Synthese von Nukleinsäuren oder Proteinen im Reagenzglas zu ganz neuen Dimensionen – den Dimensionen der molekularen Genetik.

In-vitro-Experimente und eine neue Konzeption des Lebendigen

Das Experimentieren *in vitro* hatte einen tiefen und nachhaltigen Einfluss auf die Entwicklung der biologischen Wissenschaften im 20. Jahrhundert. Die Reagenzglaskultur biologischen Experimentierens ermöglichte ganz neue Verbindungen zwischen Biologie, Physik und Chemie, was wiederum der Molekularisierung der Biowissenschaften um die Jahrhundertmitte den Weg ebnete. Die sprachliche Unterscheidung zwischen *in vitro* und *in vivo* ist selbst ein Produkt der Entwicklung des biologischen Experimentierens am Ausgang des 19. Jahrhunderts. Das *Oxford English Dictionary* zitiert George Goulds *Illustrated Dictionary of Medicine, Biology and Allied Sciences* von 1894 als die früheste Quelle für eine Definition von „in vitro“. Dort heißt es: „Im Glas; wird für Phänomene verwendet, die man in Laborexperimenten mit Mikroorganismen, Verdauungsfermenten und anderen Wirkstoffen beobachtet, die aber nicht notwendigerweise auch im lebenden Körper vorkommen“ (Gould 1894: 823b; meine Übersetzung). Die Definition in diesem Lexikoneintrag wirkt etwas dahingeworfen und ist ebenso unspezifisch wie vielsagend; vom Verweis auf den Ursprung des Reagenzglasexperimentierens in der Mikrobiologie abgesehen, benennt sie auch unumwunden das Gespenst hinter jeglicher Manipulation biologischer Dinge im Reagenzglas. Implizit ist darin die Frage enthalten, ob das, was wir außerhalb des Körpers oder der Zelle beobachten, mit dem identisch ist, was innerhalb des Körpers oder der Zelle abläuft. Diese Frage benennt gleichermaßen eine Scheidelinie, die nicht mehr wie noch um 1800 als eine *ontische* Grenze zwischen dem Organischen und dem Inorganischen verstanden wird, welche damals zum Ausgangspunkt für die Biologie als einer Wissenschaft *sui generis* wurde. Um 1900 geht es vielmehr um die Fixierung der *epistemischen* Bedingungen, unter denen es – noch – möglich ist, innerhalb des Organismus ablaufende Prozesse außerhalb des Organismus manifest werden zu lassen und sie damit der Analyse zugänglich zu machen. Der Einsatz besteht in der Schaffung von Reagenzglasumgebungen, in denen – auf immer prekäre Weise – biologische Entitäten oder Prozesse der Messung zugänglich gemacht werden können, Entitäten oder Prozesse, die für gewöhnlich dem wissenschaftlichen Blick entzogen tief im Inneren der Zelle oder des Organismus als ganzem verborgen sind. Nicht nur die Hybriddisziplin der Biochemie wäre ohne diese Form biologischer Experimente unmöglich gewesen (Kohler 1982); auch die Molekularbiologie insgesamt in ihrer nun

als klassisch bezeichneten Phase zwischen 1940 und 1970 ruhte auf diesen Voraussetzungen.

Kultur: Einige generelle epistemologische Überlegungen

Der Begriff der Kultur ruft einen weiten Horizont an Bedeutungen auf. Im weitesten Sinne ist seine moderne Verwendung an die kategoriale Unterscheidung von menschengemachten und nicht menschengemachten Dingen, von Naturdingen also, gebunden. Der ungarische Philosoph und Begründer der Kulturosoziologie Karl Mannheim hat überzeugend dargelegt, dass diese Unterscheidung selbst sich erst historisch herausbilden musste und in ihrer ausgebildeten Gestalt einer scharfen Trennung zum Kern des kulturellen Selbstverständnisses der Moderne wurde. Für uns Moderne, argumentierte Mannheim, sind „Sein und Sinn, Wirklichkeit und Wert für das Erleben auseinandergegangen“, und erst diese Desintegration hat „eine Bestimmung der Kultur als Nicht-Natur wirklich konkret und innerlich konsequent“ gemacht. Hinfort bedeutete Kultur dasjenige, was als in einem „geistig-historischen Werdegang“ begriffen verstanden werden konnte. Im Kontrast dazu war „Natur, die den Gegensatz zur modernen ‚Kultur‘, ihr Korrelat, ausmacht [...] etwas, das als völlig sinnfrei, wertfrei, nur als Substrat möglichen Sinnes gedacht wird. Sie enthält geradezu die Gesamtheit aller jener Bestimmungen, die dem Kulturellen nicht zukommen. Natur ist so das vom Geistigen Undurchdringbare, Wertindifferente, dem geistig-historischen Werdegang nicht Unterworfene“ (Mannheim 1980: 48 ff.).

Wenn man also von Kulturen der Naturwissenschaften, von Kulturen des Experimentierens spricht, deren Ziel es ist, eben jene Natur zu verstehen, der vollkommene Sinn- und damit Kulturlosigkeit unterstellt wird, so deutet schon dieses anscheinende Paradox auf eine Sicht der Wissenschaften voraus, die sich jenseits dieser modernen Dichotomie anzusiedeln beansprucht. Es transportiert und reflektiert die Anstrengung und den Versuch, die Wissenschaften – hier das Wissen von der Natur – nicht einfach umstandslos auf der Seite der Natur selbst zu verorten und das heißt, auf der Seite ihrer Gegenstände. Im Diskurs der Naturwissenschaften über sich selbst und dem öffentlichen Bild, das sie lange Zeit über sich verbreiteten, geschah das wieder und wieder. Im Gegensatz dazu zielen die Argumente für *Wissenschaft als Praxis und Kultur* (Pickering 1992) oder für *Wissenskulturen* (Knorr Cetina 2002) darauf ab, nicht allein die wissenschaftlichen Institutionen, sondern das wissenschaftliche Wissen selbst als ein kulturelles

Phänomen in seiner ganzen historischen Wandelbarkeit wahrzunehmen. Das geht einen entscheidenden Schritt über Mannheim hinaus, für den es in seiner kritischen Reflexion über die moderne Dichotomie von Natur und Kultur noch außer Frage stand, dass allein das Wissen der „historisch-kulturellen Wirklichkeit“ als ein Produkt seiner jeweiligen kulturell-historischen Verortung anzusehen war. Das naturwissenschaftliche Wissen war für ihn hingegen „nur soweit an (seine) eigene Geschichte gebunden, als die spätere Erkenntnis alle jene Ergebnisse, die vorangegangen sind, sozusagen als notwendige Prämissen voraussetzt“ (Mannheim 1980: 110 ff.). Mannheim sprach dem naturwissenschaftlichen Wissen also Geschichtlichkeit zu, aber eine rein interne, eine von Kultur freie Geschichte.

Pierre Bourdieu charakterisierte das damit bezeichnete Dilemma als das unausweichliche „Doppelgesicht“ wissenschaftlichen Wissens. In seinen *Méditations pascaliennes* kleidete er das Dilemma in folgende Worte: „Wenn eine realistische Geschichtsauffassung es sich versagen muss, in fiktiver Weise die unpassierbaren Grenzen der Geschichte zu übersteigen, dann wird sie untersuchen, wie und unter welchen historischen Bedingungen sich der Geschichte Wahrheiten abringen lassen, die nicht auf die Geschichte reduzierbar sind. Man muss zugeben, dass die Erkenntnis nicht vom Himmel gefallen ist wie ein mysteriöses Geschenk, das unerklärbar bleiben muss, dass sie also durch und durch historisch ist; aber man ist keinesfalls gezwungen, wie es für gewöhnlich geschieht, daraus zu schließen, dass sie auf die Geschichte reduzierbar sei. In der Geschichte und in ihr allein ist nach dem Prinzip jener relativen Unabhängigkeit der Erkenntnis von der Geschichte zu suchen, deren Produkt sie ist; oder genauer, in der wesentlich historischen, aber ganz besonderen Logik, aufgrund derer sich jene Ausnahmerräume gebildet haben, in denen sich die besondere Geschichte der Erkenntnis abspielt“ (Bourdieu 1997: 130 f.). Nach Bourdieu verdankt sich also das wissenschaftliche Wissen einerseits einem radikal immanenten historischen Prozess, der aber genau dadurch ausgezeichnet ist, dass er Produkte mit überzeitlichem Anspruch hervorbringt.

Experimentalkulturen

Ob wir es nun mit dem vorsichtigen Bourdieu halten oder eine radikalere Variante historischer Epistemologie vorziehen: In beiden Fällen müssen wir uns auf eine nähere Diskussion über die Verwendung des Begriffs der Kultur zur Charakterisierung der Wissenschaften und ihrer Entwicklung einlassen. Grundsätzlich stellt eine

solche Epistemologie eine Herausforderung an die moderne Teilung von Natur und Kultur dar. Was meine eigene Position hier betrifft, so ziehe ich als Ausgangspunkt einen deskriptiven Zugang vor. Ich bezeichne zunächst einmal einfach Ensembles von miteinander verwandten Experimentalsystemen als Experimentalkulturen.

Wenn Experimentalsysteme als die kleinsten funktionalen Einheiten der modernen experimentellen Forschung angesehen werden können, dann sind Experimentalkulturen als Konglomerate miteinander verbundener Experimentalsysteme aufzufassen, die in der Lage sind, miteinander in der einen oder anderen Form zu kommunizieren. Solche Ensembles müssen mindestens drei Bedingungen erfüllen (ob diese hinreichen, eine solche Kultur zu begründen, kann an dieser Stelle offen bleiben): Erstens bedarf es einer gewissen Überlappung der Techniken, auf denen diese Cluster von Experimentalsystemen beruhen und die in ihnen – meist in Kombination – zur Anwendung kommen. Experimentalkulturen teilen sich in Forschungstechnologien. Zweitens muss es einen Materiefluss zwischen den Systemen geben, die eine Experimentalkultur bilden. Sie teilen sich also entweder konkrete materielle Objekte oder experimentelle Umgebungen, in die diese Objekte eingebettet sind. Drittens zeichnen sich Experimentalkulturen durch eine Zirkulation von WissenschaftlerInnen und damit von Kenntnissen und Fertigkeiten aus, die sie in einem Experimentalsystem erworben haben und auf andere übertragen können. Dies ist besonders wichtig, denn so gibt es einen ständigen Input, der Anschlussfähigkeit und einen Blick von außen miteinander verbindet. Über die formelle wissenschaftliche Kommunikation hinaus zeichnen sich Netzwerke von Experimentalkulturen also durch eine dreifache Zirkulation aus: von Techniken, Untersuchungsobjekten und Fertigkeiten. Sie weisen damit eine epistemische Kohäsion auf, die sich explizit von dem unterscheidet, was wir mit dem Begriff einer wissenschaftlichen Disziplin verbinden, der sich für gewöhnlich über Formen der Institutionalisierung definiert. Der Begriff der Experimentalkultur hingegen fokussiert auf den Forschungsprozess in seinen informellen Dimensionen. Disziplinen sind zudem meist – wenn auch nicht immer – ontologisch durch ihren Gegenstandsbereich charakterisiert. Im Gegensatz dazu definieren sich Experimentalkulturen epistemologisch, indem sie einen *charakteristischen Zugang zu einem Gegenstandsbereich* eröffnen. Die In-vitro-Kulturen biologischen Experimentierens im 20. Jahrhundert sind in dieser Hinsicht exemplarisch.

Gaston Bachelard hatte etwas Ähnliches im Sinn, als er von einer mit den aktuellen Entwicklungen der Wissenschaften

befassten Epistemologie forderte, die Regionalisierungsdynamik der Wissenschaften ernst zu nehmen. Bachelard zufolge schufen die modernen Wissenschaften, was er als „Kerne der Apodiktizität“ bezeichnete (Bachelard 1949: 132). Sie erwiesen sich aber trotz ihrer Unbedingtheit und gelegentlich esoterischen Exklusivität als zeitlich wie auch räumlich begrenzt. Und jeder dieser Kerne erforderte, wenn es darauf ankam, seine besondere epistemologische Aufmerksamkeit. In diesem Sinne sprach sich Bachelard für eine „distribuierte Philosophie“, eine „differentielle wissenschaftliche Philosophie“, eine „Philosophie des epistemologischen Details“ aus (Bachelard 1978: 26–28). Um es mit seinen eigenen Worten zu sagen: „Wir müssen zu einem konkreten Rationalismus gelangen, der solidarisch ist mit der Besonderheit und Präzision der Experimente, auf die er sich bezieht. Dieser Rationalismus muss auch ausreichend offen sein, um von eben diesen Experimenten neue Bestimmungen zu erfahren“ (Bachelard 1949: 4). Mit anderen Worten: Eine Epistemologie, die beansprucht, der Dynamik wissenschaftlicher Arbeit an der Grenze zum Unbekannten gerecht zu werden, muss ebenso mobil und riskant sein wie die Wissenschaften, die sie zu verstehen sucht.

Bachelard sprach in diesem Zusammenhang auch von „Kantonen“, Regionen oder Bezirken in der „Stadt des Wissens“ (Bachelard 1949: 132 ff.). Für ihn waren solche Bezirke oder Quartiere wie Inseln einer wissenschaftlichen Kultur mit ihren eigenen Codes, ihrer eigenen Semantik und ihren eigenen Formen der Emergenz. Er selbst benutzte für sie den Begriff der „Kultur“ und versah diesen zugleich mit einer besonderen Bedeutung. Er definierte eine wissenschaftliche Kultur als den „Zugang zu einer Emergenz“ („une accession à une émergence“, Bachelard 1949: 133). Wissenschaftliche Kulturen im Sinne Bachelards sind also spezifische epistemische Milieus, in denen es zur Erzeugung von neuem Wissen kommen kann, in denen sich unvorwegnehmbare Dinge ereignen können. Es sind Kulturen der Innovation. Wissenschaftliche „Emergenzen“ sind, so Bachelard in *Le Rationalisme appliqué*, „entschieden sozial verfasst“ (Bachelard 1949: 133). Das bedeutet, dass sie auch die Form von Kulturen im Sinne wissenschaftlicher Gemeinschaften annehmen – Gemeinschaften, die mit den Phänomenen ihres epistemischen Interesses in einer spezifischen, aber miteinander geteilten Form umgehen. Diese Kulturen halten den Prozess der Supplementierung von Phänomenen, von Zugriffen und den sie begleitenden Begriffen in Gang, die für ihren je besonderen Forschungsbezirk charakteristisch sind. Je enger solche Bezirke umrissen sind, desto leichter können Konventionen, Messformen,

Beschreibungsweisen und Klassifizierungsraster modifiziert oder verändert, gegebenenfalls auch in andere Forschungsfelder exportiert werden. Regionalisierung schafft epistemische Flexibilität. Bachelard konnte in dieser Fragmentierung der Kulturen zeitgenössischer Forschung keinen beklagenswerten Verlust des synthetischen Blickes erkennen – er sah sie vielmehr als eine *Voraussetzung* für die unerhörte Fruchtbarkeit der Wissenschaften seiner Zeit an.

Zusammenfassend können Kulturen des Experimentierens beschrieben werden als Formen der Behandlung ihrer jeweiligen Forschungsgegenstände, die historisch bestimmt sind und ihre Stärke in historisch umrissenen Konjunkturen ausspielen. Oft genug sind sie es erst, die es ermöglichen, ein bestimmtes Phänomen manifest werden zu lassen und damit der Forschung zugänglich zu machen. Experimentalkulturen leben von jenen epistemischen Ereignissen, die Bachelard als „Emergenzen“ bezeichnete, und sie bringen sie gleichzeitig hervor. Sie sind die Arbeitsumgebungen, in denen neues Wissen Gestalt annimmt. Wie Experimentalsysteme sind sie – als Ensembles solcher Systeme – Strukturen, die man in ihrer Konkretheit und historischen Kontingenz darstellen muss und in denen sich epistemische, technische und soziale Momente auf unentwirrbare Weise miteinander verbinden. In diesem Sinne sind sie Konkretionen, nicht Abstraktionen. Einzelne Experimentalkulturen können ganze Epochen in der Entwicklung einer Wissenschaft dominieren. Die In-vitro-Kulturen des biologischen Experimentierens spielten genau diese Rolle für die Entstehung der Molekularbiologie um die Mitte des 20. Jahrhunderts.

Literatur

- Bachelard, Gaston (1949): *Le Rationalisme appliqué*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Bachelard, Gaston (1978): *Die Philosophie des Nein*. Wiesbaden: B. Heymann Verlag.
- Bourdieu, Pierre (1997): *Méditations pascaliennes*. Paris: Seuil.
- Crombie, Alistair (1995): *Styles of Scientific Thinking in the European Tradition: The History of Argument and Explanation Especially in the Mathematical and Biomedical Sciences and Arts*. London: Gerald Duckworth & Company.
- Ehrhardt, Caroline (2017): „E uno plures? The many Galois theories (1832–1900)“, in: Chemla, Karine und Keller, Evelyn Fox (Hg.): *Cultures without Culturalism. The Making of Scientific Knowledge*. Durham/London: Duke University Press, S. 327–351.
- Geertz, Clifford [1973] (2000): *The Interpretation of Cultures*. New York: Basic Books.
- Gould, George M. (1894): *Illustrated Dictionary of Medicine, Biology, and Allied Sciences*. Philadelphia: P. Blakiston Son & Co.
- Hacking, Ian (1992): „‘Style’ for historians and philosophers“, in: *Studies in History and Philosophy of Science*. Part A 23, S. 1–20.
- Knorr Cetina, Karin (2002): *Wissenskulturen. Ein Vergleich naturwissenschaftlicher Wissensformen*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Kohler, Robert (1982): *From Medical Chemistry to Biochemistry. The Making of a Biomedical Discipline*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mannheim, Karl (1980): *Strukturen des Denkens*. Hg. v. Chemla, Karine und Keller, Evelyn Fox. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Pickering, Andrew (Hg.) (1992): *Science as Practice and Culture*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Pickstone, John V. (2000): *Ways of Knowing. A New History of Science, Technology and Medicine*. Manchester: Manchester University Press.
- Pickstone, John V. (2011): „A brief introduction to ways of knowing and ways of working“, in: *History of Science* 49, S. 235–245.
- Rheinberger, Hans-Jörg (2006): *Experimentalsysteme und epistemische Dinge. Eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Rheinberger, Hans-Jörg (2015a): *Natur und Kultur im Spiegel des Wissens*. Heidelberg: Universitätsverlag Winter.
- Rheinberger, Hans-Jörg (2015b): „Experimentalsysteme und epistemische Dinge“, in: Gamm, Gerhard; Gehring, Petra; Hubig, Christoph und Kaminski, Andreas (Hg.): *Jahrbuch Technikphilosophie* 2015: Ding und System, Zürich: Diaphanes, S. 71–79.
- Rheinberger, Hans-Jörg (2017): „Cultures of experimentation“, in: Chemla, Karine und Keller, Evelyn Fox (Hg.): *Cultures without Culturalism. The Making of Scientific Knowledge*. Durham/London: Duke University Press, S. 278–295.

Durchqueren

Experimentieren im Feld der Kunst als Praxis im Offenen

Elke Bippus

Das Experiment ist mit jenen konträren Dimensionen verknüpft, die seit der Moderne gemeinhin auf die Felder Kunst und Wissenschaft aufgeteilt werden:

- 1. wissenschaftlicher Versuch, durch den etwas entdeckt, bestätigt oder gezeigt werden soll
- 2. [gewagter] Versuch, Wagnis; gewagtes, unsicheres Unternehmen

(Duden online: Experiment)

Während die erste Bedeutung der hergebrachten Vorstellung des naturwissenschaftlichen Vorgehens entspricht und mit Objektivität verknüpft wird,¹ lässt die zweite Charakterisierung eher künstlerische und gleichsam subjektive Praktiken assoziieren, denen etwas originär Neues entspringt. Eben die Doktrin des Neuen, die Forderung, „einen neuen Stil, einen neuen ‚Ismus‘ [zu] repräsentieren“ (Gombrich 1996: 596), stachelte in der Moderne das Experimentieren mit Materialien und Techniken an, den Bruch mit Konventionen und Korrektheiten, das Ringen um Originalität, das Spiel mit Formen und Farben oder das Aufgeben der methodisch gesicherten Kontrolle. Das Experimentieren ist allerdings nicht auf technische und materielle Überschreitungen reduziert, es geht auch um die (Er-)Öffnung von Denk- und Wirkräumen der Kunst. In den 1960er Jahren haben sich die experimentellen Praktiken der Kunst dementsprechend aus gemeinhin kunstfremden Bereichen und Methoden gespeist (Theorie, Ethnologie, Soziologie u. a. m.). Zudem steht die Polarisierung von künstlerischem und wissenschaftlichem Experiment seit geraumer Zeit in Frage, da auch das letztere nachdrücklich als Versuch und Wagnis in den Blick gerückt und die Wissenschaften in ihrer Verschränkung mit der Unvorhersehbarkeit reflektiert werden. In den Naturwissenschaften tritt das Experiment als Methode der Wiederholung und Überprüfung in den Hintergrund

1 Zu dieser gemeinhin gefestigten Vorstellung hat das in den Naturwissenschaften Mitte des 19. Jahrhunderts einsetzende Primat der Objektivität beigetragen, das nach Lorraine Daston und Peter Galison zwischen 1860 und 1910 dominant war (Daston/Galison 2007). Das Experiment war ein spezialisiertes methodisches, instrumentelles und örtlich bestimmtes Vorgehen. Es war die Grundlage einer systematischen Erfassung von Phänomenen und diente zur Erkenntnis von Gesetzmäßigkeiten.

zugunsten der Entwicklung solcher Strukturen, die es erlauben, Dinge zu entdecken, nach denen man nicht unbedingt gesucht hat. Eine solche Struktur ist nach Hans-Jörg Rheinberger das Experimentalsystem. Es fungiert als „Innovationsmaschine“ im Unterschied zum „Demonstrationsexperiment“, das allein Angenommenes bestätigt. Es ist „hypokritisch ungenau [...], um dem Neuen eine Chance zu geben“ (Rheinberger 2005: 79). Ein Experimentalsystem fordert von den Forschenden eine gewissermaßen verstreute Aufmerksamkeit. Der Blick soll nicht fixiert, sondern schwebend sein, um Geschehnisse zu erhaschen, die „am Rande eines eingeschlagenen Weges liegen“ (ebd.). Diese Blickverkehrung setzt offensichtlich nicht vornehmlich darauf, bereits Gewusstes wiederzuerkennen, vielmehr soll die Emergenz des Wissens im „Raum des Ausprobierens, in dem sich immer wieder Unerwartetes in Form epistemologischer Akte ereignen und niederschlagen kann“ (ebd.: 77), produktiv werden. Rheinberger charakterisiert Experimentalsysteme als „Vorrichtungen zur Dehnung der Zeit des Ungewissen“ (ebd.: 79). Unmissverständlich weist er jedoch darauf hin, dass das Experimentalsystem und die darin sich ereignenden Prozesse notwendig begrenzt sein müssen. Denn ein Zögern, ein Nichtverstehen oder explorierendes Experimentieren bedeutet nicht, „das bereits verfügbare Wissen zerfließen zu lassen“ (ebd.). Ja, es ist sogar so, dass die „Entgrenzung von Experimenten [...] das Nichtwissen in die Katastrophe“ (ebd.) überführt. Der Motor und die Beweglichkeit der modernen Forschung, hält der Wissenschaftshistoriker fest, verdanken sich seit der Frühen Neuzeit „der Beschränkung des Aktionsradius durch die Wahl des Systems“, der Spezialisierung bzw. „Feingliederung der Wissenschaften“ und der Notwendigkeit, „sich auf einen Ausschnitt des untersuchten Geschehens zu konzentrieren“ (Rheinberger 2014: 309). „Experimentalsysteme verengen und fokussieren nicht nur den Blick, sondern öffnen genau in dieser Engführung Optionen, die anders nicht zu haben gewesen wären“ (ebd.). Auch im Feld der bildenden, visuellen bzw. sogenannten freien Kunst finden sich solche experimentellen, hybriden Anordnungen zur Beschränkung und Fokussierung des Blicks, welche – den Experimentalsystemen vergleichbar – genuine ästhetische Erfahrungen oder Erkenntnisse ermöglichen. Diese ästhetisch-künstlerischen Experimentalsysteme haben den Effekt, so meine These, die Grenze zwischen Kunst und Nichtkunst, Kunst und Wissenschaft, Kunst und Forschung beständig anzugehen. Damit wird zugleich die spätestens seit Niklas Luhmann gängige Vorstellung von dem Kunstsystem als einem ausschließlich an eigenen Maßgaben orientierten Gefüge in

Frage gestellt. Kunst diversifiziert sich hierdurch, wird feingliedrig, so dass es zunehmend unmöglich wird, von *der* Kunst und den ihr gemäßen Kriterien und Maßgaben zu sprechen. Zudem ist festzuhalten, dass sich die experimentellen Techniken der Kunst der Moderne durch distinkte Relationen ausgebildet haben, etwa durch institutionelle Rahmungen, den Bezug zu philosophischen Traditionen der Ästhetik, die Konzeption der Autonomie und Zweckfreiheit von Kunst sowie materielle und technologische Bedingungen. Kunst hat sich hierdurch nicht als autonomes, aber als metastabiles, von den Wissenschaften differentes System etabliert. Der künstlerische Prozess als solcher wird als „eine experimentelle Bewegung des Findens ins Offene“ (Koethen 2012: 339) verstanden. Meine Überlegungen versuchen, die Praktiken und Bedingungen dieser Bewegung ins Offene zugunsten der Entdeckung des Neuen aufzuzeigen, das heißt ich versuche die Techniken und Verfahren zu beschreiben, die „eine Art frei schwebende Aufmerksamkeit für Phänomene und Ereignisse“ (ebd.) möglich werden lassen. Wie stellt sich die „liminal“ gerichtete Aufmerksamkeit – so benennt Rheinberger (2005: 79) die psycho-physische Verfasstheit der ForscherIn – durch künstlerische Praktiken und in ihrer institutionellen Rahmung ein und wie vollzieht sich die Engführung und Öffnung, durch die sich, einem zeitgemäßen, ästhetisch-künstlerischen Experiment entsprechend, Neues ereignen kann? Im Folgenden lege ich dar, dass Praktiken einer radikalen Öffnung und gleichzeitigen Spezifizierung sowie einer Entgrenzung des Kunstsystems zum Zuge kommen, auch wenn sie durch instituierende Prozesse eben dieses Systems stets in den Hintergrund geraten.

Das von 1979 bis 1996 aktive KünstlerInnen-Kollektiv Group Material² verfolgte mit seiner künstlerischen Praxis des Kuratierens einen integrativen und partizipatorischen Ansatz. Seine Ausstellungen lassen sich als Assemblagen³ beschreiben, insofern sie einerseits Materialien distinkter Herkunft kombinierten und andererseits ein „emergentes Gefüge heterogener Kräfte von Wissensproduktionen, Regelungen, Machtverhältnissen, AkteurInnen,

- 2 Das Kollektiv wirkte in einer rotierenden Besetzung von zehn bis dreizehn Mitgliedern, schließlich war es auf drei Hauptbeteiligte reduziert: Douglas Ashford, Julie Ault und Felix Gonzalez-Torres.
- 3 In der bildenden Kunst wird der Begriff „Assemblage“ für skulpturale Arbeiten verwendet, die durch Neukombination von Teilen bereits bestehender Werke, von Alltagsdingen oder von vorgefundenen verschiedensten Materialien neue Ensembles kreieren und neue Bedeutungen eröffnen. Bekannt sind insbesondere die Assemblagen von Robert Rauschenberg. In der Philosophie wurden Gilles Deleuzes und Felix Guattaris Überlegungen zum *agencement*, das im Deutschen mit Gefüge und im Englischen mit assemblage übersetzt wird begriffsprägend (Deleuze/Guattari 1997, insb. Einleitung und Kap. 11).

situativen Gegebenheiten und Bewegungen des Begehrens“ (Pieper et al. 2011: 200) kreierte. Diese Assemblagen, mit Allan Kaprow lassen sie sich auch als Environments⁴ bezeichnen, schufen visuell-diskursive Situationen verschiedener Materialien, Diskursformate und Beteiligter. Sie entgrenzten das Kunstsystem und nutzten zugleich dessen instituierende Kraft.

Die 1988 in der Dia Art Foundation in New York gezeigte Ausstellung *Democracy* behandelte vier Krisenfelder der Demokratie (Abb. 1): „[E]ducation, electoral politics, cultural participation, and AIDS [are] four significant areas of the crisis in democracy“ (Group Material 1990: 2), heißt es in dem Beitrag des Kollektivs in der von ihm zur Ausstellung herausgegebenen Publikation, der eine den ausgestellten Exponaten und durchgeführten Workshops vergleichbare diskursivierende Funktion zukommen sollte.

Mit seiner kuratorischen Praxis konstellierte Group Material heterogene Materialien wie Medien und strukturierte deren Diskursivierungen. Neben künstlerischen Werken von zumeist befreundeten KünstlerInnen fanden sich Materialien und Objekte von bekannten und unbekannten UrheberInnen: Alltagsgegenstände oder autorlose Bild- und Textquellen, Informations- oder Alltagsmaterialien also, die eine bestimmte Thematik evident werden lassen. Diese aus verschiedenen soziokulturellen Kontexten stammenden Materialien traten nebeneinander und woben ein Geflecht komplexer Beziehungen, die in verschiedenen visuell-diskursiven Formaten in Bewegung versetzt wurden: durch die Ausstellung, durch Workshops bzw. Veranstaltungen während der Ausstellung und durch die genannte Publikation. Die Projekte des Kollektivs richteten sich auch an Gruppierungen außerhalb des historischen Geltungsbereichs des Kunstbetriebs oder bezogen diese in Form von Diskussionsrunden oder „Bürgerversammlungen“ mit ein (Abb. 2). Group Material bezeichnete *Democracy* dementsprechend als „Zwiesprache“, unterstrich den performativen und (re-)präsentationskritischen Charakter des Projekts und hob die Ausstellung als Ort der Begegnung hervor. Der Materialkorpus stellte einen sinnlich-materiellen Operationszusammenhang her, der repräsentationskritische Reflexionen mobilisierte:

Mirroring the various forms of representation that structure our understanding of culture, our exhibitions bring together so-called fine art with products from supermarkets, mass-cultural artifacts

4 Alan Kaprow setzt das Environment und die Assemblage strukturell gleich: „Assemblages may be handled or walked around, while Environments must be walked into“ (Kaprow 1965: 159). In ihrer Gestalt als Environment, das ausgiebig Gebrauch von urbanen Materialien machte, sollte Kunst nach dem Anspruch ihrer UrheberInnen durch die zeitgenössische Welt und nicht durch Ästhetik bzw. durch ihre Tradition des Schönen strukturiert sein.

with historical objects, factual documentation with homemade projects. We are not interested in making definitive evaluations or declarative statements, but in creating situations that offer our chosen subject as a complex and open-ended issue. We encourage greater audience participation through interpretation.
(Group Material 1990: 2)

Das visuell-diskursive Environment von *Democracy* verwandelte den Ausstellungsraum in einen „alternativen Projektraum“ (Draxler 2014: 53) oder, um Rheinbergers Charakterisierung des Experimentalsystems aufzugreifen, in eine „mischförmige, hybride Anordnung“ (Rheinberger 2002: 8). Im Unterschied zum Experimentalsystem spielte das Environment *Democracy*, indem es Materialien verschiedener Herkunft kombinierte und unterschiedliche Gruppen adressierte, mit den Grenzziehungen des Systems Kunst. Die „experimentelle Bewegung des Findens ins Offene“ (Koethen 2012: 337) orientiert sich nicht an systemimmanenten etablierten Ordnungen und Kriterien, vielmehr operiert sie transversal (Raunig 2002), das heißt als Praxis des Durchquerens von sich stets überlappenden Systemen und damit gleichsam *im Offenen*. Der Grenzgang von *Democracy* zwischen Kunst und Nichtkunst stellte gängige Kriterien und Praktiken zur Disposition und provozierte Entgrenzungen, etwa zwischen Kunst und Aktivismus, zwischen Kunst und Politik, zwischen Ästhetik und Wissen. Das Projekt öffnete sich hierdurch Frag-Würdigem aus verschiedenen, auch bis anhin kunstfernen Feldern. Dementsprechend finden sich in der Projektpublikation zu den vier behandelten Themen Erziehung, repräsentative Demokratie, kulturelle Partizipation und AIDS Texte zu Bildung und Demokratie, zu Aktivismus und sozialer Ästhetik, zur Funktion von Wahlen sowie die Gesprächsaufzeichnungen der Roundtables zu kultureller Partizipation und AIDS und schließlich werden zu jener Zeit für das Kunstsystem marginale Stimmen wie die von bell hooks hörbar. *Democracy* fungierte wie das von Rheinberger beschriebene Experimentalsystem als Engführung und Öffnung und mobilisierte eine „Art frei schwebende Aufmerksamkeit“ (Koethen 2012: 339). Das Projekt vermittelte jedoch zugleich die Notwendigkeit einer Entgrenzung des Kunstsystems, die über eine bloße Öffnung hinausgeht, indem es – politisch-aktivistisch formuliert – Kunst de- und reterritorialisierte. Es widersprach etablierten Regeln, Methoden, Praktiken und Ästhetiken zugunsten einer radikalen Offenheit. Kunst wurde in *Democracy* nicht als distinkte autonome Einheit reproduziert, sondern als ein Kraftfeld von Beziehungen in Szene gesetzt, in dem es „Bedeutung und Funktion, [...] Aktionsweise und Identität“ (Adamczak 2017: 243) ausbildet.



Group Material installation at the Dia Art Foundation, New York, *Education and Democracy*, September 14–October 8, 1988.



Group Material installation at the Dia Art Foundation, New York, *Politics and Election*, October 11–November 13, 1988.

26



Group Material installation at the Dia Art Foundation, New York, *Cultural Participation*, November 19–December 10, 1988.



Group Material installation at the Dia Art Foundation, New York, *AIDS & Democracy: A Case Study*, December 17, 1988–January 14, 1989.

27

Abb. 1. Group Material, *Democracy*, 1988. Four Installations and Town Meetings. Ausstellungsansichten der vier Installationen Education, Politics and Election, Cultural Participation, Case Study AIDS. Dia Art Foundation, 77 Wooster Street, New York, 15. September 1988 – 14. Januar 1989.

Die künstlerische Praxis von Group Material baute auf der in den sechziger Jahren explizit einsetzenden Infragestellung des ästhetischen Objekts und mithin des autonomen Kunstwerks auf. Sie zielte auf eine kritisch performative Verhandlung der sich uns sinnlich vermittelnden Repräsentationen von Welt und vollzog mit ihren Praktiken auch eine kritische Transformation der Institution. Diese Transformation wird kenntlich in der spezifischen und hybriden Um- und Anordnung des Projekts, also in dem Experimentalsystem selbst, das Optionen eröffnet, die nicht auf bereits Gewusstes und Gesehenes rekurrieren, sondern einen Raum des Experimentierens schaffen, in dem sich epistemologische Prozesse *ereignen* können. *Democracy* ist durch einen institutionell definierten Rahmen bedingt, es bildet jedoch zugleich ein Environment, das Verbindungen zur und die Verschränkung mit der Lebenswelt herstellt, die BetrachterIn in konstitutiver Weise einbezieht, sie als Teilhabende

TOWN MEETING!

POLITICS & ELECTION

ORGANIZED BY GROUP MATERIAL

Tuesday, October 18, 8 PM

DIA ART FOUNDATION • 155 Mercer St.

AGENDA

Meeting Co-Chairs: Lucy R. Lippard, writer and activist
Jerry Kearns, artist

PAST: Introduction by Lucy R. Lippard and Jerry Kearns, a recent history of cultural responses to political crises.

PRESENT: Open to the floor. Discussion on the following:

What are the major aspects of the current political crises?

How are you responding to these crises individually and collectively?

Are these various methods and strategies successful?

FUTURE: Are there events approaching us that will demand cultural action?

What are the possibilities for action on a local and national level?

Please come prepared to speak on these issues. The Town Meeting on Politics & Election will be recorded, transcribed and incorporated into a publication organized by Group Material for the Dia Art Foundation.

This agenda is based on a panel discussion held in June 1988: Richard Andrews, former Director of Visual Arts, NEA, Washington D.C.; Leon Golub, artist; Esther Parada, artist; Judge Bruce Wright, Justice of the Supreme Court, State of New York.

This project is supported in part by public funds from the National Endowment for the Arts, a federal agency, and the New York State Council on the Arts. Admission is free. For more information call the Dia Art Foundation, (212) 431-9232.

Abb. 2. Group Material, *Democracy*, 1989: Flyer für Townmeeting.

adressiert, die klare Scheidung von Subjekt, Objekt und Raum auflöst, und seine Umgebung so neukonfiguriert und strukturiert. Das Kunstsystem wird denn auch nicht als autonomes, sich allein an eigene Maßgaben haltendes bestätigt, es zeigt sich vielmehr als relationales und differenzielles. Eben hierdurch gewährleistet das Projekt *Democracy* die Kohärenz des Kunstsystems, da die Vorstellung von radikaler Offenheit reproduziert wird, welche für Kunst konstitutiv ist. Diese Vorstellung impliziert, dass die Kriterien, die Kunst zu bestimmen erlauben, stets selbst auf den Prüfstand gestellt werden.

Diese (mögliche) Selbstreflexivität von Kunst gilt gemeinhin als ein Unterscheidungskriterium zwischen Kunst und Wissenschaft. Abschließend möchte ich ein weiteres Merkmal anführen, um das Experimentalsystem *Democracy* vom Experimentalsystem der Naturwissenschaft, wie es Rheinberger charakterisiert, zu unterscheiden: Während das dynamische Gebilde eines wissenschaftlichen Experimentalsystems *WissenschaftlerInnen* erlaubt, epistemischen Dingen Gestalt zu verleihen, hat das Environment von Group Material die Gestalt eines Aussagegefüges verschiedener Stimmen. Es steht, auch wenn die Institution Kunst zahlreiche Schwellen aufweist, einem heterogenen Publikum nicht nur offen, sondern es bezieht die verschiedensten Gruppen sowie heterogene Materialien und Methoden in konstitutiver Weise mit ein.⁵ Group Material schuf – darin entspricht die Arbeit des Kollektivs den Entwicklungen in den frühen neunziger Jahren – keine Werke bzw. ästhetischen Objekte im engeren Sinne, deren Bedeutung im Anschluss von ExpertInnen herausgearbeitet wird, sie initiierten vielmehr Ereignisse und verfolgten „Projekte“ (Bishop 2012: 193 ff.). Das Kunstobjekt wird damit zugunsten von recherchebasierten, kollektiven und offenen Post-Studio-Prozessen aufgegeben und das ästhetische Erleben ist seither nicht auf ein Kunstwerk reduziert, es strukturiert vielmehr die Auseinandersetzung mit einem partizipativen und sozial grundierten künstlerischen Projekt. Exemplarisch für diese Veränderungen im künstlerischen Feld wurde das *Project Unité*, ein soziales Experiment, das 1993 von Yves Aupetitallot mit dreißig KünstlerInnen in der *Unité d'habitation* von Le Corbusier in Firminy initiiert wurde. Solche Projekte sollten die soziale Handlungsmacht von Kunst steigern. Zu den Kompetenzen der KünstlerInnen gehörte fortan die Fähigkeit der Integration, der Kollaboration wie der Flexibilität oder das Vermögen, mit einem divergenten Publikum zu arbeiten. Kunst ist hierdurch, und dies ist immer auch kritisch zu reflektieren, mit einer zweckgebundenen Inanspruchnahme konfrontiert.

Die KünstlerInnen partizipativ-sozial ausgerichteter Kunstprojekte wichen, um die Ausstellung als kreatives Medium wirksam werden zu lassen, von nun an strategisch von etablierten formalen Konventionen ab. Sie veränderten die Öffnungszeiten, nutzten Off-Spaces, performative Formate, eigneten sich Vermittlungsmedien wie Audioguides, Informationstafeln oder Führungen an oder integrierten Musik, Kochen, Werbung, Kino, TV usw. Nicolas Bourriaud hat diese Veränderung in den neunziger Jahren als *Relationale Ästhetik* beschrieben und behauptet: „[T]he role of artworks is no longer to form imaginary and utopian realities, but to actually be ways of living and models of action within the existing real“ (Bourriaud 2002: 13).

Es geht mir nun nicht darum, das Für und Wider der Relationalen Ästhetik oder der projekt- und sozialorientierten Kunst zu diskutieren.⁶ Durch die Verweise auf *Project Unité* und die Theorie der Relationalen Ästhetik soll vielmehr deutlich werden, dass die kuratorische Praxis der Entgrenzung des KünstlerInnen-Kollektivs Group Material, welche die Ausstellung zu einem experimentellen Environment werden ließ, Ende der 1980er Jahre keineswegs den gängigen Konventionen und Normen entsprach.

Die assemblageartige Anordnung *Democracy* richtet(e) sich als Experimentalsystem nicht an eine spezifische ForscherInnen-Gemeinschaft wie das naturwissenschaftliche Experimentalsystem (Rheinberger 2005: 77), es adressiert(e) eine heterogene Öffentlichkeit. Zugleich wird in dem experimentellen Environment das dem Kunstsystem Differente oder Fremde produktiv und als solches explizit kenntlich. Diese Produktivität des Differenten gerät in den instituierten ästhetischen Präsentationsformaten zumeist in den Hintergrund. So reflektiert sich beispielsweise der aktivistische Konnex in Martha Roslers Fotomontage *Tron (Amputee)* aus der Serie *Bringing the War Home, House Beautiful* (1967–1972) nachdrücklich in ihrer anfänglichen Rahmung in dem feministisch-politischen Magazin *Goodbye to All That. Newspaper for San Diego Women* der SDSU: In dem Magazin erscheint die Montage einer Fotografie aus dem Vietnamkrieg mit einem Lifestyle-Ambiente aus einem

- 5 Der Ausstellung ging eine Reihe diskursiver Veranstaltungen voraus, welche unter anderem für die Konzeption der Installation grundlegend wurden: „For each topic, we collaboratively organized a roundtable discussion, an exhibition, and a town meeting. For each roundtable we invited individual speakers from diverse professions and perspectives to participate in an informal conversation. These discussions helped us to prepare the installations and provided important information for planning the agendas for the town meetings“ (Group Material 1990: 2).
- 6 Die Relationale Ästhetik führte, so merkt Claire Bishop kritisch an, zu einer „ethischen Wende“ in der Bewertung von Kunst (Bishop 2012: 18). Problematisch an Bourriauds Theorie, die viele interessante Fragen aufwirft, scheint mir, dass er die instituierenden Prozesse von Relationen nicht thematisiert und damit strukturelle Machtverhältnisse übergeht.

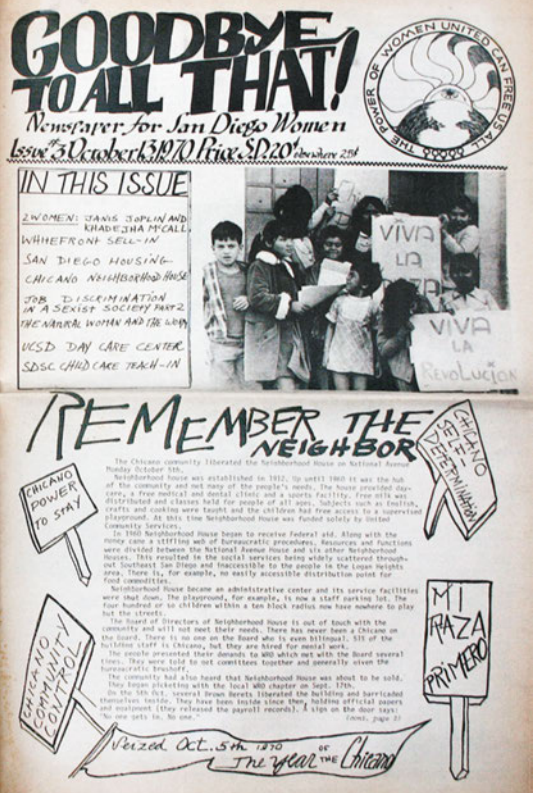
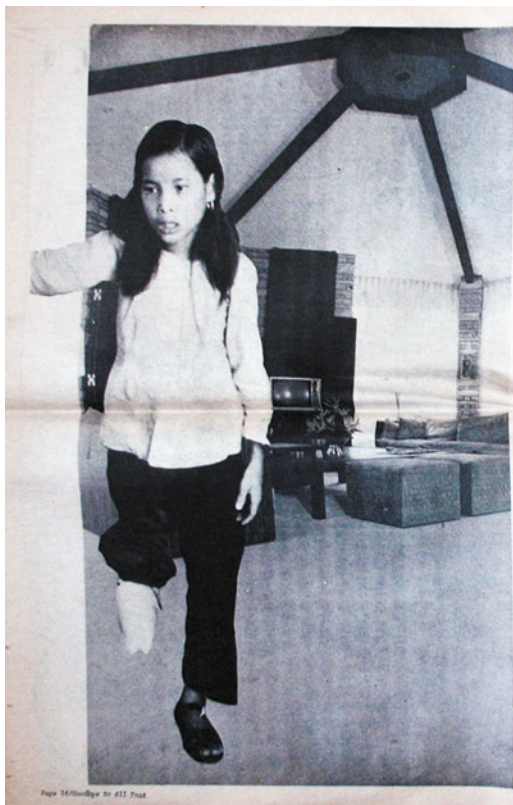


Abb. 3. Martha Rosler, *Tron (Amputee)*, 1970: Fotomontage, publiziert in *Goodbye to All That*. Newspaper for San Diego Women, Ausgabe vom 13. Oktober 1970.
 Abb. 4. Martha Rosler, *House Beautiful: Bringing the War Home*, 1966–1972. Ausstellungsansicht, 12th International Istanbul Biennale.

Hochglanzmagazin in direkter Nachbarschaft zu einem Bericht über die „Befreiung“ des Nachbarschaftshauses durch Chicana/o-Aktivistinnen oder dem Statement „THE POWER OF WOMEN UNITED CAN FREE US ALL“ und der Magazintitel „Goodbye to All That“ fungiert als Bildunterschrift von Roslers Beitrag (Abb. 3, 4). Es würde zu kurz greifen, die ursprüngliche Publikationsform allein mit politischer Agitation und die museale Präsentation mit ästhetischem Erleben und Reflexion zu verbinden. Das Magazin und die Ausstellung involvieren die BetrachterInnen sensorisch und affektiv verschiedenartig und die Inszenierung bzw. die „mischformige hybride Anordnung“ (Rheinberger 2002: 8) generiert in ihrer relationalen Fügung je unterschiedliche Sichtbarkeiten, Artikulationen und damit Erkenntnisse. Gerade deshalb ist die instituierende Kraft/Macht des (Kunst-)Systems in ihrer Ambivalenz zu reflektieren. Das Kunstsystem erlaubt eine radikale Offenheit, aber es tendiert zugleich dazu, wie das Beispiel von Roslers Collage zeigt, diese durch formale Präsentationsweisen zu glätten. *Democracy* ist ein herausragendes und eindrucksvolles Beispiel, wie künstlerisches Arbeiten dieser instituierenden Funktion des Kunstsystems kritisch begegnen kann, indem das Kollektiv die konstitutiven Bedingungen und Rahmungen des Projekts kenntlich machte. *Democracy* hält unter anderem hierdurch die Dynamik der instituierenden Kraft/Macht des Kunstsystems aufrecht, zeigt sich als daran teilhabende performative Artikulation und Verkörperung und übernimmt „Verantwortung für die Generativität“ (Deuber-Mankowsky 2011: 84) seiner visuellen Praxis.

Das Experimentieren im Feld der Kunst – aus dieser Perspektive reflektiert – begreife ich als eine Praxis des Offenen oder gar eine Praxis im Offenen: Ein relationales Verfahren, das das institutionalisierte Terrain mit seinen etablierten und instituierenden Kriterien, Methoden und Grenzziehungen deterritorialisiert, das ein dynamisches Kraftfeld erzeugt – und das reterritorialisierenden Bewegungen offensteht und so (der Kunst) neue Territorien erschließt.

Literatur

- Adamczak, Bini (2017): „Bzw. der Begriff der Beziehungsweise“, in: Dies.: *Beziehungsweise Revolution. 1917, 1968 und kommende*. Berlin: Suhrkamp, S. 239–257.
- Bishop, Claire (2012): *Artificial Hells. Participatory Art and the Politics of Spectatorship*. London/New York: Verso.
- Bourriaud, Nicolas (2002): *Relational Aesthetics*. Dijon: Les presses du réel.
- Daston, Lorraine und Galison, Peter (2007): *Objektivität*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Deleuze, Gilles und Guattari, Felix (1997): Tausend Plateaus: Kapitalismus und Schizophrenie. Berlin: Merve.
- Democracy: A Project by Group Material 1990*. (Discussions in Contemporary Culture #5), hg. von Brian Wallis, Dia Art Foundation. Seattle: Bay Press.
- Deuber-Mankowsky, Astrid (2011): „Diffraktion statt Reflexion. Zu Donna Haraways Konzept des situierten Wissens“, in: *Zeitschrift für Medienwissenschaft*. ZfM. Menschen & Andere, Heft 4, (1/2011), S. 83–91.
- Draxler, Helmut (2014): „The Turn from the Turns: An Avant-Garde Moving Out of the Center (1986–93)“, in: Decter, Joshua; Draxler, Helmut; Eccels, Tom und O'Neill, Paul (Hg.): *Exhibition as Social Intervention. 'Culture in Action' 1993*. London: Afterall.
- Duden online*: <https://www.duden.de/recht-schreibung/Experiment> (zuletzt aufgerufen: 30.5.2018).
- Gombrich, Ernst (1996): „Experimente. Die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts“, in: Ders.: *Die Geschichte der Kunst*. Frankfurt am Main: S. Fischer, S. 557–597.
- Group Material (1990): „On Democracy“, in: *Democracy: A Project by Group Material (Discussions in Contemporary Culture #5)*, hg. von Brian Wallis, Dia Art Foundation. Seattle: Bay Press, S. 1–3.
- Kaprow, Allan (1965): *Assemblage, Environments & Happenings*. New York: Harry N. Abrams Inc.
- Koethen, Eva (2012): „Das Experiment des Findens als Verfahrensweise der Kunst. Gemeinsamkeiten mit – und Differenzen zur – Wissenschaft“, in: Kreuzer, Stefanie (Hg.): *Experimente in den Künsten. Transmediale Erkundungen in Literatur, Theater, Film, Musik und bildender Kunst*. Bielefeld: transcript, S. 337–366.
- Pieper, Marianne; Panagiotidis, Efthimia und Tsianos, Vassilis (2011): Konjunkturen der egalitären Exklusion: Postliberaler Rassismus und verkörperte Erfahrung in der Prekarität, in: Dies.; Atzert, Thomas; Karakayali, Serhat und Tsianos, Vassilis (Hg.): *Biopolitik – in der Debatte*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 193–226.
- Raunig, Gerald (2002): „Transversale Multituden“. Online unter: http://eipcp.net/transversal/0303/raunig/de/#_ftnref2 (zuletzt aufgerufen: 12.8.2018).
- Rheinberger, Hans-Jörg (2002): *Experimentalsysteme und epistemische Dinge. Eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas*. Göttingen: Wallstein.
- Rheinberger, Hans-Jörg (2005): „Orientierung – Philosophie und Wissenschaftstheorie: Nichtverstehen und Forschen“, in: Albrecht, Juerg; Huber, Jörg; Imesch, Kornelia; Jost, Karl und Stoellger, Philipp (Hg.): *Kultur Nicht Verstehen* (T:G/04 Institut für Theorie). Zürich: Edition Voldemeer, S. 75–81.
- Rheinberger, Hans-Jörg (2014): „Experimentalanordnungen in Wissenschaft und Kunst“, in: Parzinger, Hermann; Aue, Stefan und Stock, Günter (Hg.): *ArteFakte: Wissen ist Kunst. Kunst ist Wissen. Reflexionen und Praktiken wissenschaftlich-künstlerischer Begegnungen*. Bielefeld: transcript 2014, S. 307–319.

Entwerfen

Upscaling Textiles. Experimenteller Materialentwurf im räumlichen Kontext

Christiane Sauer

Die bauliche Umwelt vermittelt sich unseren Sinnen über die Materialität ihrer Oberflächen, die Raum umgrenzen und schaffen. Material beeinflusst hierbei unmittelbar unsere Wahrnehmung, etwa durch Schall- oder Lichtreflexion. Es übernimmt physikalische Funktionen wie Speicherung und Absorption und schafft nicht zuletzt den Eindruck, der uns als spezifische Atmosphäre eines Raumes in Erinnerung bleibt.

Bei der Umsetzung eines Entwurfs in gebaute Realität tauchen immer wieder unvorhergesehene Problemstellungen auf: Materialien interagieren miteinander oder reagieren auf äußere Einflüsse, was als unerwünschter Effekt zu vermeiden versucht wird. Bindet man das mögliche Verhalten von Material aber aktiv als Teil des Entwurfes ein, entwickelt sich ein Prozess, der beobachten und analysieren statt kontrollieren möchte. Das Material selbst kann dann Anlass für Funktions- und Formfindung sein, seine Eigenschaften zum Gegenstand gestalterischer Untersuchungen werden. GestalterInnen entwickeln dabei praktische Expertise und werden zu ForscherInnen. Der lateinische Wortstamm *experiri* umschreibt zweierlei: sowohl die Tätigkeit des *Experimentierens* als *Kennenlernen*, *Versuchen*, *Erproben* als auch das *Erfahrensein* im Sinne des *Expertentums*.

In den Naturwissenschaften ist das Experiment vornehmlich ExpertInnen vorbehalten. Ein Versuchsaufbau wird unter vorab exakt festgelegten, wiederholbaren Bedingungen durchgeführt. Die Ergebnisse werden bewertet, um einen Erkenntnisgewinn zu formulieren und darauf aufbauend eine zuvor aufgestellte These zu erhärten oder zu widerlegen. Ganz anders verhält sich das Experiment in der Gestaltung. Es ist kein einmaliger Vorgang, sondern eine Tätigkeit: das Experimentieren. Eine gestalterische Fragestellung erfordert keine vorab festgelegte Abfolge von Aktionen, sondern im Gegenteil die Offenheit für plötzliche Richtungswechsel und Varianten. Diese Freiheit erlaubt es, auch Elemente wie Zufall oder Intuition in den Entwicklungsprozess zu integrieren. Das Entwurfsergebnis wird so zu einem Zwischenstopp auf einer fortführbaren Entwicklungskette.

Vom physischen Materialexperiment ausgehend einen Entwurf zu entwickeln, bedeutet „Bottom-up“ als Designprinzip: Material wird nicht nachträglich auf eine Form appliziert, sondern Form und Funktion entstehen aus den Eigenschaften des Materials heraus. In einer Reihe von Handmustern werden Materialien der entwerflichen Fragestellung entsprechend zum Beispiel auf ihre Formbarkeit, Optik, Haptik, Beweglichkeit oder Stabilität hin experimentell untersucht, indem sie kombiniert, getrennt, geklebt, gefaltet, gewebt, gekocht, gefroren oder auf vielfache andere Weise behandelt werden. Interessanteste Ergebnisse werden weiter vertieft und in Demonstratoren umgesetzt. Die experimentell gewonnenen Erkenntnisse sind nicht immer neu. Es lohnt sich, auch auf traditionelle Techniken zu blicken. Viele Handwerkspraktiken tragen den Kräften der Werkstoffe Rechnung, da sie sich über Jahrhunderte durch die Bearbeitung entwickelt haben. Ein Beispiel sind gezinkte oder gekeilte Holzverbindungen, die die Bewegung und das „Arbeiten“ des Materials, das Quellen und Schwinden im gefügten Verbund erlauben.

Textile Strukturen

Die Produkte textiler Praktiken wie Weben oder Flechten sind seit Jahrtausenden zugleich technischer und gestalterischer Bestandteil von Kleidung, Gebrauchsobjekten oder Behausung. Daran anknüpfend entstehen noch heute textile Flächen mit unzähligen Möglichkeiten, Optik, Haptik, Struktur und Funktionalität nach Bedarf zu konfigurieren. Die Parameter, die zu einem Resultat führen, sind in nahezu unendlicher Weise miteinander kombinierbar. Die textile Konstruktion bestimmt den Freiheitsgrad der Bewegung: Gewebe bilden einen festen Verbund sich orthogonal kreuzender Elemente, Gewirke und Gestricke sind aufgrund der Formreserve ihrer Maschen elastisch und dehnbar. Geknüpft und geknotete Elemente ermöglichen gelenkartige Verbindungen, während Gelege funktionale Faserschichten bilden. Die verwendeten Materialien können aus natürlichen Bestandteilen wie Seide oder Wolle oder aus industriell hergestellten wie Metalldraht oder Kunststofffilamenten bis hin zu Carbon-, Glas- oder Basaltfasern bestehen. Im Rahmen neuer Technologien können auch elektronische Komponenten wie Sensoren oder Aktoren in die textile Konstruktion mit eingearbeitet werden (vgl. Rossi 2017).

Textil ist also kein fest definiertes Material, sondern bezeichnet als offenes System eine Art der Fügung, die unterschiedliche Materialien durch verschiedene Konstruktionstechniken (Weben, Stricken, Knüpfen) verbinden kann. Im strukturellen Zusammenwirken

ergeben die Komponenten mit ihren spezifischen Eigenschaften ein bewegliches interagierendes System, das selbst zum neuen „Material“ wird. Textil zu entwerfen, bedeutet also zugleich, Material zu entwerfen. Seine strukturelle Offenheit erlaubt auf einfache Art freies Experimentieren mit den Eigenschaften der Fläche. Deshalb gewinnen textile Technologien für die Entwicklung neuer Materialstrategien zunehmend an Bedeutung. Der in den vergangenen Jahren rasant wachsende Markt technischer Textilien zeigt deutlich, dass Textil in Zukunft eine führende Rolle in vielen Bereichen des täglichen Lebens von der Medizintechnik bis zum Bauwesen einnehmen wird (vgl. Forschungskuratorium Textil e. V. 2012).

Experimenteller Materialentwurf

Textil nicht nur als „Stoff“, sondern als Technologie zu verstehen, erlaubt die Überführung der textilen Fläche in neue Maßstäbe und Kontexte. Insbesondere die Schnittstelle von Architektur und Textil bietet vielfache Anwendungsmöglichkeiten für funktionale Flächengebilde. Beide Bereiche könnten jedoch in ihren herkömmlichen Ausprägungen kaum gegensätzlicher sein: Architektur steht für Festigkeit, Stabilität und Dauerhaftigkeit, Textil hingegen für Beweglichkeit, Flexibilität und Weichheit. Wie architektonisch kann ein Textil, wie textil können architektonische Elemente werden? Im Bauwesen wird textile Konstruktion meist mit Membranbau gleichgesetzt, der formaktive, fest gespannte Tragwerke bildet. Was aber, wenn die Prinzipien der textilen Konstruktion an sich – das Weben, Stricken, Knüpfen – in den architektonischen Maßstab übertragen werden, um offene, wandelbare Systeme zu konzipieren, die jenseits zugbeanspruchter Konstruktionen auch freistehend oder tragend sein könnten?

Diese Fragestellung ist Ausgangspunkt der Experimente, die mit Schwerpunkt „Materialentwurf im architektonischen Kontext“ am Fachgebiet Textil- und Flächendesign bzw. am Forschungsschwerpunkt *DXM – Design und Experimentelle Materialforschung* (Berzina/Sauer 2016) der weißensee kunsthochschule berlin entstehen. Hierbei werden in ergebnisoffenen Prozessen aus den Eigenschaften des Materials heraus neue Potenziale für funktionale Flächen erschlossen, die nachhaltige und materialgerechte Konzepte ermöglichen, wie folgende Beispiele aufzeigen.

Das Garn, aus dem die textile Fläche gebildet wird, ist wesentlicher Bestandteil des gesamten Gefüges. Wird es selbst zum Gegenstand des Experimentierens, lassen sich sogar Materialien wie Beton, der wie kein anderer Werkstoff für Solidität und Stabilität steht, neu und flexibel denken und in ein frei formbares Gebilde

wandeln. Die Fragestellung, wie man Textil stabilisieren kann, um räumliche Elemente daraus zu kreieren, war Ausgangspunkt des Entwurfs *BetonTextil* (Kühner 2016, vgl. Sigmund 2016b). Ein mehrere Zentimeter starkes „Betongarn“ wurde entwickelt, das als textiler, mit Zement gefüllter Schlauch verstrickt, verwebt oder verknüpft und zu einer frei geformten Fläche drapiert werden kann. Im Anschluss wird es gewässert, härtet aus und bildet eine stabile Betonstruktur, die je nach textiler Bindung unterschiedliche Belastbarkeit und Optik aufweist. Hierbei geht die textile Hülle des Schlauches, die zugleich als verlorene Schalung dient, mit dem Beton einen kraftschlüssigen Verbund ein. Das Textil ist nicht nur formgebend, es nimmt zugleich die Zugkräfte in den Randbereichen des Betonstranges auf und wird im Verbund zum konstruktiven Element.

Die Wahl des Schlauch- und Füllmaterials sowie des Durchmessers der Betonstränge, Fragen der Stabilität und chemischen Beständigkeit sowie die Bestimmung der optimalen Zusammensetzung der Betonmischung und des Textils waren Herausforderungen, die in unzähligen Experimenten als iterativer Prozess untersucht wurden (Abb. 1). Aufgrund der Skalierung und des hohen Gewichtes des Garns waren gewöhnliche Webstühle oder Strickmaschinen zur Verarbeitung des Zementstranges unbrauchbar. So mussten Werkzeuge wie ein großformatiges Strickbrett oder eine an eine Wurstmaschine angelehnte Schlauchfülleinrichtung entwickelt und gebaut werden, um die gewünschten Experimente durchführen zu können. In einem professionellen Materiallabor fanden schließlich Biegezugversuche mit den ausgehärteten Betontextilproben statt, um die Belastbarkeit des Materials zu testen.

Die entstandenen Objekte haben faszinierende Eigenschaften. Die Oberfläche des *BetonTextils* ist hart, seine Optik hingegen weich. Gewohnte Vorzeichen kehren sich um. Textil erstarrt, Beton wird fließend. Die Maschen erzeugen eine durchlässige Fläche bei freier Formgebung (Abb. 2). Durch die dreidimensionale Struktur und den Kompositverbund kann mit vergleichsweise wenig Material eine stabile Konstruktion erzeugt werden, die keinerlei zusätzliche Schalung benötigt. Das textile Komposit minimiert den Materialverbrauch und erhöht somit die Nachhaltigkeit des Betons.

Materialmanipulationen

Industrielle technische Textilien haben als sichtbare Gestaltungselemente bislang kaum Beachtung gefunden. Sie werden zwar in allen Bereichen des täglichen Lebens eingesetzt, dort aber meist kaschiert verarbeitet – vom Abstandsgewirk in Sitzpolsterungen bis



Abb. 1. (oben) Anne-Kathrin Kühner, *BetonTextil*, 2016. Testreihen
Materialentwicklung, weißensee kunsthochschule berlin.
Abb. 2. (unten) Anne-Kathrin Kühner, *BetonTextil*, 2016.
Gestrickte Wand aus Beton, weißensee kunsthochschule berlin.



zur textilen Bewehrung in Windradflügeln. Bei näherer Betrachtung besitzen diese Hochleistungstextilien aber nicht nur faszinierende technische Eigenschaften, sondern auch ein überraschendes ästhetisches Potenzial. Deshalb gilt es die textilen Halbzeuge (so bezeichnet man industriell hergestellte Werkstoffe) aufbauend auf ihre technischen Eigenschaften auch gestalterisch zu untersuchen, so dass neue Anwendungsfelder erschlossen werden können, die das Material mit all seinen Potenzialen sichtbar werden lassen (vgl. Sauer 2017).

Das im Allgemeinen nicht textil konnotierte Vulkangestein Basalt war Inhalt des Semesterprojektes *Steinweich* (vgl. Sauer 2017). Riesige Vorkommen des Materials liegen in der Erdkruste und am Meeresboden verborgen. In einem industriellen Prozess kann Basaltschotter bei 1.450 °C aufgeschmolzen und zu Endlosfasern, sogenannten Filamenten gezogen werden, die sich zu Halbzeugen wie Geweben oder Garnen weiterverarbeiten lassen. Die technischen Eigenschaften sind vergleichbar mit Glas- oder Carbonfaser, besonders seine mechanische, thermische und UV-Beständigkeit machen das hundertprozentige Naturmaterial für viele Applikationen attraktiv. Dennoch hat sich Basaltfaser auf breiter Basis bislang noch nicht durchgesetzt und ist relativ unbekannt. Dies war Anlass für experimentelle Entwürfe, die neue Anwendungsmöglichkeiten erschließen sollten. Industrielle Gewebe, Vliese, Rovings (Faserstränge) und Garne wurden Studierenden zur Verfügung gestellt, die die Materialien mit ihrer grüngoldenen schimmernden Optik in Materialexperimenten gestalterisch untersuchten und sie darauf aufbauend in neue funktionale Kontexte setzten.

Aus dem ursprünglich massiven Stein wurden sogar filigrane und zugleich stabile Leichtbaustrukturen entwickelt bzw. gewickelt (Rapp/Unger 2017). Zu diesem Zweck wird die Faser im Verarbeitungsprozess mit einem versteifenden Harz getränkt und anschließend über ein nachträglich entfernbare hexagonales Gerüst gewickelt. Zahlreiche Experimente untersuchten die Belastbarkeit der Elemente in Abhängigkeit von der Wickeldichte und dem Durchmesser der Faser. Dies erfolgte zunächst schlicht durch körperliche Belastung (Abb. 3), später professionalisierter mit Maschinentests, die vergleichbare Ergebnisse lieferten. Die Module fügen sich zu einer zellulären, räumlichen Struktur, die zwischen offen und geschlossen oszilliert und eher erweiterbares System als intendierte Form ist. Durch die Verteilung der Fasern und die Anordnung der Module werden strukturell gradierte Flächen geschaffen, die unterschiedliche Nutzungen von leichtem Sichtschutz bis zu tragfähigem Mobiliar erlauben. Das Material ist dabei niemals eine

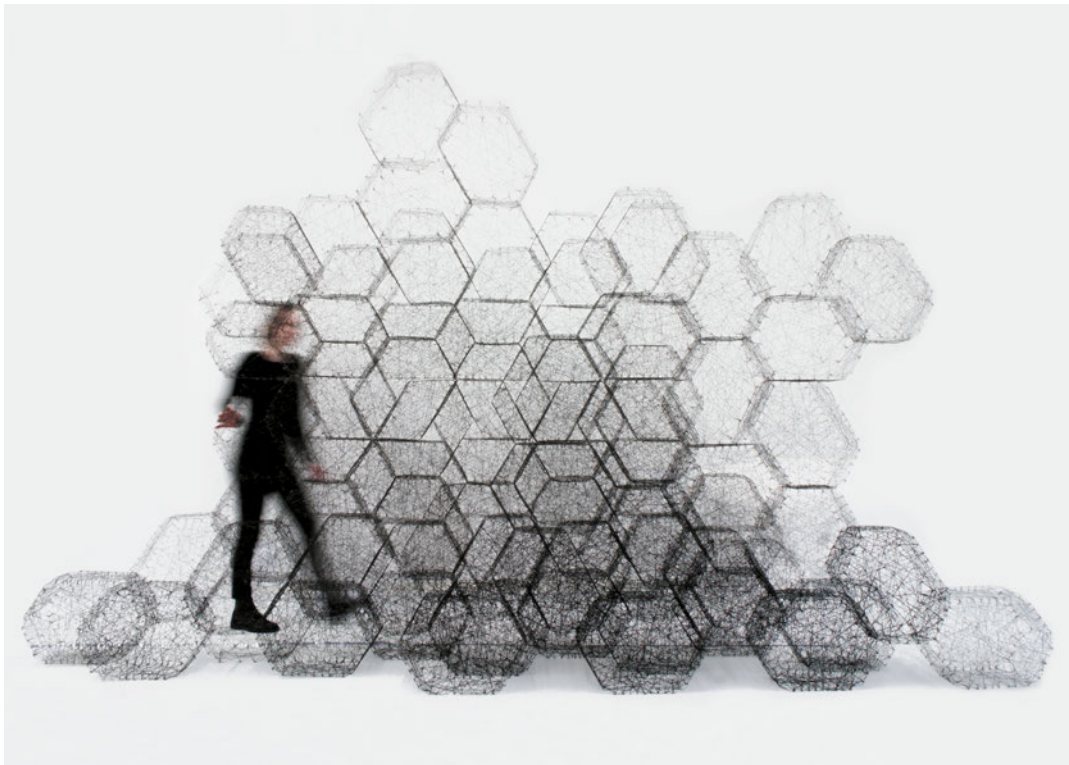


Abb. 3. (oben) Idalene Rapp, Natascha Unger, *StoneWeb*, 2017.
Modulare Elemente aus mit Harz verstärkter, gewickelter Basaltfaser,
weißensee kunsthochschule berlin.
Abb. 4. (unten) Idalene Rapp, Natascha Unger, *StoneWeb*, 2017.
Leichtbauwand aus Basaltfaser, weißensee kunsthochschule berlin.

vorgegebene Konstante, sondern seine strukturelle Ausformung wird gezielt für den Einsatzzweck angepasst. Das optimale Verhältnis von Stabilität, Geometrie und Optik wurde in unzähligen Versuchen getestet und evaluiert. Der Stein wurde dabei zum Ultraleichtmaterial: Ein Modul wiegt ca. fünfzig Gramm, die abgebildete Wandfläche mit einer Größe von rund zwölf Quadratmetern nur etwa vier Kilogramm (Abb. 4).

Der Wechsel der Aggregatzustände von flüssiger Basaltlava, die zu Gestein erstarrt, das wiederum aufgeschmolzen in ein flexibles Filament gezogen wird, war Inspiration für Gestaltungsansätze, bei denen sich die Faser mit ebenfalls formbaren Massen wie Wachs, Kunststoff und letztlich Glas verbindet. Die Hitzebeständigkeit von Basalt wurde für Experimente im Fusingofen genutzt. Glasstreifen und Steinfaser wurden gemeinsam bis auf 800 °C erhitzt. Die Materialien, die beide auf Siliziumdioxid basieren, gehen dabei einen Verbund ein, bei dem der Basalt zum stabilisierenden und formgebenden Element für das Glas wird (Abb. 5) (Gladki/Han 2017). Bei noch höheren Temperaturen von 1.200 °C beginnen die Fasern selbst zu schmelzen und bilden eine Glasur. Auf Keramik wurden unterschiedliche Arten der Musterung getestet, deren gebrannte Oberflächen wieder an erstarrte Lava erinnern (Ackermann 2017).

Unter Verwendung von Standardmaterialien aus der Industrie wurde in dem Entwurfsprojekt durch freies Experimentieren mit Basaltfaser durch Schmelzen, Wickeln, Trennen und Verbinden eine große Bandbreite neuer Anwendungsmöglichkeiten getestet. Keines der vielfältigen Ergebnisse war zu Beginn intendiert oder absehbar. Der Erkenntnisgewinn bei diesem entwurflichen Wagnis ist für die Studierenden groß, denn es eröffnet nicht nur völlig neue Herangehensweisen, sondern stärkt das Vertrauen in den experimentellen Prozess an sich, der vielfältige neue Gestaltungswege jenseits von „richtig“ oder „falsch“ eröffnet.

Interdisziplinäre Experimente

Neue Horizonte der Gestaltung erschließen sich wie gezeigt beim Machen selbst. Das Experiment ist dabei nie Selbstzweck oder Monolog, sondern stets dialogischer Prozess. Die Auseinandersetzung mit Eigenschaften und Strukturen, mit physikalischen Gesetzmäßigkeiten und auch mit den Inhalten anderer Disziplinen erlaubt es, neue Zusammenhänge zu entdecken, einzubinden und schließlich auch in eine konkrete Anwendung zu überführen.

Gerade aber die Kommunikation mit anderen Disziplinen, die Quelle der Erfahrung und Inspiration sein können, gerät oft

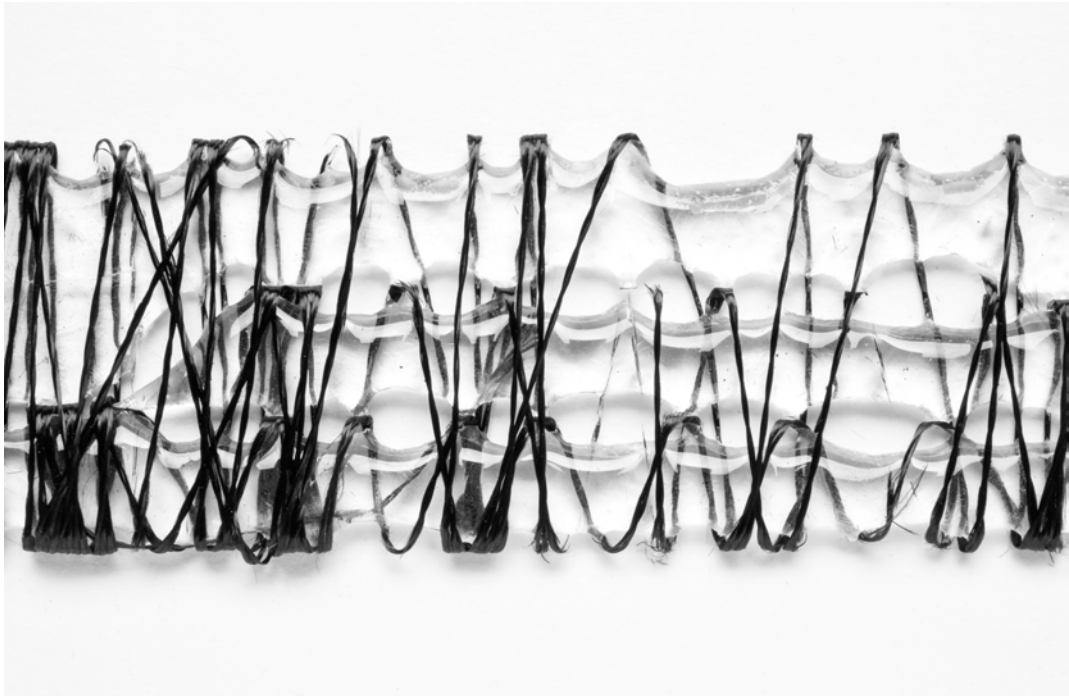


Abb. 5. Ben Gladki, Minyoung Han, *Soft Stones*, 2017. Materialexperiment, Verbund von Basalt und Glas, weißensee kunsthochschule berlin.

schon zum Experiment an sich. Im Bereich sogenannter Smart Materials, die große Potenziale für nachhaltige und adaptive Konzepte bieten, liegt das Fachwissen meist auf dem Gebiet der Chemie und Physik. Anders als Eigenschaften herkömmlicher Materialien wie Holz oder Stahl ist GestalterInnen beispielsweise das Verhalten von dielektrischen Elastomeren, Piezokeramiken oder Formgedächtnislegierungen meist nicht bekannt, was eine große Hemmschwelle für den Einsatz dieser Materialien darstellt. Um mit diesen komplexen Materialien experimentieren zu können, muss man sich also zunächst ein Grundwissen aneignen. In der interdisziplinären Zusammenarbeit von Naturwissenschaft und Gestaltung ist neben den fachlichen Herausforderungen schon das Abgleichen von Terminologien eine der ersten Hürden. Beispielsweise liegen Skalierungen in der Physik im Nano- oder Mikrometerbereich, in Design und Architektur dagegen bei Zentimetern und Metern. Schon einfache Zuordnungen wie „groß“ oder „klein“ führen deshalb regelmäßig zu Verwirrungen und Missverständnissen.

Eine Basis für die Verständigung zwischen den Disziplinen zu schaffen, war Ziel des Forschungsprojektes *Smart Tools for Smart Design* (Berzina/Aumann/Wolf 2016). Es bereitet die technischen Funktionsweisen und gestalterisch wirksamen Eigenschaften der Smart Materials für DesignerInnen und die interessierte Öffentlichkeit so auf, dass sie wie herkömmliche Materialien benutzt und eingesetzt werden können. Zur Inspiration werden konkrete Anwendungsbeispiele aus dem Designbereich dargestellt. Verschiedene Vermittlungsformate wie ein mobiles Laboratorium, Ausstellungen, transdisziplinäre Workshops oder eine Website ermöglichen nachhaltigen Wissenstransfer.

Ein erfolgreiches Beispiel für die Überführung eines Smart-Material-Experiments in ein konkretes Anwendungsszenario ist der *Solar Curtain*, ein adaptives System, das als autarke Fassadenverschattung funktioniert. Erste Materialexperimente im Rahmen eines studentischen Entwurfsprojektes untersuchten Bewegungsprinzipien von Kugelfischen und sich öffnenden Blüten, aus denen die Faltung für die pixelartigen Sonnenschutzmodule entwickelt wurde (Finnsdóttir 2014). Integrierte Formgedächtnisaktoren verformen sich bei Temperaturanstieg, so dass das System durch solare Wärmestrahlung aktiviert wird und den Raum bei Sonneneinstrahlung selbsttätig ohne externe Energiezufuhr verschattet. Um zusätzliche Kontrollmöglichkeit zu gewährleisten, ist eine individuelle Ansteuerung auch durch elektrische Impulse möglich und kann aufgrund der modularen Struktur gradierend über die gesamte

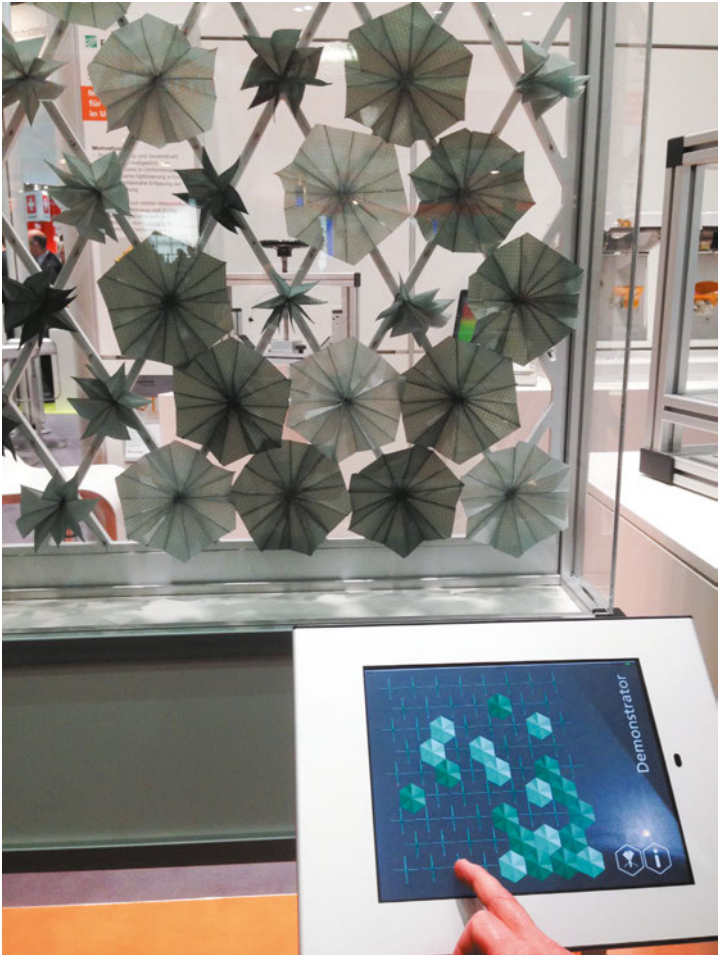


Abb. 6. Bára Finnsdóttir und Fraunhofer IWU, *Solar Curtain*, 2015.
Technischer Demonstrator einer adaptiven Fassadenverschattung auf der Basis von Smart-Material-Komponenten (FGL), weißensee kunsthochschule berlin und Fraunhofer IWU, Dresden.

Fläche eingestellt werden. In aktiver Zusammenarbeit von Gestaltung und Wissenschaft, in diesem Fall der weißensee kunsthochschule berlin mit dem Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (IWU) in Dresden, entstand aus einem experimentell entwickelten studentischen Entwurf ein funktionierender technischer Prototyp (Abb. 6), der in der Fachwelt großen Anklang fand (vgl. Peters 2016, Honsel 2015, Sigmund 2016a).

Ausblick

Materialexperimente mit textilen Strukturen prägten immer wieder neue Strategien für Konstruktion und Formfindung in der Architektur. Beispiele sind die Hängemodelle Antonio Gaudis (Beukers/van Hinte 2005), Frei Ottos Minimalflächen aus Seifenhaut oder Nylonstrumpf (Vrachliotis 2016), Heinz Islers gefrorene Tücher (Ramm/Schnuck 2002) oder jüngst Achim Menges robotisch konstruierte Faserarchitekturen (Menges/Knippers 2015). Immer werden textile Komponenten in den architektonischen Kontext übertragen, um effiziente Bauweisen zu finden, die zugleich eine eigenständige Formsprache entwickeln.

Textilkonstruktionen können zudem für ihren Einsatzzweck maßgeschneidert werden. Dies spart Material und Energie bei Produktion, Transport und Aufbau. Durch strukturelle Verdichtung lassen sich mit ein und demselben Fasermaterial unterschiedliche Eigenschaften in der Fläche erzeugen. Die entstehenden gradierten Werkstoffe können aus einem Material hergestellt und somit gut recycelbar sein. Aber auch die Wiederverwertung unterschiedlicher Materialien und Komponenten eines textilen Gefüges ist durch seine lösbaren Verbindungen leicht möglich. Nicht nur in der Fertigung, sondern auch in Hinblick auf Ressourceneffizienz und Materialkreisläufe liegt also großes Potenzial in textilen Technologien. Das Experimentieren wird in dieser Entwicklung auch in Zukunft eine tragende Rolle einnehmen, um Material, Form und Funktion neu zu „verweben“. Die textile Fläche wird dabei selbst zum Material – zu einem aktiven, gestaltbaren System.

Material zu entwerfen ermöglicht, an die Substanz von Konstruktion zu gehen, nämlich schon auf der physikalischen Ebene der Materialeigenschaften die Erscheinung, die Bewegung und die Funktionalität von Strukturen zu gestalten. In unserer Arbeit an der Hochschule versuchen wir uns jenseits ästhetischer Komfortzonen darauf einzulassen, zunächst dem Verhalten des Materials und nicht persönlichen Gestaltungsvorstellungen zu folgen. Wie im Beispiel des *BetonTextils* oder der Basaltfaserwand entdecken und verstehen wir durch Materialexperimente funktional relevante

Eigenschaften, aus denen sich neue Gestaltungsansätze ableiten lassen. Aus diesen Erkenntnissen heraus werden Betrachtungsweisen und disruptive Ansätze möglich, die allein auf Basis tradierter Kenntnisse niemals in den Fokus des Entwerfens gerückt wären.

Das Hochskalieren textiler Konstruktionen in den architektonischen Maßstab birgt hierbei enormes Potenzial. Sie können nach Erfordernis zwischen fest und beweglich, zwischen massiv und durchlässig konzipiert werden. Durch relativ geringes Gewicht und auch durch energetische Komponenten sind sie speziell für Leichtbau interessant. Solche hybriden aktiven Strukturen werden als Materialien der Zukunft für unsere Räume und Gebäudehüllen benötigt, wenn wir den anstehenden klimatischen und energetischen Herausforderungen verantwortungsvoll begegnen wollen. Die Hochschule bietet dafür den wertvollen Freiraum, Ideen wie beispielsweise den *Solar Curtain* zu tragfähigen Konzepten zu entwickeln, die im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsprojekten in reale Produkte überführt werden können.

Literatur

- Ackermann, Charlotte und Sauer, Christiane (2017): *Steinweich / 1200°*. Semesterentwurfsprojekt WS 2016/17. Fachgebiet Textil- und Flächendesign, weißensee kunsthochschule berlin. Online unter: <http://www.kh-berlin.de/projekt-detail/Project/detail/steinweich-2561.html> (zuletzt aufgerufen: 29.8.2018)
- Berzina, Zane und Sauer, Christiane (Hg.) (2016): *Design and Experimental Material Research*. Berlin: weißensee kunsthochschule berlin, Fachgebiet Textil- und Flächendesign. Online unter: http://www.kh-berlin.de/uploads/tx_khberlin/khb-tfd-design%26experimental-material-research-st4sd-final-digital-small.pdf. (zuletzt aufgerufen: 29.8.2018).
- Berzina, Zane; Wolf, Julia und Aumann, Veronika (2016): *Smart tools for smart design*, Forschungsprojekt. Berlin: weißensee kunst hochschule berlin. Online unter: www://st4sd.de/ (zuletzt aufgerufen: 29.8.2018).
- Beukers, Adriaan und van Hinte (Hg.) (2005): *Lightness*. Rotterdam: 010 Publishers.
- Finnsdóttir, Bára und Sauer, Christiane (2014): *Change / Solar Curtain*. Semesterentwurfsprojekt SS 2014. Fachgebiet Textil- und Flächendesign, weißensee kunsthochschule berlin. Online unter: <http://www.kh-berlin.de/projekt-uebersicht/Project/overview/change-smart3-1780.html> (zuletzt aufgerufen: 29.8.2018).
- Forschungskuratorium Textil e. V. (2012): „Perspektiven 2025 – Handlungsfelder für die Textilforschung von morgen“. Berlin: Forschungskuratorium Textil e. V. Online unter: <http://www.textilforschung.de/publikation?id=5> (zuletzt aufgerufen: 29.8.2018).
- Gladki, Ben; Han, Minyoung und Sauer, Christiane (2017): *Steinweich / Soft Stones*. Semesterentwurfsprojekt WS 2016/17. Fachgebiet Textil- und Flächendesign, weißensee kunsthochschule berlin. Online unter: <http://www.kh-berlin.de/projekt-detail/Project/detail/steinweich-2561.html> (zuletzt aufgerufen: 29.8.2018)
- Honsel, Gregor (2015): „Metalle die sich erinnern“, in: *Technology Review*, Juli, S. 80.

- Kühner, Anne-Kathrin und Sauer, Christiane (2016): *BetonTextil*. Masterthesis WS 2015/16, Dokumentation. Fachgebiet Textil- und Flächen-design, weißensee kunsthochschule berlin.
- Menges, Achim und Knippers, Jan (2015): „Fibrous Tectonics“, in: *AD Architectural Design* 237, September/Oktober, London: Wiley, S. 40–47.
- Peters, Sascha (2016): „Das Material denkt mit“, in: *domus*, März/April, S. 130–131.
- Ramm, Ekkehard und Schnuck, Eberhard (2002): „Eisversuche“, in: Dies. (Hg.): *Heinz Isler, Schalen*. Zürich: vdf Hochschul Verlag an der ETH, S. 89–91.
- Rapp, Idalene; Unger, Natascha und Sauer, Christiane (2017): *Steinweich / Stone Web*. Semesterentwurfsprojekt WS 2016/17. Fachgebiet Textil- und Flächendesign, weißensee kunsthochschule berlin. Online unter: <http://www.kh-berlin.de/projekt-detail/Project/detail/steinweich-2561.html> (zuletzt aufgerufen: 29.8.2018)
- Rossi, René (2017): „Hightech – und intelligente Textilien für körpernahe Anwendungen“, in: Fehr, Michael; Reichel, Michaela und Textilmuseum St. Gallen (Hg.): *Neue Stoffe – New Stuff. Gestalten mit Technischen Textilien*. Ausstellungskatalog Textilmuseum St. Gallen. Baden: hier und jetzt, Verlag für Kultur und Geschichte, S. 65–73.
- Sauer, Christiane (2017): „Perspektivwechsel: Technische Textilien als Quelle der Inspiration“, in: Fehr, Michael; Reichel, Michaela und Textilmuseum St. Gallen (Hg.): *Neue Stoffe – New Stuff. Gestalten mit Technischen Textilien*. Ausstellungskatalog Textilmuseum St. Gallen. Baden: hier und jetzt, Verlag für Kultur und Geschichte, S. 121–129.
- Sauer, Christiane (2017): „SteinWeich – Experimentelle Flächen aus Basaltfaser“, in: *md Interior Design Architecture*, April, S. 72–75. Online unter: <https://www.md-mag.com/interior-architecture/fachbeitraege/material/textildesign/> (zuletzt aufgerufen: 29.8.2018).
- Sigmund, Bettina (2016): „Betontextil, Verbundmaterial neu interpretiert“. Online unter: <https://www.detail.de/artikel/betontextil-verbundmaterial-neu-interpretiert-28482/> (zuletzt aufgerufen: 29.8.2018).
- Sigmund, Bettina (2016a): „Solar Curtain – Sonnenschutz durch Formgedächtniseffekt“, in: *DETAIL research*. Online unter: <https://www.detail.de/artikel/solar-curtain-sonnen-schutz-durch-formgedaechtniseffekt-28272/> (zuletzt aufgerufen: 29.8.2018).
- Sigmund, Bettina (2016b): „Betontextil, Verbundmaterial neu interpretiert“. Online unter: <https://www.detail.de/artikel/betontextil-verbundmaterial-neu-interpretiert-28482/> (zuletzt aufgerufen: 29.8.2018).
- smart³ Innovationsnetzwerk (2018): „Smart Tools for Smart Design – Wissenstransfer zum Anfassen“. Online unter: <http://www.smarthoch3.de/demonstratoren/smart-tools-for-smart-design/> (zuletzt aufgerufen: 29.8.2018).
- Vrachliotis, Georg (2016): „Denken in Modellen – Architektur und operative Ästhetik bei Frei Otto“, in: Ders.; Kleinmanns, Joachim; Kunz, Martin und Philip Kurz (Hg.): *Frei Otto. Denken in Modellen*. Ausstellungskatalog. Leipzig: Spector Books, S. 22–30.

Erfahren

Experimente mit technischer Demokratie in Entwurfskursen

Ignacio Farías und Tomás Sánchez Criado

1 Technische Demokratie lehren:

Von prädikativen zu erfahrungsbasierten Modi

In diesem Aufsatz erzählen wir von pädagogischen Herausforderungen, denen wir an einem der größten deutschen Institute für Wissenschafts- und Technikforschung (STS), dem 2013 an der Technischen Universität München gegründeten Munich Center for Technology in Society (MCTS), begegnet sind. Konzipiert als „integratives Forschungszentrum“ mit Lehrstühlen an verschiedenen Fakultäten (Life Sciences, Management, Education, Governance etc.), will das MCTS nicht nur verschiedene STS-Traditionen unter einem Dach zusammenbringen (Maasen et al. 2017), sondern auch mit Formen der Kollaboration und Intervention in den Natur- und Technikwissenschaften experimentieren (Farías et al. 2017). Zwischen 2015 und 2018 lehrten wir an der Fakultät für Architektur, wo wir einen vom STS geprägten stadthanthropologischen Ansatz zu aktuellen Herausforderungen technischer Demokratisierung vertraten.

Im Folgenden möchten wir experimentelle Strategien aufzeigen, die bei den Entwürfskursen für Masterstudierende der Architektur zum Einsatz kamen. Unsere Experimente hatten ein zentrales konzeptionelles Anliegen: die Bedeutung und die Möglichkeiten von technischer Demokratie für die Ausbildung zukünftiger EntscheidungsträgerInnen in Sachen gebaute Umwelt entfalten.¹ Technische Demokratie ist ein altes politisches Anliegen der STS. Dabei geht es um die Problematisierung von Formen und Auswirkungen technokratischer Regierungsformen und die Erforschung von und Forderung nach einer Demokratisierung von Wissensproduktion und Technikgestaltung. Eine der zentralen Herausforderungen der technischen Demokratie ist also: „in what circumstances, under what conditions, according to what modalities, and with what effectiveness is collaboration between laypersons and specialists conceivable?“ (Callon et al. 2011: 36).

Während die meisten ForscherInnen im Feld der STS sich seit Jahrzehnten und sehr erfolgreich und inspirierend mit der Frage

1 Für eine Kontextualisierung dieses Projektes in der aktuellen Geschichte der Verflechtungen zwischen Design und STS siehe Farías/Sánchez Criado 2018.

beschäftigen, wie sich sogenannte Laien und betroffene Gruppen in kontroversen techno-wissenschaftlichen Angelegenheiten positionieren und Formen von Expertise für sich reklamieren, haben wir uns in den letzten Jahren zunehmend mit der Rolle und den Praktiken von ExpertInnen in verschiedenen urbanen Kontexten auseinandergesetzt. Diese Arbeit führte uns zu dem Ansatz, von der „Expertisierung“ von Laien zu einer „Re-Sensibilisierung“ von ExpertInnen überzugehen. Die Demokratisierung von technischer Entscheidungsfindung kann nicht nur darin bestehen, dass BürgerInnen oder Laien ExpertInnen werden (müssen). Genauso wichtig ist, dass als solche anerkannte ExpertInnen aus der privaten Wirtschaft und dem öffentlichen Sektor sich der Grenzen ihres eigenen Fachwissens bewusst werden und sich für andere Formen der Wahrnehmung, des Wissens und der Bewertung sensibilisieren. Eine solche Sensibilisierung erfordert viel mehr als nur Bewusstseinsbildung, nämlich eine körperliche Aneignung von Sensibilitäten und Fertigkeiten durch Erfahrung. Damit stellt sich das Umdenken in der Ausbildung von Fachleuten als die zentrale Herausforderung. Die Universität als Ausbildungsort von ExpertInnen, so konnten wir auch feststellen, ist noch heute ein weitgehend übersehener, aber kritischer Aspekt des Projekts der technischen Demokratie.

Rückblickend erkennen wir einen sehr naiven Beginn unserer Intervention, wo wir klassische Leseseminare zur technischen Demokratie im Allgemeinen sowie zur Bürger-/Nutzerbeteiligung in Entwurfsprozessen anboten. Denn so interessant diese Lektüren auch waren, es wurde uns schnell klar, dass „nur lesen“ nicht der Weg war, um unsere Studierenden jemals dazu zu inspirieren, sich in ihrer eigenen Entwurfspraxis der Herausforderung der Demokratisierung zu stellen. Diese Erkenntnis wurde zum Ansporn, ein anderes Projekt zu starten: die experimentelle Umgestaltung unserer pädagogischen Praxis von einem *prädikativen* Ansatz, bei dem die verschiedenen Aspekte einer technischen Demokratie durch Lesen und Nachdenken über die eigene Praxis zugänglich werden, in einen *erfahrungsbasierten* Ansatz, bei dem die Öffnung und Demokratisierung der eigenen Praxis durch herausfordernde Unterrichtsthemen, Situationen und Aufgaben notwendig werden. Zusammenfassend lassen sich drei Modi unterscheiden, in denen wir solche pädagogischen Experimente gestaltet haben.

2 Erfahrungsmodus 1: Ko-laboration

Der Anthropologe Jörg Niewöhner unterscheidet zwischen „Kollaboration“ und dem, was er „Ko-laboration“ nennt. Letztere versteht er als Praktiken multidisziplinärer Arbeit, die eine „non-teleological

joint epistemic work without the commitment to a shared outcome“ betreiben (2015: 236). Der Ergebnis dieser ineinandergreifenden, aber jeweils disziplinären Forschungspraktiken ist die Entstehung von „ecologies of idiocy“: Räume, in denen wir verwirrt und verlangsamt werden können, um schließlich von den anderen zu lernen (siehe Michael 2013).

Die Figur einer Ökologie idiotischer Ko-laboration passt sehr gut zum pädagogischen Ansatz des Kurses *Sketch Design: Das Parlament der Dinge*, unterrichtet in Zusammenarbeit mit Prof. Florian Nagler (Lehrstuhl für Entwerfen und Konstruktion) im Jahr 2015. Wie der Titel suggeriert, stellten wir im Kurs die Frage, wie STS-Diskussionen über eine mehr-als-menschliche Politik eine architektonische Erkundung möglicher parlamentarischer Räume inspirieren könnten, in denen Menschen und Nicht-Menschen ihre Ansprüche und Anliegen darlegen können (für eine detaillierte Diskussion siehe Fariás/Correa 2017). Dabei war es uns ein besonderes Anliegen, relativ komplexe Theoriediskussionen in STS über konventionelle Auffassungen und Bauten der parlamentarischen Demokratie in einer für Architekturstudierende zugänglichen Form zu vermitteln. Als Alternative zur klassischen Vorlesung entschieden wir uns, unsere Interaktion mit den Studierenden als eine Begegnung mit einem Kunden zu gestalten. „KundInnen“, sagten wir zu den Studierenden, „kommen mit Problemen in euer Büro, die nicht primär architektonisch sind, so dass eure erste Aufgabe darin besteht, das Problem des Kunden in ein architektonisches Problem zu übersetzen. Dies erfordert jedoch, dass ArchitektInnen den Geschichten, Anekdoten, Träumen und Erklärungen der KundInnen besondere Aufmerksamkeit schenken, auch wenn sie wissen, dass diese nur teilweise für das Projekt relevant sein werden.“

„Der knifflige Teil“, so fuhren wir fort, „ist aber, dass man nicht im Voraus wissen kann, was ausschlaggebend sein wird und was nicht.“ So schufen wir anstelle einer Seminarsituation im Fach STS eine Situation, in der ein Kunde namens „STS“ (das waren wir selbst) zu einer Architektin geht, die nach einer architektonischen Antwort auf die Frage suchen soll, was mehr-als-menschliche Politik bedeuten könnte. Die Bezugnahme auf die Beziehung zwischen Kunden und Architektin erlaubte es uns, eine „ko-laborative“ Umgebung zu schaffen, in der sich unsere jeweiligen Interessen nur teilweise überschneiden. Die Studierenden waren nur teilweise an dem interessiert, was wir zu sagen hatten, und wir konnten nur teilweise daran interessiert bleiben, ob sie etwas über STS lernten, da ihre Aufgabe darin bestand, ein Parlament der Dinge zu planen. Wir bewohnten einen gemeinsamen Problemraum

– „Was kann ein Parlament der Dinge sein?“ –, arbeiteten aber auf getrennte und letztlich unvereinbare Art und Weise daran. Obwohl die Studierenden in diesem Kurs mit einer neuen und herausfordernden Situation konfrontiert waren, erforderte ihr Engagement in der Situation interessanterweise nicht, dass sie die Logik ihrer Designpraktiken, ihren Glauben an das individuelle Talent und die Zentralität der Kreativität, gar Genialität des Einzelnen hinterfragten.

3 Erfahrungsmodus 2: Fallenstellen

Wenn wir die Herangehensweise der Studierenden an den Designprozess verändern wollten, mussten wir weiter suchen. Das Ergebnis des nächsten Experimentes kann mit einem Konzept des Anthropologen Alberto Corsín (2018) als „Fallenstellen“ beschrieben werden. Wir begannen damit, uns unsere Kurse als „Fallen“ vorzustellen, um StudentInnen in verschiedene Denk- und Gestaltungsweisen zu locken. Das Aufstellen von „Fallen“ erforderte aber von uns, wie ArchitektInnen zu denken und zu handeln, uns in ihre Umgebung einzufügen, ihre Sprache zu benutzen und Kurse anzubieten, die auf den ersten Blick ihre Erwartungen an eine sinnvolle Berufsausbildung erfüllten. Auf halbem Weg würden unsere Kurse jedoch seltsam werden – und die Studierenden mit idiotischen Einwänden gegen ihre Praxis konfrontieren sowie mit der Aufforderung, etwas anderes zu tun, als sie sich vorstellten.

Der Entwurfskurs *Design in Crisis 1: Re-Designing emergency design* ähnelte so einer Falle. In der Ankündigung und Einführung machten wir unseren Studierenden einen einfachen Vorschlag: „Wählen Sie zwischen diesen drei Krisensituationen oder humanitären Katastrophen: einer Überschwemmung in Südbayern, der syrischen Flüchtlingskrise in Deutschland und dem Erdbeben in Amatrice, Italien, und entwickeln Sie in drei Wochen eine architektonische Lösung für das in Ihren Augen kritischste Problem. Mangelnde Zeit, Informationen und Ressourcen sind die normalen Bedingungen, unter denen ArchitektInnen in solchen Krisen arbeiten. Nachdem Sie den ersten Entwurf für Ihre vorgeschlagene Lösung entwickelt haben, müssen Sie sich mit den direkt von diesen Krisen betroffenen Personen in Verbindung setzen und empirische Recherchen antreiben.“

Die implizite Unterstellung in einer solchen Kursbeschreibung war, dass die Studierenden, ausgestattet mit zuverlässigem sozialwissenschaftlichen Wissen, in der Lage seien, ihre Designlösungen für die Krise zu verbessern. Aber sobald sie begannen, echte Menschen zu interviewen, Diskussionsforen in sozialen Netzwerken einzurichten, an die Türen der öffentlichen

Verwaltungen zu klopfen und E-Mails an Beamte zu schreiben, versuchten wir, nicht nur ihre bisherigen Lösungen, sondern auch die eigentlichen Prämissen ihrer Designpraxis in eine Krise zu versetzen. Sie würden bald erkennen, dass ihr neues Wissen über die Situation eher spekulativ war und dass ihre Studioleiter, nämlich wir, überhaupt nicht an einer architektonischen Lösung interessiert waren. Sie waren in einem Entwürfskurs gefangen, in dem idiotische Lehrer fragten:

Was wäre, wenn Sie nicht nach architektonischen Lösungen suchen, sondern das Problem erforschen und anschließend inszenieren würden? Was wäre, wenn es Ihre Aufgabe wäre, ein Artefakt zu entwerfen, das Wissen über die Krise generiert und sammelt, anstatt mit eher prekärem Wissen Lösungen zu entwerfen? Was wäre, wenn Sie nicht versuchen würden, politisch neutral zu sein, sondern eindeutig Partei ergreifen würden? Was wäre, wenn Sie statt zu zeichnen Ihre Gedanken zu all dem aufschreiben würden?

Veranschaulichen wir dies anhand der Arbeit einer Gruppe von Erasmus-Studierenden, die sich vornahmen, architektonisch auf die „Flüchtlingskrise“ in München zu reagieren. Nach einer kurzen Einschätzung der Situation beschloss die Gruppe, ein zeltartiges Gebäude vorzuschlagen, um das nach ihrer Einschätzung dringendste Problem zu lösen:

Wir gingen davon aus, dass die Hauptkrise oder das Hauptthema in der sozialen Diskriminierung und der Unmöglichkeit besteht, auch nach Beginn des Asylverfahrens in den Arbeitsmarkt einzutreten – da die meisten „Flüchtlinge“ (verwenden wir diese Bezeichnung, auch wenn sie zu allgemein ist) kein Deutsch sprechen, keine besonderen Fähigkeiten haben oder in der Regel in arbeitsrechtlichen Auswahlverfahren diskriminiert werden. (Abschlussbericht der Studierenden, Februar 2017)

Das Gebäude würde alle NGOs, Organisationen und einzelnen Freiwilligen, die den Flüchtlingen Hilfe anbieten, in einem einzigen Raum in der Nähe des Hauptbahnhofs und des Ankunftsentrums in München zusammenführen. Darüber hinaus könnten verschiedene AkteurInnen ihn als „politischen Hotspot“ nutzen, der die vielen Demonstrationen, die jede Woche in der Stadt stattfinden, sichtbar machen würde.

Abgesehen von der kritischen Auseinandersetzung mit diesem Entwurf war die Vorgabe, dass die Studierenden zum

Themenkomplex empirisch forschen sollten, entscheidend für eine radikale Infragestellung der eigenen architektonischen Praxis. Die Forschung erwies sich als äußerst schwierig, nicht nur wegen der fehlenden Deutschkenntnisse, die sie mit den Flüchtlingen selbst teilten, sondern auch, weil sie meist nicht in die Flüchtlingsunterkünfte gelassen wurden. Die Studierenden adaptierten viele innovative Methoden zur Kartierung des Themas („cultural probes“, „photo elicitation“ usw.), hatten aber große Schwierigkeiten bei der Durchführung der Forschung und der Sammlung relevanter Informationen, insbesondere aus offiziellen Quellen. Frustriert von ihren weitgehend erfolglosen Bemühungen, sich überhaupt nur einen Überblick über die Situation zu verschaffen, begannen sie, Pro-Flüchtlings-Demonstrationen, Konzerte und andere Veranstaltungen zu besuchen, wo sie mit Flugblättern über das Projekt nach AnsprechpartnerInnen suchten. Indem sie damit einen partiellen und sogar parteiischen Charakter von Wissen akzeptierten, wurde nun eine dichte Wissensproduktion über die sogenannte Flüchtlingskrise möglich.

Die Frage, die wir ihnen dann zu artikulieren halfen, betraf die Art und Weise, wie die Architektur auf solche Probleme der Wissensproduktion über die Flüchtlingskrise reagieren kann, und führte zu der Idee, dass die Herausforderung für eine architektonische Intervention nicht darin bestehen könnte, eine Lösung für eine Krise zu entwerfen, sondern das problematische Verhältnis zwischen Wissen und Entwurf sichtbar und öffentlich zu machen (vgl. Bjögvínsson et al. 2012).

Als Projektabschluss entstand dann ein Prototyp („Infohalle“) für einen mit einer App ausgestatteten Informations- und Sammelstand, der an zentralen Freiräumen in der Stadt platziert werden sollte (siehe Abb. 1 und 2). Das Problem, das die Studierenden nun lösen wollten, war: „Welche Bedingungen sind eigentlich notwendig, damit ein partizipativer Prozess wirklich erfolgreich ist?“ Als sie darüber nachdachten, wie sich ihre Architekturpraxis verändert hatte, stellten sie fest, dass sie „von der Gestaltung eines Objektes, die auf unseren eigenen Annahmen basiert, zur Gestaltung eines Prozesses zur Sammlung von Informationen und zur Darstellung von Fakten übergegangen sind“ (Abschlussbericht der Studierenden, Februar 2017).

Im Rückblick ist es möglich, eine Bilanz zu ziehen. Einerseits gelang es in diesem Kurs, mit den Studierenden in Frage zu stellen, wie die Architektur die von ihr zu entwerfenden Objekte konzipiert. Dieser Prozess lässt sich als eine Verschiebung von „technischen Objekten“ auf „epistemische Dinge“ (Rheinberger) kennzeichnen.

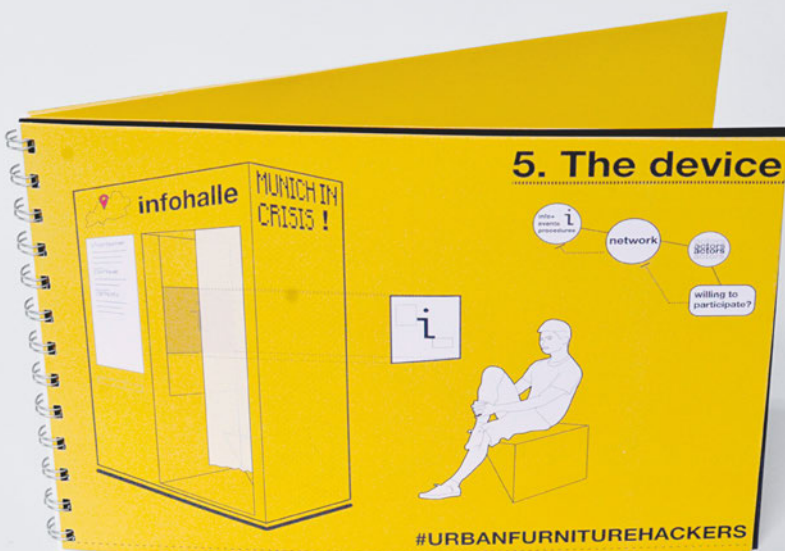
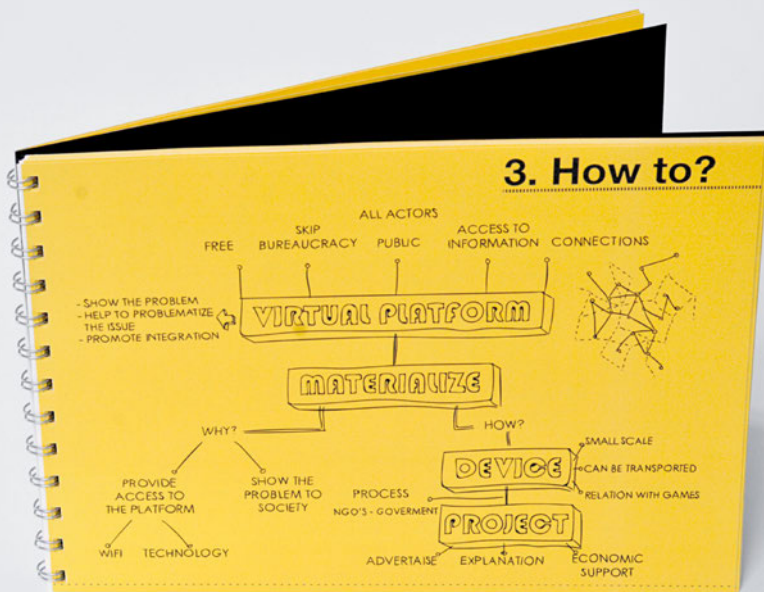


Abb. 1, 2. *Design in der Krise 1*: Endgültiger Vorschlag („Infohalle“) der Gruppe „München in der Krise“, Studierende des MA Architektur, Technische Universität München, 2016–2017.

Andererseits gelang es uns jedoch nicht, ihre lösungsorientierte Designpraxis in eine Krise zu stürzen. Der Entwurf von epistemischen Dingen stand in gewisser Weise als Lösung für die festgestellte Nichtbelastbarkeit des Wissens, das in den ersten Entwurf einfluss. Wir hatten es also geschafft, das Problem zu verändern, aber wie sollten wir die Studierenden davon abhalten, „Lösungen“ zu produzieren?

4 Erfahrungsmodus 3: Intravention

Eine Radikalisierung des Experimentes sollte es unseren Studierenden wirklich schwer, wenn nicht gar unmöglich machen, auf ihre kreativen Fähigkeiten zurückzugreifen, um architektonische Lösungen zu finden. Dafür war es erforderlich, nicht nur den Kontext oder die Parameter zu verändern, sondern wir mussten uns in die Designpraxis selbst einmischen. „Intraventions“, ein von Altés (2016) geprägter Begriff, der aus der Arbeit von Donna Haraway und Karen Barad stammt, ist hilfreich, um diese weitere Strategie zu verstehen. Hatten wir in den vorigen Kursen Einsichten aus den STS mobilisiert, um in Designpraktiken zu intervenieren, sie herauszufordern und zu verändern, dann war dies nun ein intraventiver Ansatz, der von uns „an engaged understanding of the relations of things, materials, and people within a [design] situation [...], as well as improvisational and speculative skills“ verlangte (Altés 2016: 116). Anders gesagt: Wenn es unser Ziel ist, unsere Studierenden zu verändern, müssen wir unsere STS-Konzepte hinter uns lassen und unsere Versuche, als STS-ler zu intervenieren, beenden. Wir müssen es stattdessen wagen, „to take part in [a] collective learning experience“ (Altés 2016: 117).

Mit Blindheit als zentraler Figur für den Folgekurs *Design in Crisis 2: Coming to our senses* schlugen wir vor, mit den Studierenden eine nicht optisch zentrierte Designpraxis zu erforschen. Der hierfür herangezogene pädagogische Ansatz beruht auf der Idee, dass „der Blinde den Blinden führt“. Dies bezog sich zum einen auf unsere Rolle als Lehrende, die zwar etwas zum Thema Blindheit geforscht hatten (Sánchez Criado 2017), aber nicht wussten, wie man es aus architektonischer Perspektive angehen kann, und offen dafür waren, von dem Prozess herausgefordert zu werden. Zweitens war hiermit ein „blinder“ Designprozess gemeint, bei dem Aufgaben, Aktivitäten und Ziele nur Woche für Woche offengelegt wurden.

Der Kurs bestand aus zwei Teilen. Im ersten Teil führten wir „sensorische Erkundungen“ durch: eine Reihe von „seltsamen“ Übungen, die das Bewusstsein für die notwendigen Übergänge von visuellen zu anderen sensorischen Mitteln schärfen und eine multi-

sensorische Neubewertung der Stadt und der gebauten Umwelt ermöglichen sollten. Zum Beispiel erkundeten wir eines Tages mit verbundenen Augen einen Platz in der Stadt und lernten für ein paar Stunden eine Route von Punkt A nach Punkt B zu gehen. Dann baten wir die Studierenden, eine nicht-euklidische Darstellung ihrer Wanderung zu erstellen, ohne den Platz je gesehen zu haben. Bei einer anderen Gelegenheit gaben wir ihnen die Aufgabe, eine halbe Stunde lang durch eine Straße zu gehen und Beschreibungen der Gerüche aufzuzeichnen, so dass ein/e andere/r StudentIn diese Beschreibung in ein dreidimensionales Modell umsetzen kann – eine Übung, die uns alle dazu veranlasste, darüber nachzudenken, wie wir die Attribute der Gerüche, etwa ihre Topologie, Intensität oder Flüchtigkeit, beschreiben und übersetzen können.

Im zweiten Teil des Kurses machten wir es uns zur Aufgabe, den Prototyp eines neuen architektonischen Toolkits für einen blinden Architekten² zu entwickeln. Die Studierenden mussten zunächst existierende Geräte, Methoden und Techniken der Raumdarstellung für Blinde und Sehbehinderte ausprobieren und erforschen. Darauf aufbauend begannen sie mit der Prototypisierung eines Toolkits für eine nichtvisuelle multisensorische Entwurfspraxis. Das Werkzeug wurde anschließend von KommilitonInnen und auch nichtsehenden Menschen getestet (Abb. 3). So entstand nach und nach das „ManualCAD“ (Abb. 4):

ManualCAD ist ein tragbares Spiel für das architektonische Entwerfen, an dem sowohl blinde oder sehbehinderte als auch sehende ArchitektInnen teilnehmen und gemeinsam entwerfen können. Das Spiel besteht aus einem Karton von 40 x 40 cm, verschiedenen Figuren mit unterschiedlichen Texturen und Formen und einer Duftbox. Darüber hinaus benötigen Sie ein Mobiltelefon, um verschiedene Sounds aufzunehmen und sie während des Spiels einzuführen.

In erfreulichem Gegensatz zur CAD-Software und ihrem visuellen Drang zum Skizzieren rückt das Brettspiel nicht nur die haptische, olfaktorische und akustische Dimension des Raumes in den Vordergrund, sondern fungiert auch als ein Artefakt des Umlernens. Obwohl es sich um ein „Gadget“ handelt, sollte dieses Toolkit weder als geschlossenes „Objekt“ noch als eine gut gepackte „Plug-and-Play-Lösung“ angesehen werden. Vielmehr wird es von einer offenen Dokumentation aller Lernergebnisse begleitet, die die

2 Die männliche Form ist an dieser Stelle angebracht, da wir mit der Geschichte von Chris Downey gearbeitet haben, einem nordamerikanischen Architekten, der durch einen Unfall die Sehkraft verlor und verschiedene Strategien entwickelte, um als Architekt weiter tätig zu sein.



Abb. 3. *Design in der Krise 2*: Co-Creation-Workshop zur Gestaltung eines Toolkits für einen blinden Architekten, einschließlich Textur, Geruch und Klang. Ein Prototyp von Sofia Ruíz, Irene Landa, Sophie Razaire, Emilie Charrier, Léo Godebout und Lambert Drapeau, Technische Universität München, 2017.

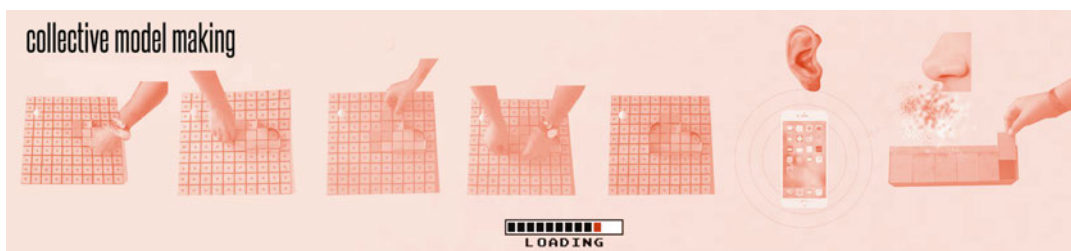


Abb. 4. *Design in der Krise 2*: ManualCad von Sofia Ruíz, Irene Landa, Sophie Razaire, Emilie Charrier, Léo Godebout, und Lambert Drapeau, Technische Universität München, 2017.

Studierenden durchgemacht haben. Als Artefakt des Umlernens intravenierte das ManualCAD selbst nicht nur in die Architekturpraxis unserer Studierenden – was auch ihre zukünftige Berufspraxis beeinflussen könnte –, sondern es war zugleich eine Intravention in unsere Rolle und unser Engagement als Lehrende, indem wir ohne vorgegebene Lernziele aus der Situation heraus agieren und mitgestalten mussten.

Das hier geschilderte pädagogische Experiment soll verdeutlichen, dass das politische Programm der technischen Demokratie weniger auf die Institutionalisierung von Gegengewichten zu den Logiken von ExpertInnen zu setzen braucht als durch eine „experimentelle Kollaboration“ (Estalella/Sánchez Criado 2018) versuchen kann, solche Logiken auf den Kopf zu stellen und umzulernen. Statt also einer Intervention mit STS-Konzepten oder Sensibilitäten könnte eine Sensibilisierung von ExpertInnen vielmehr pädagogische Erfahrungen und Experimente erfordern, die disziplinäre Intraventionen entstehen lassen.

5 Radikale Pädagogik für die technische Demokratisierung der gebauten Umwelt

Trotz des narrativen Bogens, der von der aufeinander aufbauenden Verschiebung von Ko-laboration über das Fallenstellen zur Intravention als immer radikaleren pädagogischen Formen führt, verstehen wir diese drei Figuren pädagogischer Erfahrung letztlich als einander ergänzende pädagogische Strategien, um eine „technisch demokratische“ Sensibilisierung für andere Formen des Wissens, Handelns und Bewertens in die Ausbildung von ArchitektInnen und UrbanistInnen hineinzubringen. Eine solche Sensibilisierung erfordert mehr als einen prädikativen Modus des pädagogischen Engagements, ebenso wie die Demokratisierung in der Wissensproduktion und im Technologiedesign mehr erfordert als dialogische Engagements mit betroffenen Gruppen. So war es nicht zufällig das „Hacker-Werden“ vieler sozialer Bewegungen und Initiativen, das Finden von Wissen und Infrastrukturen für alternative Welten durch experimentelle (und nicht primär dialogische) Formate, das uns dazu inspiriert hat, das Studio als Raum für das Experimentieren mit radikalen Lernerfahrungen zu nutzen. Die drei Erfahrungsmodi Ko-laboration, Fallenstellen und Intravention, die wir im Rückblick identifiziert haben, stehen für mögliche Artikulationen von STS und Design. In der Praxis ist die Typisierung jedoch fließend, da Ko-laboration, Fallenstellen und Intraventionen einander auf vielfältige Weise voraussetzen und verstärken.

Tatsächlich teilen diese Formen des pädagogischen Engagements eine pragmatische Sichtweise von Forschung und Lernen als eine Form der Auseinandersetzung mit herausfordernden Situationen.

Literatur

- Altés, Alberto (2016): „Performance, Responsibility, Curiosity and Care: Choreographing Architectural Values“, in: Alberto Altés, Ana Jara und Lucinda Correia (Hg.): *The Power of Experiment*. Lissabon: Artéria–Humanizing Architecture, S. 104–139.
- Björgvinsson, Erling; Ehn, Pelle und Hillgren, Per-Anders (2012): „Design Things and Design Thinking: Contemporary Participatory Design Challenges“, in: *Design Issues*, 28 (3), S. 101–116.
- Callon, Michel; Lascoumes, Pierre und Barthe, Yannick (2011): *Acting in an Uncertain World: An Essay on Technical Democracy*. Cambridge, MA: Mit Press.
- Corsín, Alberto (2018) : „Spiderweb Anthropologies: Ecologies, Infrastructures, Entanglements“, in: Cadena, Marisol de la und Bläser, Mario (Hg.): *A World of Many Worlds*. Durham, NC: Duke University Press.
- Estalella, Adolfo und Sánchez Criado, Tomás (2018): *Experimental Collaborations. Ethnography through Fieldwork Devices*. New York, Oxford: Berghahn Books.
- Farías, Ignacio und Correa, Gonzalo (2017): „Architectures of Politics: Potentials, Images and Principles for a „Parliament of Things“, in: *Diseña*, 11, S. 80–95.
- Farías, Ignacio; Müller, Ruth und Passoth, Jan-Hendrik (2017): „Collaboration and Other Forms of Productive Idiocy“, in: *EASST Review* 36 (1), S. 37–43.
- Farías, Ignacio und Sánchez Criado, Tomás (Hg.) (2018): „Re-learning Design: Pedagogical Experiments with STS in Design Studio Courses“, in: *Diseña*, 12. URL: <http://revistadisena.uc.cl/index.php/Disena/issue/view/3> (zuletzt aufgerufen: 16.11.2018).
- Maasen, Sabine; Farías, Ignacio; Meyer, Uli; Müller, Ruth; Passoth, Jan-Hendrik; Pfotenhauer, Sebastian; Pietsch, Wolfgang und Zachmann, Karin (2017): „The Munich Center for Technology in Society (MCTS): Raising the stakes for STS in Germany“, in: *EASST Review* 36 (1), S. 4–32.
- Michael, Mike (2013): „The Idiot“, in: *Informática na Educação: Teoria & Prática*, 16 (1), S. 71–82.
- Niewöhner, Jörg (2015): „Epigenetics: Localizing Biology through Co-laboration“, in: *New Genetics and Society*, 34 (2), S. 219–242.
- Sánchez Criado, Tomás (2017): „Functional Diversity as a Politics of Design?“, in: *Diseña*, 11, S. 148–159.
- Stohr, Kate (2006): „100 Years of Humanitarian Design“, in: Sinclair, Cameron und Stohr, Kate (Hg.): *Design Like You Give A Damn: Architectural Responses To Humanitarian Crises*. New York: Metropolis Books, S. 32–59.

Experimentieren,
Probieren,
Versuchen

Experimentelle
Praktiken in
Wissenschaften,
Technik und
Literatur

Gunhild Berg

Der Topos einer Scientific Revolution im 17. Jahrhundert (Shapin 1996) signalisiert die Vehemenz eines epistemischen Umbruchs.¹ Der britische Empirismus insbesondere Baconscher Prägung bot mit dem Experiment ein methodisch neu gegründetes und eingesetztes Verfahren, das den Status der Naturwissenschaften erkenntnistheoretisch wie wissenssoziologisch derart grundlegend veränderte, dass das Experiment seit dem 19. Jahrhundert zum Paradigma der (Natur-)Wissenschaften werden sollte. Nicht zuletzt ist es die im Zuge dieses epistemischen wie institutionellen Wandels neu gewichtete Experimentation, an der sich die später so genannten „zwei Kulturen“ (Snow) schieden. Dem regelgeleiteten und replizierbaren Experimentieren der Naturwissenschaften auf der einen wurden explorativ-einmalige Experimente in der Kunst auf der anderen Seite gegenübergestellt. Doch diese im Verlauf der Zwei-Kulturen-Debatte verhärtete Polarisierung erweist sich als eine angesichts der gegenwärtigen, aber auch schon mit Blick auf historische Praxen nicht angemessene, trennende Zuweisung. Um zu belegen, dass das Experimentieren ein in den Praxen verschiedener Künste und Wissensbereiche gängiges Verfahren war und ist, kann auf berühmte Protagonisten der antiken und mittelalterlichen Philosophie und Kunst von Archimedes über da Vinci bis Galilei verwiesen werden, die es zweifellos verstanden, methodisch zielgerichtet zu experimentieren. Doch anstelle solch singulärer Bestrebungen nimmt der vorliegende Beitrag experimentelle Konzepte in den Blick, die dem naturwissenschaftlichen Anspruch auf allein „wissenschaftlich“ zu nennendes Experimentieren vorgängig waren oder zeitgleich als ihm zugehörig galten. Das Experimentierkonzept wird dazu als ein Begriff veränderlicher, zeit-spezifisch je ausgehandelter Semantiken in einem Wortfeld untersucht. So lassen sich schon von Anbeginn des Siegeszugs der experimentellen Naturforschung an experimentelle Verfahren in Technik, Medizin und Kunst synchron wie synonym neben den unserem heutigen Verständnis nach wissenschaftlichen Explorations- und Demonstrationsexperimenten aufzeigen.

1 Diese „Revolution“ vollzog sich zwar nicht in kurzer Zeit (siehe Dear 1995), aber grundlegend. Die Radikalität dieses Wandels, nicht eine Plötzlichkeit ist hier gemeint.

Die disziplinäre Vielfalt dieser Praxen können dem „Experimentieren“ sinngleiche Verfahren wie das „Probieren“ und das „Versuchen“ erhellen: Semantisch miteinander verwandte, in verschiedenen europäischen Sprachen ähnlich übersetzte, übertragene und verwendete Konzepte drücken praxeologisch grundlegende Gemeinsamkeiten der mit den Begriffen gekennzeichneten Verfahren aus. Lateinisch *probare*, französisch *essayer*, englisch *to experiment*, deutsch *probieren*, *versuchen*, *experimentieren* sind experimentelle Praktiken in verschiedenen Künsten, technischen und wissenschaftlichen Bereichen, für die im Folgenden Beispiele vorgestellt werden.

Experimentieren

Die Etymologie von „Experiment“ in der deutschen Sprache macht deutlich, dass es sich dabei nicht nur um eine schon vor der sogenannten „wissenschaftlichen Revolution“ längst ausgeübte Praktik, sondern dass es sich darüber hinaus bei dem lateinischen Lehnwort „experimentum“ auch schon um einen disziplinär bereits inventarisierten Fachbegriff handelte. Denn entlehnt wurde „experimentum“ aus dem Lateinischen schon weit vor dem Einfluss des britischen Empirismus des 17. Jahrhunderts, in dessen Folge sich „Experiment“ zum Terminus der modernen (Natur-)Wissenschaften entwickelte, doch wurde das Wort vorerst ganz ohne Zusammenhang zum naturforschenden Explorieren in Physik oder Chemie bzw. Alchemie verwendet: Mit der Bedeutung einer „erprobten Arznei“ bzw. eines „wirksamen Agens“ in einer Rezeptur stammt „experimentum“ demzufolge aus der medizinischen Praxis medikamentöser Therapie, und zwar nicht nur in Einzelbelegen, wie sie sich etwa auch für Paracelsus nachweisen lassen (Kranzhoff 1965: 89), sondern in fachsprachlich lexikalisierter, breiter Verwendung, die auf ein bereits zu dieser Zeit gängiges ärztliches Verfahren verweist. Im 16. und 17. Jahrhundert wurde „Experiment“ sogar „vornehmlich in diesem medizinischen Sinn“ gebraucht (ebd.: 88). Insofern die Medizin noch bis ins 19. Jahrhundert als Kunst und nicht als Wissenschaft galt, verweisen damit schon die terminologischen Anfänge des Konzepts „Experiment“ in der deutschen Sprache auf Praktiken, die nicht durch eine streng „mechanistisch“ operierende Methodik experimenteller Naturwissenschaften vorgegeben worden waren.

Nicht erst die Naturforschung des 17. Jahrhunderts also ‚erfindet‘ das Experimentieren als ein Konzept, das in der Wissensgeschichte zentral wurde. Was sich mit dem britischen Empirismus des 17. Jahrhunderts im Zuge der sogenannten wissenschaftlichen Revolution

ändert, ist vielmehr die Aufwertung des epistemischen Aussagewerts empirisch gewonnener Erfahrungen (Steinle 2006: 722–728). Dem Experimentieren wird nunmehr eine Evidenz beigemessen, deren Schlagkraft die experimentellen (Natur-)Wissenschaften im Laufe zweier Jahrhunderte zu Leitdisziplinen befördern sollte (Berg 2009).

Anders, als man es infolge der auch heutzutage anhaltenden Dominanz eines durch die Naturwissenschaften vermeintlich einstimmig festgelegten Experimentier-Verständnisses anzunehmen geneigt ist, war das Experimentieren ein im 17. Jahrhundert weder ‚patentiertes‘ festgelegtes Verfahren der Naturwissenschaften noch war ein bestimmtes Prozedere fortan damit fixiert oder gar gebräuchlich, und zwar weder für Explorations- noch für Demonstrationsexperimente. Zwar bemühte sich die Naturforschung seit dem 17. Jahrhundert um Standardisierungen, die gerade auch die exakten Beschreibungen apparativer Ausstattungen und experimenteller Abläufe betreffen mussten, um Experimente wiederholen zu können. Doch abgesehen von wenigen exklusiven ‚Meisterkursen‘ in den Laboren berühmter Experimentatoren in Leiden, London oder Göttingen (vgl. Wiesenfeldt 2002, Hochadel 2003, Holenstein et al. 2013) bestanden Anleitungen zum Experimentieren vorerst überwiegend in Lehrbüchern und Experimentalvorlesungen (z. B. Nollet 1770). Die Standardisierung experimenteller Verfahren setzte sich an deutschsprachigen Universitäten erst mit der akademischen Institutionalisierung von Experimentierpraktika im 19. Jahrhundert durch (Liebig 1840, Kohlrausch 1870), als Ansprüche auf die Einrichtung von Laboratorien zum explorativen und standardisiert demonstrierenden Experimentieren erhoben wurden. Allein schon der Umstand, dass Forderungen laut wurden, experimentelle Standards im Rahmen der akademischen Ausbildung einzuüben, lässt sich als Ausdruck des Bestrebens verstehen, einer offenbar realen Vielfalt experimenteller Praktiken ‚sogar‘ innerhalb der universitären Chemie und Physik entgegenzuwirken – denn in der Tat umfasste das Experimentieren bis zum Positivismus im Bereich der naturwissenschaftlichen Disziplinen und darüber hinaus in den nichtnaturwissenschaftlichen Bereichen auch weiterhin verschiedene Prozeduren und Praktiken.

Die verbreitete Vielfalt experimenteller, „probierender“ Verfahren im naturforschenden wie im technologischen und künstlerischen Feld wird dem zeitgenössischen Verständnis des 18. und 19. Jahrhunderts nach indes durchaus explizit auf die Methode experimenteller Naturforschung zurückgeführt und nicht etwa davon ausgeschlossen: Ähnlich wie „experimentieren“ wird

„probieren“ und „versuchen“ definiert als: „[d]urch eine in einem Dinge verursachte Veränderung die Eigenschaft und Grade der Kraft dessen zu entdecken suchen [...]“ (Adelung 1811: 1156). Die gezielte Initiierung eines (natürlichen) Vorgangs bzw. die Intervention ist die entscheidende Aktivität des experimentierenden Subjekts, die allen drei Praktiken, also nicht nur dem Experimentieren, sondern auch dem Probieren und Versuchen gemeinsam ist, insofern alle drei sich von der bloßen Observation darin unterscheiden, dass sie – der Definition der „klassischen“ Physik gemäß – Prozesse zwischen Anfangs- und Endzuständen gezielt einzuleiten, zu beobachten und somit Ursachen mit Wirkungen zu korrelieren erlauben (siehe Berg 2013: 138).

Probieren

Verfahren des experimentellen Probierens sind seit Jahrhunderten in technischen Bereichen, insbesondere dem Bauwesen wie etwa beim Brückenbau gängig. Dass das Prüfen von Bauten und anderen Konstruktionen auf ihre Funktionstüchtigkeit als „Probe“ standardisiert und systematisch bezeichnet wird, lässt sich seit dem 18. Jahrhundert nicht nur für das Bauwesen, sondern auch für Militär- und Waffentechnik nachweisen: „In der Artillerie oder Geschützkunst ist der Versuch, die Probe, wenn man die Güte der neu gegossenen Kanonen untersucht, und sie zum ersten Male mit ganz kugelschwerer Ladung speiset, und solches dreimal hintereinander“ (Krünitz 1854: 605 f.). Ziel der „Probe“ als Praktik ist es demzufolge, die Funktionalität der technisch eingesetzten Gerätschaften oder Mittel (wiederholbar) nachzuweisen. So etwa auch beim Ausbau von Bergwerksstollen und Verteidigungsanlagen: „Auch bei den Minirern stellt man bei den Minen Versuche an, um zu erfahren, was für eine Menge Pulvers zur Ladung der Minenkammern [...] nöthig sey. Auch macht man einen Versuch, wenn man z. B. eine Bombe mit einer gewissen Ladung und Winkel wirft, um die Weite, wo sie auffällt, zu erfahren“ (ebd.).²

Den kleinsten gemeinsamen Überschneidungsbereich des „Probierens“ in unterschiedlichen Bereichen bilden dabei diverse Prozeduren, die dazu dienen, die Wirksamkeit der verwendeten Apparate, Stoffe und Stoffmischungen zu untersuchen: „Proben, technologische, dienen zur Untersuchung der Baustoffe auf ihre Bearbeitungsfähigkeit oder technologischen Eigenschaften“ (Lueger 1907: 245). Im technischen Bereich sind Proben also oft qualitative Analysen von Stoffen, wie etwa von Sprengstoffen und

2 Die enge praxeologische Verflechtung von „probieren“ und „versuchen“ bestätigt sich auch darin, dass von Krünitz’ Lemma „Versuch“ (Krünitz 1854: 606) aus direkt auf den „Art[ikel] Probe“ verwiesen wird (siehe Krünitz 1811: 468 f.).

Munition in den angeführten historischen Beispielen. In diesem Sinne am weitesten verbreitet meint(e) die Probe eine experimentelle Praktik besonders im Berg- und Hüttenwesen: Als „Probieren“ bezeichnete man hier die qualitativen Analyseverfahren von Mineralien auf ihre Bestandteile hin.³ Hierbei handelt es sich weniger um explorative als um demonstrative respektive Testverfahren. Denn im Unterschied zum Experimentieren muss beim Probieren kein Zusammenhang zwischen Ausgangs- und Endzustand des Experimentierprozesses durch die Intervention des Experimentators überhaupt erst noch nachgewiesen oder bestätigt werden, es wird vielmehr lediglich die aus Qualität (Zusammensetzung) und Quantität (Menge) resultierende Wirkungskraft des zur Intervention eingesetzten Elements untersucht.

Parallel dazu ist die Probe zudem in Bereichen außerhalb des Handwerks und der Ingenieurwissenschaften etwa im Bereich der Kunst als ein Üben künstlerischer Darbietungen ebenfalls geläufig. Die „Probe“ ist dabei auch im künstlerischen Feld eine Praxis, die im Unterschied zum Explorationsexperiment nicht den Zusammenhang von Ausgangs- und Endzustand per Intervention nachzuvollziehen sucht, sondern die wie bei der technischen „Probe“ die Zusammensetzung einer Mischung testet, die eine geplante Wirkung hervorrufen soll. Im Bereich der Kunst meint die „Probe“ daher, die Zusammensetzung eines Ensembles zu testen oder das Zusammenspiel von Musikern und/oder Schauspielern zum Zwecke einer musisch-kulturellen Aufführung zu verbessern (siehe Grimm/Grimm 1889: 2141).

Es sind indes nicht nur materielle Zusammensetzungen oder künstlerische Prozesse, deren Komponenten „auf die Probe gestellt“ und untersucht werden können, sondern gleichfalls ideelle: Die älteste Bedeutung der „Probe“ zielt als „Versuch(ung)“ auf ein (göttliches) Überprüfungsverfahren der moralisch-religiösen Qualität eines einzelnen Menschen ab: „Versuchet euch selbst, ob ihr im Glauben seyd, 2 Cor. 13,5“ (Adelung 1811: 1156). In Versuchung geführt zu werden bedeutet, dass ein Mensch Glaubensstärke, Gewissen oder auch Charakter und damit seine (im Sinne der Temperamentenlehre physisch inkorporierte) moralische Zusammensetzung unter Beweis stellen müsse. In einem verkürzenden Sinne war diese Art der „Probe“ als Experiment mit Menschen im 13. bis 16. Jahrhundert gültige Rechtspraxis: Für die Inquisition galten neben der Folter auch solche Experimente mit den Delinquenten als „Urteile Gottes“; sie fasste Feuer-, Wasser- und

3 Die zur metallurgischen „Probe“ zugehörigen technologischen Verfahren beschreibt ausführlich Krünitz (1811: 469–492).

Nadelproben an den der Hexerei verdächtigen Menschen als rechtsfähige Beweismittel auf (Frietsch 2013: 318). – Mit der Inquisition verschwand diese Form der „Probe“ als einer Rechtspraxis, die mit Menschen experimentierte. Seit der Frühen Neuzeit und der Aufklärung dominierte im Unterschied dazu das oben beschriebene technologische Verständnis von „Probieren“. Die Professionalisierung dieser experimentellen Praxis im technischen Bereich, besonders im Montanwesen drückt die Berufsbezeichnung „Probierer, *Essaieur*“ aus (Zedler 1741: 645, Hervorh. i. Orig.).⁴

Versuchen

Die praxeologischen Bezüge zwischen den verschiedenen technischen, naturkundlichen, philosophischen und künstlerischen Wissensbereichen werden im Wortfeld um das „Experiment“-Konzept deutlich. Darin nimmt das „Versuchen“ eine zentrale Stellung ein, weil es die größte gemeinsame Vielfalt an Bedeutungen und damit auch Praktiken in diesem Wortfeld inkorporiert. Noch bevor wissenschaftliches Experimentieren im 19. Jahrhundert standardisiert war, interferierten die im Sprachgebrauch synonymisch eng aufeinander verweisenden experimentellen Praktiken im „Versuch“. Sie wurden als methodisches Experimentieren aufgefasst, und zwar für materielle wie immaterielle Bereiche gleichermaßen:

Französisch *essai* bzw. *essayer* wird mit „Probe“ oder „Versuch“ ins Deutsche übersetzt, womit zum einen die schon aufgezeigte Technik des (chemisch-stofflichen) Testens, zum anderen die philosophische Denkbewegung à la Montaigne bezeichnet wird. Diese doppeldeutige Art des Experimentierens zwischen den (zur damaligen Zeit noch gar nicht voneinander getrennten) „zwei Kulturen“ drückt sich insbesondere in der Verwendung von „Versuch“ in der deutschen Sprache aus, mit dem so vermeintlich verschiedene Dinge wie englisch *experiment* und französisch *expérience* (Nollet 1771) als auch englisch *essay* und französisch *essai* übersetzt wurden. Das Experiment als „Versuch“ führt folglich das Experimentieren beider Wissensbereiche eng.

Zudem überschneiden sich, wie die genannten Beispiele bereits verdeutlichen, im „Versuchen“ nicht nur experimentierende Verfahren aus anscheinend so disparaten Wissensbereichen wie Wissenschaften, Technik und Kunst. Denn mit „Versuchen“ schreibt sich überdies eine Komponente des risikobereiten Wagnisses in die Praxis des Experimentierens mit ein, die dessen wissenschaftlich normierte Regelmäßigkeit stets zu sprengen bereit ist. Diesen Akzent des wagemutigen „Versuchens“, des Handelns, das ein mögliches

4 Ein „Probierer“ oder auch „Versucher“ ist demzufolge oft ein (Münz-)„Wardein“ (Adelung 1811: 1156, Krünitz 1811: 678).

Scheitern riskiert, weist das Grimmsche Wörterbuch schon für das Mittelhochdeutsche nach: „einen versuch thun, machen, anstellen, wagen, *etwas unternehmen, versuchen*“ (Grimm/Grimm 1956: 1824 f., Hervorh. i. Orig.). Seit der Aufklärung liest sich das bereits als Experimentalanordnung, wird also als experimentelle Praktik (um-)gedeutet, deren Ergebnisträchtigkeit nicht in Zweifel gezogen wird: „Der *Versuch, Tentamen, Fr. Essai*, ist daher eine solche Handlung, welche uns durch unsere Mühe und unseren Fleiß zu einem sicheren Resultate führt, ob unsere Untersuchungen, die wir über einen Gegenstand anstellen, gekrönt werden, oder nicht“ (Krünitz 1854: 505, Hervorh. i. Orig.). Als Textsorte weist der „Versuch“ eine Gattung aus, in der sich seit dem 18. Jahrhundert hunderte Autoren üben und unter diesem Titel tausende sowohl literarisch-ästhetische als auch philosophische, philologische, historische, naturkundliche Texte publizieren (Rössler 2017: 7–9). Die literarische Textsorte des „Versuchs“ stellt also ebenso wie die „Probe“ einen essenziellen, als Experiment verstandenen Bestandteil künstlerischer Praxis dar.

Dass es sich den historischen Auffassungen nach bei dieser Überschneidung der erkenntnisgetriebenen Experimentalambitionen von Naturforschung auf der einen Seite und Kunst, Philosophie und Literatur auf der anderen Seite methodologisch nicht immer um eine bloß metaphorische Übertragung von einem in den anderen Bereich handelt (siehe Berg 2013: 143), sondern dass die Protagonisten das schreibende dem technischen und naturforschenden Experimentieren als gleich erachteten, belegen für den Bereich der Philosophie (über die Jahrhunderte hinweg) etwa Michel de Montaigne, Georg Christoph Lichtenberg oder Herman Grimm (vgl. Montaigne 1998, Grimm 1859 sowie dazu Berg 2010, Rössler 2017: 50–57). Über diese hier exemplarisch genannten einzelnen Vertreter hinaus reicht indes ein damit einhergehendes konventionalisiertes Verständnis dieser Interferenz des Experimentierens in verschiedenen Bereichen der Wissenschaften und Künste: Dass von Montaignes *Essais* ausgehend die damals dreihundertjährige Tradition der philosophisch-literarischen Gattung der Essays definiert wird als „Geistesproben [...] wie es Gold- und Silberproben gibt“ (Brockhaus 1865: 14), belegt, dass die konzeptionelle Synonymie der chemisch-stofflichen wie textlich-ideellen Operationalisierungen des Experiments – als „Essay“ wie als „Probe“ – unhinterfragt lexikalisiert ist.

Neben Gedankenexperimenten in der Philosophie experimentieren auch Kunst und Literatur mit Ideen, und dies nicht nur, indem sie Magier und Experimentatoren figurativ darstellen. Als geheimnisvolle, bewunderte, perhorreszierte oder karikierte

Charaktere sind diese in der europäischen Literatur seit dem 17. Jahrhundert präsent, etwa als Jonathan Swifts Gulliver, Mary Shelleys Frankenstein, E. T. A. Hoffmanns „Sandmann“ Coppelius, Goethes Faust, Georg Büchners Arzt des Woyzeck oder Émile Zolas Doktor Pascal. Schon allein die narrative Deskription und Explikation des experimentellen Handelns dieser literarischen Figuren verbreitet Wissen über experimentelle Praktiken. Doch abgesehen von diesen motivischen Darstellungen werden literarische Werke, sprachliches Material und textliche Formen selbst zum Gegenstand des Experimentierens.

Programmatisch vor dem Hintergrund des Zwei-Kulturen-Antagonismus wirkte vor allem Émile Zolas *Le roman expérimental* (1880). Zola nahm das Experimentieren des Romanschriftstellers als ein den Naturwissenschaften adäquates Verfahren für die Literatur in Anspruch, welches in solchen Disziplinen wie der Psychologie und Soziologie, die sich der kontrollierten Experimentation der Naturforscher entziehen, neue Erkenntnisse zu gewinnen imstande sei (Zola 1880). Zola zielte auf die produktionsästhetische Seite von Literatur, wenn er naturalistisches literarisches Schreiben als eine den Experimentalwissenschaften äquivalente, explorative und Wissen generierende Versuchsanordnung verstanden wissen wollte.⁵ Auf Zola bezog sich explizit noch Bertolt Brecht mit seinem Programm des „epischen“, von ihm auch „experimentell“ genannten Theaters (Brecht 1970), das an der rezeptionsästhetischen Seite von Literatur angreift, indem der Regisseur mit seinen Theaterinszenierungen gegen die Rezeptionsgewohnheiten des Publikums interveniert. Gerade mit ästhetischem Experimentieren suchte sich die Literatur des 19. Jahrhunderts gegenüber den dominanten Naturwissenschaften zu positionieren, bevor sich die literarische Avantgarde des 20. Jahrhunderts von derartigen Vorgaben gänzlich löste und mit Sprache und sprachlichen Formen als den ihr eigentümlichen „Stoffen“ und „Materialien“ etwa in Dadaismus, Konkreter Poesie und Wiener Schule frei experimentiert.⁶

Die die Praktiken bezeichnenden Begriffe verdeutlichen, wie zu „experimentieren“ synonym zwischen verschiedenen Erkenntnisbereichen schon seit dem 17. Jahrhundert changiert und sowohl philosophische und technische als auch künstlerische und wissenschaftliche Praktiken gleichermaßen konzeptualisiert.

5 Zur nichtsdestoweniger überwiegend skeptischen bis ablehnenden Rezeption von Zolas Programm unter den deutschsprachigen Literaten siehe Berg (2014).

6 Im Rahmen dieses Beitrags ist eine Systematik literarischer Experimente nicht zu leisten (vgl. dazu Lentz/Maurach 2000, Gamper/Weder 2010).

Literatur

- Adelung, Johann Christoph (1811): *Grammatisch-kritisches Wörterbuch der hochdeutschen Mundart*, Bd. 3. Wien: Bauer.
- Berg, Gunhild (2009): „Zur Konjunktur des Begriffs ‚Experiment‘ in den Natur-, Sozial- und Geisteswissenschaften“, in: Eggers, Michael und Rothe, Matthias (Hg.): *Wissenschaftsgeschichte als Begriffsgeschichte. Terminologische Umbrüche im Entstehungsprozess der modernen Wissenschaften*. Bielefeld: transcript, S. 51–82.
- Berg, Gunhild (2010): „Probieren und Experimentieren, Auflösen und Zusammensetzen im Sudelbuch. Georg Christoph Lichtenberg als experimental philosopher“, in: *Lichtenberg-Jahrbuch*, S. 7–26.
- Berg, Gunhild (2013): „Experiment/ieren“, in: Frietsch, Ute und Rogge, Jörg (Hg.): *Über die Praxis des kulturwissenschaftlichen Arbeitens. Ein Handwörterbuch* (Mainzer Historische Kulturwissenschaften; 15). Bielefeld: transcript, S. 138–144.
- Berg, Gunhild (2014): „Der deutschsprachige Experimentalroman. Begriff und Wissenstextur einer (nicht)-existenten Gattung narrativer ‚Studien‘“, in: Dies. (Hg.): *Wissenstexturen. Literarische Gattungen als Organisationsformen von Wissen* (Berliner Beiträge zur Wissens- und Wissenschaftsgeschichte; 17), Frankfurt am Main/Berlin/Bern: Lang, S. 247–276.
- Brecht, Bertolt (1970): *Über experimentelles Theater*, Hg. v. Hecht, Werner. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Brockhaus (1865): „Essay“, in: *Allgemeine deutsche Real-Encyclopädie für die gebildeten Stände. Conversations-Lexikon*, 11. Aufl., 6. Bd. Leipzig: Brockhaus.
- Dear, Peter Robert (1995): *Discipline & experience. The mathematical way in the scientific revolution*, Chicago: University of Chicago Press.
- Frietsch, Ute (2013): *Häresie und Wissenschaft. Eine Genealogie der paracelsischen Alchemie*. München: Fink.
- Gamper, Michael und Weder, Christine (2010): „Gattungsexperimente. Explorative Wissenspoetik und literarische Form: Aphorismus/Fragment/Notat – Essay – Novelle/Roman – Lyrik – Märchen“, in: Gamper, Michael (Hg.), *Experiment und Literatur*. Hannover: Wehrhahn, S. 96–178.
- Grimm, Herman (1859): *Essays*. Hannover: Rümpler.
- Grimm, Jacob und Grimm, Wilhelm (1889): *Deutsches Wörterbuch*. Bd. 13. Leipzig: S. Hirzel.
- Grimm, Jacob und Grimm, Wilhelm (1956): *Deutsches Wörterbuch*. Bd. 25. Leipzig: S. Hirzel.
- Hochadel, Oliver (2003): *Öffentliche Wissenschaft. Elektrizität in der deutschen Aufklärung*. Göttingen: Wallstein.
- Holenstein, André; Steinke, Hubert und Stuber, Martin (Hg.) (2013): *Scholars in Action. The Practice of Knowledge and the Figure of the Savant in the 18th Century*. 2 Vol. Leiden/Boston: Brill.
- Kohlrausch, Friedrich (1870): *Leitfaden der praktischen Physik zunächst für das physikalische Practicum in Göttingen*. Leipzig: Teubner.
- Kranzhoff, Jörg Armin (1965): *Experiment. Eine historische und vergleichende Wortuntersuchung*. Diss. masch. Bonn.
- Krünitz, Johann Georg (1811): *Ökonomisch-technologische Encyclopädie, oder allgemeines System der Staats-, Stadt-, Haus- und Landwirthschaft, und der Kunstgeschichte, in alphabetischer Ordnung*. Fortg. v. Friedrich Jakob Floerken und Heinrich Gustav Flörke, Bd. 117. Berlin: Pauli.
- Krünitz, Johann Georg (1854): *Ökonomisch-technologische Encyclopädie, oder allgemeines System der Staats-, Stadt-, Haus- und Landwirthschaft, und der Kunstgeschichte, in alphabetischer Ordnung*. Fortg. v. Friedrich Jakob Floerken und Heinrich Gustav Flörke, Bd. 217. Berlin: Pauli.
- Lentz, Michael und Maurach, Martin (2000): „Experiment“, in: Schnell, Ralf (Hg.): *Metzler Lexikon Kultur der Gegenwart. Themen und Theorien, Formen und Institutionen seit 1945*. Stuttgart/Weimar: Metzler, S. 140–142.
- Liebig, Justus von (1840): *Ueber das Studium der Naturwissenschaften und über den Zustand der Chemie in Preußen*. Braunschweig: Vieweg.
- Lueger, Otto (1907): *Lexikon der gesamten Technik und ihrer Hilfswissenschaften*. 2. Aufl. Bd. 7. Stuttgart, Leipzig: Deutsche Verlagsanstalt.
- Montaigne, Michel de (1998): *Essays*. Übers. v. Hans Stilett. Frankfurt am Main: Eichborn.
- Nollet, Jean-Antoine (1770): *L'art des expériences ou avis aux amateurs de la physique sur le choix, la construction et l'usage des instruments: sur la préparation et l'emploi des drogues qui servent aux expériences*. 2 Bde. Paris: Durand.
- Nollet, Jean-Antoine (1771): *Die Kunst physikalische Versuche anzustellen, oder Anweisung für die Liebhaber der Naturlehre in Ansehung der Wahl, der Verfertigung und des Gebrauchs ihrer Instrumente*. Leipzig: Crusius.
- Rössler, Reto (2017): *Vom Versuch. Bauteile zur Zirkulationsgeschichte einer impliziten Gattung der Aufklärung*. Berlin: Kadmos.
- Shapin, Steven (1996): *The Scientific Revolution*. Chicago: University of Chicago Press.
- Steinle, Friedrich (2006): „Experiment“, in: Jäger, Friedrich (Hg.): *Enzyklopädie der Neuzeit*. Stuttgart/Weimar: Metzler, Bd. 3, Sp. 722–728.
- Wiesenfeldt, Gerhard (2002): *Leerer Raum in Minervas Haus. Experimentelle Naturlehre an der Universität Leiden, 1675–1715*. Amsterdam u. a: Rodopi.

Zedler, Johann Heinrich (1741): *Grosses vollständiges Universal-Lexicon aller Wissenschaften und Künste*, 29. Bd., Halle: Zedler.

Zola, Émile (1880): *Le roman expérimental*. Paris: Chapentier.

Improvisieren

Playing with Virtual Realities. A Practice- based-Research Experiment in Dancing with Technology

Einav Katan-Schmid

1 Experiential Point of View: Emergence by Chance

‘Playing with Virtual Realities’ (‘PwVR’) is an interdisciplinary practice-based research project (Nelson 2013) that was born by chance inside the experimental zone of the Interdisciplinary Laboratory, an Excellence Cluster of Humboldt University of Berlin. The experimental zone, itself a research experiment, is the open working space of the Interdisciplinary Laboratory, where scholars from approximately forty different disciplines are clustered in working groups of interdisciplinary research collaborations. One of the aims of the experimental zone is to accelerate accidental interactions between the laboratory’s multi-disciplinary scholars. The emergence of ‘PwVR’ followed the pattern set by these circumstances. One day in December 2016, I was writing at my table and observed Christian Stein, a computer scientist, linguist, gamer, and co-founder of the research group ‘gamelab.berlin’, playing an arcade game (Space Pirate Trainer), while using the VR technology HTC VIVE in the other corner of the room. At the time I saw him, I was working on a lecture presentation which dealt with my research on dance and embodied cognition. The presentation had as its subject the design of spatiality within dance movements. Following from Maurice Merleau-Ponty’s *Phenomenology of Perception* and his work on the phenomenology of human motility and spatiality (1945), my argument emphasized the cognitive processes of designing motility in relation to imaginary spatial instructions in Forsythe’s ‘Improvisation Technologies’. Dealing with Forsythe’s example of conducting the body in space, I claimed that his dancing embodies an imaginary score as a motor-motivation. As I argued, while dancing he concentrates on developing precision of motility by integrating imagination (not visible visions) and perceptual affordance within the current environment (Katan-Schmid 2017). Occupied by my development of this argument, I saw Christian Stein playing within VR technology, his vision so absorbed by the game that he was oblivious to the physical surroundings in the studio space. He wore goggles and used controllers in order to shoot and to protect himself from drones that hunted him in a virtual

universe (as I later learnt). His body was alert, playful, and alive and his agile movements covered the space. His motility was precisely articulated. It appeared to me *as if* his movements brought to life an imaginary world which was a creation of his private mind. In practice, however, Stein was playing a game and the images inside the VR guided his activities. His movements followed a realm he could actually see and his alert reactions were immersed in a present vision. Yet, to my eyes, Stein looked as if he were dancing. I felt joy at seeing a fellow researcher move in this scientific environment. Without reflecting on my philosophical views and without thinking of the potential for a mutual research project, I left my working table and started to improvise dancing movements with him. When he left the virtual setting, I told him about my playful experience, in which he participated without knowing. By meeting a good sport who loves to play, by having the appropriate academic environment for experimental explorations, and by following my influential first encounter with a new engaging interaction, the intermedial and interdisciplinary research collaboration of dancing within VR technology ‘Playing with Virtual Realities’ was born.

2 Experimental Points of View: Systemizing Inter-disciplinary, Intermedial, Experiential, and Reflective Explorations

Following from the Aristotelian definitions of the different five types of wisdom, Western culture traditionally distinguishes between artistic practices as a form of technical know-how to scientific knowledge as a type of theoretical—epistemological—know-that (Aristotle 1994–2009, Chatzichristodoulou/Crossley 2016). The traditional outlook on experimentations follows the clear distinction between ‘episteme’ and ‘techne’ as well; scientific research experiments are traditionally empiric and aim to observe the natural world through measuring causalities (Radder 2003: 2), while, in contrast, experimental art is reputed to be ‘experiential’, and therefore not reflective. The division between the poles of a rigidly planned and measured scientific experiment on the one side, and experiential—lived through-experimentalism on the other side, can be seen for example in Lydia Goehr’s sharp distinction between ‘experiment’ and ‘experimental’. Her analysis follows Theodor Adorno’s analysis of the works of Francis Bacon, the founder of the scientific method in modern science, and John Cage, a leading voice of American experimentalism in art (Shultis 1998). ‘PwVR’ is a complex experimentation in between those traditions and poles. The project deals

with the experiential media of VR technology and of dancing, and situates these as a source for academic explorations which are theoretically driven. As a form of research, ‘PwVR’ plays with both theoretical research and aesthetic practices, offering another possibility of experimenting as well as another outlook on the symbiosis between theory and practice in both artistic media and in academic research.

The research project ‘PwVR’ united two dancers, a philosopher/choreographer, two theatre scholars/dramaturges, two computer scientists/gamers, and two media experience designers to co-explore how the embodied practice of dancing can interact with HTC Vive, a virtual reality headset developed by HTC and Valve Corporation.¹ The venture was initiated by chance, but its establishment as a research project systemizes an exchange between the scholars, the artists, the artistic practice, the theoretical questioning, and the technology. The core of our research is practice-based. We deal with VR technology and with creative techniques (gaming, dancing, and performing in front of an audience) as experiential sources for embodied explorations and reflections. So far, the project has had three interdisciplinary weekly workshops of inquiry into possible exchanges of dancing with VR technology, which resulted in a performance publication and a further symposium with experts from across disciplines.² The project’s name implies our intentions for exchange and the core of our investigation. Accordingly, VR technology is our medium of research, but the play is not merely with the technology, but with a diversity of bodies of knowledge and with the virtual surplus each practice generates. Practically, using the medium of VR as a metaphor for virtual perceptions which are provoked by a technology, our hypothesis and enquiry dealt with the epistemologies as they are generated by practices and techniques (Mauss 1994, Rheinberger 1997, Miller et al. 2008, Hoel 2012).

An inquiry into virtual reality as a metaphor for a private vision and for epistemology was primarily performed through practice-based knowledge in dance. It followed my philosophical investigation on visual imageries as made-up instructions for movements in dancing (Katan-Schmid 2016, 2017). In Forsythe’s ‘Improvisation Technologies’, for example, dancers playfully deconstruct geometrical patterns within their bodies and their kinespheres. In the CD-ROM publication *Improvisation Technologies: A Tool for the Analytical Dance Eye*, Forsythe draws imaginary lines in order to

1 Research trailer of ‘PwVR’: <https://www.youtube.com/watch?v=YcGdKuUhMf4> (Accessed: July 30, 2018)
2 To watch the complete choreographic work online: https://www.youtube.com/watch?v=2r_LOG7TaQA (Accessed: July 30, 2018)

explain the invisible imageries, with which his body interacts (Forsythe/Haffner 2012). In the CD-ROM, his imageries are animated and assume a visible graphic shape. The annotations illustrate how his dance movements are produced in relation to made-up triggers for decision-making, which are clear and immediately available to him. However, those annotations are interpretations by Paul Kaiser, the annotator, after Forsythe was filmed. Playing with the new possibilities of the VR technology, we could play differently with the investigation of mental imageries during the time of their development by the dancers as they dance. The VR technology we used initiated a new explorative question: “what if dancers can see the score of their dancing?” As a metaphor, the VR became a space for the dancer to step into their own minds.

Staging dancing with VR as a performance-publication enabled us to work systematically on the alternation between hypotheses and their fulfillments. We could experiment with relationships between the visions of dancers, their bodily movements, and their expressivity. Following cultural examples of dance notations and annotations (Laban 1956, Forsythe/Haffner 2012, deLahunta/Hennermann 2013), we looked first for the opportunity to draw the score of dancing. We used the VR application Tilt Brush by Google, which was designed for drawing in a three-dimensional environment. The dancers wore the VR gear and used the controllers in order to draw lines, which (supposedly) illustrate their visions. Additionally, following on from the initial chance of seeing the gamer as dancer while he was playing with the application Space Pirate Trainer in the experimental zone, we further explored how dancers move in relation to an immersive virtual environment in an arcade game. While the dancers were moving in the virtual space, we projected the point of view of their gaze (their goggles function as a camera), so the other scholars in the room could see what the dancers see. After each session of exploring dancing within VR application, we interviewed all the participants, dancers, as well as the other scholars, and documented those interviews on video. The questionnaire always included the same six questions, which led to reflections on bodily awareness, imaginary interactions, and decision-making, as those followed my initial theory on embodied cognition in dancing.³ In addition to the fixed set of questions, we started each day of the workshop with a warm-up exercise, sharing

3 The six questions we asked are:

- How did you feel your body in the experience?
- How did you interact with the image in the VR?
- Did you follow an image which was not present in the VR?
- What was your main instruction for decision-making?
- How did the experience affect your emotions?
- Do you have further reflections and thoughts which you'd like to share?

our thoughts by answering two daily questions, which were inspired by former experiences and discussions between us.⁴

We used the questionnaire as a platform to observe and reflect on our actions. The dancers, Nitsan Margaliot and Lisanne Goodhue, reflected, for example, on their movements in Space Pirate Trainer as a reaction to the movement of the virtual spaceships, rather than a conscious instance of decision-making. Alternatively, for Goodhue, at first, seeing the virtual environment in Tilt Brush was initially a paralyzing experience; she either followed her gaze and forgot to dance, or danced while closing her eyes. Another layer of analysis dealt with the gazes of the other scholars as external viewers. Ramona Mosse, for example, a dramaturge in the research group, and I described our lack of interest in what the dancers do in Space Pirate Trainer, as long as we could see the projection of their experiences. Regarding the first experiences of Goodhue with the VR application Tilt Brush, the scholars in the room found her bodily posture sensitive and expressive, although she was paralyzed by the virtual environment and did not move much. When she danced with her eyes closed, without knowing how to define it, I felt that her dance was beautiful, but the projection of the images from the goggles was not compelling. After Goodhue reflected on her decision to close her eyes, we understood the lack of directed gaze and agency in the images that were projected. The questionnaires allowed us to share our visions. They also enabled us to exchange knowledge and to expand the practice we created in terms of design. Sabiha Ghellal, for instance, a media experience designer, found the experience in Tilt Brush ambiguous, while the choices of the dancers in Space Pirate Trainer are prescribed by the setting of the virtual space (Ghellal 2017). Relying on the definition of expression by the American pragmatist John Dewey (Dewey 1934: 62),⁵ I explained the lack of interest in watching the activity of the dancers as losing the appearance of a development of meaning. Together, we concluded that, in order to suit dancing, the experiences within Tilt-Brush are too ambiguous and therefore need a clear structure which would allow the dancers to incorporate their visions as motivations for movements and to integrate them within their decision-making. We also realized that the inte-

4 A few examples of these questions are:

- What moves you?
- When are you the most immersed in what you do?
- What is your best technique?
- How do you use virtual spheres?
- Are there virtual spheres in your life which are not technological?

5 “To express is to stay by, to carry forward in development, to work out to completion” (Dewey 1980:62).



Fig. 1, 2. Nitsan Margalioth plays/dances within Space Pirate Trainer. Meik Ramey and Norbert Schröck help to operate the technology.



Fig. 3, 4. Nitsan Margaliot and Lisanne Goodhue interact within Tilt Brush as virtual drawing and as dance scores. Meik Ramey and Norbert Schröck help to operate the technology.

gration of the gamers in Space Pirate Trainer was too immersive on one side of our experience, and it is thus necessary to deconstruct interaction with the game and to play with other information outside of the virtual environment. The experiences, reflections, and analysis led us to compose a new practice which interacts dancing and playing with the VR technology on an equal basis. Our mixed exchanges also led us to question our intentions and to reconsider definitions such as ‘immersion’ and ‘expressivity’ in order to analyze and to glean explanations of why and when they appear as experiential phenomena.

In ‘PwVR’, we explored bodies of knowledge via both their media of configuration (VR technology, dance, dramaturgy, performance studies, philosophy, and theories of experience design) and their agencies of knowing (the researchers and the practitioners involved in the project). The questions we asked, and our intermedial explorations, emphasized our assumption and approach that the knowledge we interact with is not external to us. A core motivation of the research experiment was to co-explore our knowledge systems. We aimed to use the technology to visualize tacit invisible elements of our knowing (like mental imageries in dance), and we used the resulting discussions among ourselves to illuminate our perceptual experiences with reflections and explanations. On the one hand, our interdisciplinary ambition was to discover and encounter the knowledge of our peers, and, on the other, the aim was to reflect on our own processes of knowing, and to understand how our practices shape them.

During the research process, I was aware that encountering knowledge is a regulative idea for a continuous investigation, rather than a mission to achieve its ultimate comprehensive result. Knowledge is possessed and embodied by humans and media and is thus fragmentary and contextual. The act of knowing can be neither absolute, nor eternal (Chatzichristodoulou/Crossley 2016: 283). The introspective mission of encountering one’s own patterns and habits of thoughts, and the aspiration to understand other people’s perspectives form part of the challenges of sciences, media design, artistic practices, and philosophies, as well as political concerns, and our practice could not aspire to give a stable answer to those challenges. Moreover, thus far our practice had been highly problematic. However, these problems have been creatively directing the research, since the collaborative work seeks to find mutual solutions. The group’s joint efforts resulted in advanced insights we could not reach alone. In the early stage of our research, we were able to ascertain that the VR technology did not reveal the imageries of the

dancers, although there were times when the dancers did identify with the technology.⁶ The VR technology created a reversed realm for interaction; the score became visible while the body was invisible, and the dancers had to imagine their own physical form. We found that we needed to layer the activity of the dancers with instructions that are expressed both in the VR and in the dancers' imagination toward their bodily feelings. In practice, we created a layered exchange between the sensory information in the VR and the bodily feelings the dancers initiate. In the research, theoretical knowledge induced practical problems, while another layer of theoretical thinking offered a direction for solutions. The pattern of the process was: theoretical hypothesis and questioning → problems within practice → reflecting on our instinctive feelings regarding those problems → theoretical explanations of our instinctive feelings → a new hypothesis for how to balance the practice → changing the practice → problem considered is solved (and new research question emerges). Thus, we used the exchange between theory and practice in order to advance both.

Returning to the distinction between the rigidity of experiments and the indefiniteness of experimentalism, these poles fall within the tension of knowledge in any media of knowing, which aims to create attentive honesty by bracketing old definitions (Husserl 1997: 184). Broadly, the wish to transgress traditions and to move beyond a mere confirmation of hypotheses and former knowing is a common challenge for experiments in both science and art. Hans-Jörg Rheinberger advocates experimental culture, arguing that its concept “should allow historians of science to write the history of research domains free of the burden of disciplinary history” (Rheinberger 2008: 22). Ludger Schwarte (2012: 187) defines the beginning of aesthetic experimentalism “when the parameters of a given aesthetic praxis are broken, suspended or transcended” (translated in: De Assis 2015: 7). Correspondingly, although dealing with Bacon the empiricist and Cage the artist as the two poles of ‘experiment’ and ‘experimentalism’, neither Adorno nor Goehr understand the first pole as merely scientific and the other as solely artistic. Instead, they try “to capture the sense of what is lost in experiments when they become too controlled and of what is lost in experimentalism when it travels too superficially under the naturalizing banner of freedom from human constraint” (Goehr 2015: 37–38). According to Goehr, Adorno’s criticism on Cage’s experimentalism and on Bacon’s scientific ambition to observe the world as it objectively is, is based on doubts regarding whether a natural mode of experience

6 Margaliot observed that when the technology was disconnected he felt as if his own brain did not function.

is possible in a world in which rigid cultural structures have already been performed (Goehr 2015: 37).

Institutionally 'PwVR' cannot be considered as an act of resistance, since it has both the context of the Interdisciplinary Laboratory, in which experiments for finding new interdisciplinary methodologies are encouraged, and also stands side by side with current interdisciplinary and intermedial research fashions (Miller et al. 2008, Chatzichristodoulou/Crossley 2016, Aquilina/Sarco-Thomas 2017). Nevertheless, I emphasize the revolutionary stance of 'PwVR' in avoiding hierarchical attitudes toward types of knowing. We consider the reflective knowing of dancers as equal to the knowledge of the other scholars, and relate the experience of everyone as relevant perspectives for discussing and analyzing problems and possibilities. We attempt to grasp the knowledge incorporated by artistic practices and technology by interfering and playing with our observations, practical habits, and theoretical assumptions. This effort acknowledges Adorno's criticism on the impossibility of performing genuine experiences within a world of pre-defined categories, without accepting his pessimistic voice as our answer. Instead of aiming to liberate ourselves from the constraints of our knowledge systems, or to surrender to the doom of our own firmness, we played with our knowing as sources for new experiences and for new knowledge. Our task for knowing is to remain open-minded to the knowledge of others and to notice how it interferes, affects, and extends our hypotheses, habits, and perceptions.

Acknowledgments: 'Playing with Virtual Realities' has been realized by the 'gamelab.berlin' as part of 'Image Knowledge Gestaltung', Cluster of Excellence of Humboldt-University of Berlin, funded by the German Research Foundation (DFG). The project has been realized in collaboration with 'Institute for Games', Hochschule der Medien Stuttgart, and with 'the Department of Theatre and Performance Studies', Free University of Berlin. The project is in association with the international network of Performance Philosophy. The premiere and the symposium of 'PwVR' took place at DOCK 11 Berlin, January 25–28, 2018.

Project director and choreographer: Einav Katan-Schmid
 Dancers-researchers: Lisanne Goodhue, Nitsan Margalit
 Technical assistance-researchers: Meik Ramey, Norbert Schröck
 Creative team-researchers: Sabiha Ghellal, Ramona Mosse, Christian Stein, Thomas Lilge.

Literature

- Aristotle (1994–2009): *Nicomachean Ethics*. Translated by W. D. Ross. Cambridge, MA: The Internet Classics Archive. <http://classics.mit.edu/Aristotle/nicomachaen.html> (accessed August 10, 2017).
- Aquilina, Stefan and Sarco-Thomas, Malaika (2017): *Interdisciplinarity in the Performing Arts: Contemporary Perspectives*. Malta: Malta University Press.
- Chatzichristodoulou, Maria and Crossley, Mark (2016): “Falling Between’: Opportunities and Challenges for Intermediality” [Editorial Introduction], in: *Research in Drama Education: The Journal of Applied Theatre and Performance* 21 (3), pp. 277–292.
- de Assis, Paulo (2015): “Introduction”, in: Paulo de Assis (ed.): *Experimental Affinities in Music*. Leuven: Leuven University Press, pp. 7–13.
- deLahunta, Scott and Hennermann, Célestine (eds) (2013): *Motion Bank: Starting Points & Aspirations*. Frankfurt: Motion Bank/ The Forsythe Company.
- Dewey, John (1980): *Art as Experience*. New York NY: Perigee Books.
- Forsythe, William and Haffner, Nik (2012): *William Forsythe: Improvisation Technologies: A Tool for the Analytical Dance Eye*. Karlsruhe DE: ZKM digital arts edition, Zentrum für Kunst und Medientechnologie Karlsruhe.
- Ghella, Sabiha (2017): *The Interpretative Role of an Experienter: How to Design for Meaningful Transmedia Experiences by Contrasting Ambiguous Vs. Prescribed Qualities*. Aalborg: Aalborg Universitetsforlag. <https://doi.org/10.5278/vbn.phd.tech.00006> (accessed August 10, 2017).
- Goehr, Lydia (2015): “Explosive Experiments and the Fragility of the Experimental”, in: Paulo de Assis (ed.): *Experimental Affinities in Music*. Leuven: Leuven University Press, pp. 15–41.
- Hoel, Aud Sissel (2012): “Technics of Thinking”, in: Aud Sissel Hoel and Ingvald Folkvord (eds): *Ernst Cassirer on Form and Technology*. London: Palgrave Macmillan, pp. 65–91.
- Husserl, Edmund (1997): *Psychological and Transcendental Phenomenology and the Confrontation with Heidegger (1927–1931)* (ed. and trans. by Thomas Sheehan and Richard E. Palmer). London: Kluwer Academic publishers.
- Katan-Schmid, Einav (2016): *Embodied Philosophy in Dance: Gaga and Ohad Naharin’s Movement Research*. London: Palgrave Macmillan.
- Katan-Schmid, Einav (2017): “Dancing Metaphors: Creative Thinking within Bodily Movements”, in: Dan-Eugen Ratiu and Connell Vaughan (eds): *Proceedings of the European Society for Aesthetics*, Vol. 9. Fribourg, CHE: European Society for Aesthetics.
- Laban, Rudolf (1956): *Laban’s Principles of Dance and Movement Notation*. 2. edition (ed. and annotated by Roderyk Lange). London: MacDonald and Evans.
- Mauss, Marcel (1994): “Techniques of the Body”, in: Jonathan Crary and Sanford Kwinter (eds): *Incorporations*. New York: Zone Books.
- Merleau-Ponty, Maurice (1945): *Phénoménologie De La Perception*. Paris: Librairie Gallimard.
- Miller, Thaddeus R.; Baird, Timothy D.; Littlefield, Caitlin M.; Kofinas, Gary; Chapin, F. Stuart; Redman, Charles L. (2008): “Epistemological pluralism: reorganizing interdisciplinary research”, in: *Ecology and Society* 13 (2) 46. URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art46/>
- Nelson, Robin (2013): *Practice as Research in the Arts: Principles, Protocols, Pedagogies, Resistances*. London: Palgrave Macmillan.
- Radder, Hans (2003): “Toward a More Developed Philosophy of Scientific Experimentation”, in: Hans Radder (ed): *The Philosophy of Scientific Experimentation*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, pp. 1–18.
- Rheinberger, Hans-Jörg (1997): *Toward a History of Epistemic Things: Synthesizing Proteins in the Test Tube*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Rheinberger, Hans-Jörg (2008): *Epistemic Objects/ Technical Objects*, in: Epistemic Objects Research Colloquium. Max Planck Institute for the History of Science, Berlin, May 16–17, 2008, pp. 21–28. <http://institut-kunst.ch/wp-content/uploads/2016/05/epistemic-objects.pdf> (accessed August 10, 2017).
- Schwarte, Ludger (2012): “Experimentelle Ästhetik: Arbeit an den Grenzen des Sinns”, in: *Zeitschrift für Ästhetik und Allgemeine Kunstwissenschaft* 57 (2), pp. 185–95.
- Shultis, Christopher (1998): *Silencing the Sounded Self: John Cage and the American Experimental Tradition*. Hanover and London: University Press of New England.

VR Technology and Applications Cited

- HTC Vive, HTC Corporation. www.htcvive.com (accessed July 30, 2018).
- Space Pirate Trainer, I-Illusions. <http://www.spacepiratetrainer.com/> (accessed July 30, 2018).
- Tilt Brush, Google VR. <https://www.tiltbrush.com/> (accessed July 30, 2018).

Performance Publication

- Katan-Schmid, Einav; Goodhue, Lisanne; Margaliot, Nitsan; Ramey, Meik; Schröck, Norbert; Ghella, Sabiha; Mosse, Ramona; Stein, Christian; Lilje, Thomas (2018): *Playing with Virtual Realities*. Berlin: January 26, DOCK11. https://www.youtube.com/watch?v=2r_LOG7TaQA (accessed July 30, 2018).

Ko-laborieren

Die Experimentalzone.

Raumforschung an der Schnittstelle zwischen Gestaltung und Sozialwissenschaft

Séverine Marguin, Henrike Rabe und Friedrich Schmidgall

Jede Disziplin hat ihre eigenen Methoden und in der Regel auch einen Diskurs darüber. Manchmal kommen jedoch mehrere Disziplinen zusammen, um ein Phänomen genauer zu erkunden. Was bedeutet das für die verwendeten Methoden? Ist die Fragestellung eine soziologische, werden üblicherweise Methoden aus der Soziologie angewandt. Ist die Frage eine gestalterische¹, werden Methoden aus der Gestaltung eingesetzt. Aber wie geht man vor, wenn die Fragestellung genau zwischen den Sozialwissenschaften und der Gestaltung verortet ist? Mit welchen Methoden können die Fragen untersucht werden? Wie können die Methoden beider Disziplinen zusammengebracht und für komplexe Fragen produktiv gemacht werden? In unserem Forschungsprojekt *ArchitekturenExperimente* standen wir genau vor dieser Herausforderung, denn die Frage nach dem Wechselverhältnis zwischen Raum und Wissen lässt sich mit den Methoden einer einzigen Disziplin nicht umfassend erforschen (Baur/Blasius 2014). Was macht das Wissen mit dem Raum? Was macht der Raum mit dem Wissen? Welche Wechselverhältnisse sind wirksam zwischen Raum(gestaltung) und Wissensproduktion? Es ging uns darum, zu analysieren, was für eine Rolle räumliche Assemblagen in der alltäglichen Produktion von Wissen spielen.

Um diesen Fragen nachzugehen, haben wir ein neuartiges Forschungsdesign zwischen Soziologie und Gestaltung entwickelt, das wir als „experimentelle Feldforschung“ bezeichnen. Anhand der regelmäßigen Umgestaltung eines gemeinsamen Forschungsraumes haben wir die Auswirkungen von Raum auf die kollaborativen und individuellen Arbeitspraktiken von WissenschaftlerInnen quantitativ und qualitativ untersucht. Dieses besondere Setting warf mehrere methodologische Fragen auf: Folgen wir den Methoden der Gestaltung oder denen der Sozialwissenschaften? Welchen Experimentbegriff vertreten wir? Welche methodologische Herausforderungen bringt das jeweilige Konzept von Experiment mit sich? Und inwiefern können solche interdisziplinären Experimente für

1 Wir nutzen den Begriff der Gestaltung als übergreifende Bezeichnung für die Disziplinen Design und Architektur (Mareis 2010, Schäffner 2010).

die Erforschung und Gestaltung von Räumen wissenschaftlicher Praxis relevant sein? Die Auseinandersetzung mit diesen Fragen ließ deutlich werden, dass an der Schnittstelle zwischen Gestaltung und Soziologie bisher wenig erprobt und noch weniger methodologisch reflektiert wurde. Während Experimente in der qualitativen empirischen Sozialforschung weitgehend unüblich sind, wird in der Gestaltung selten eine durch einen methodologischen Diskurs gestützte empirische Beobachtung angewandt, um die Intuitionen der GestalterInnen zu prüfen.

1. Die Experimentalzone

Um für unser Experiment eine maximale Flexibilität an Anordnungen von Möbeln, Stellwänden und Instrumenten zu schaffen, wurde zunächst die vierte Etage eines Gebäudes der Humboldt-Universität umgebaut. Indem wir sie bis auf sechs Stützen entkernen ließen, haben wir einen *Open Space* von 350 Quadratmetern geschaffen (Abb. 1). Zur Eröffnung der Experimentalzone im April 2015 zogen vierzig WissenschaftlerInnen ein. Dabei handelte es sich um Mitarbeitende von unterschiedlichen interdisziplinären Forscherteams des Exzellenzclusters *Bild Wissen Gestaltung*, vorrangig aus den Geisteswissenschaften und der Gestaltung.

Die Experimentalisierung unserer Fragestellung wurde in Form von zwei- bis dreimonatigen physischen, digitalen und sozialen Experimentalsettings realisiert, die wir jeweils entworfen, gebaut und beobachtet haben (Abb. 2–7). In einem Zeitraum von April 2015 bis April 2018 wurden insgesamt siebzehn Settings geschaffen und analysiert. Dabei handelte es sich um physische Konfigurationen und Szenarien, aber auch um digitale Interventionen oder Handlungsanweisungen. Die Experimente waren – im Gegensatz zu kommerziellen Gestaltungsprojekten – keineswegs auf eine Optimierung der Bedingungen ausgerichtet, sondern es wurden gezielt auch Irritationen eingesetzt, um Erkenntnisse zu gewinnen.

2. Ein gestalterisches qualitatives Experiment

Aus der Interdisziplinarität des Forschungsprojekts ist eine neuartige wissenschaftliche Herangehensweise entstanden, die sich durch die Verknüpfung von teilweise gegensätzlichen Methoden der Erkenntnisgenerierung – gestalterischem Experimentieren, Experiment und Feldforschung – auszeichnet. Während der Begriff der Feldforschung relativ eindeutig ist – es geht um die Erhebung empirischer Daten mittels Beobachtung und Befragung in einem „natürlichen“ Kontext –, benötigt der Begriff des Experiments bzw. des Experimentierens einige Erläuterungen. Welche Konzeption

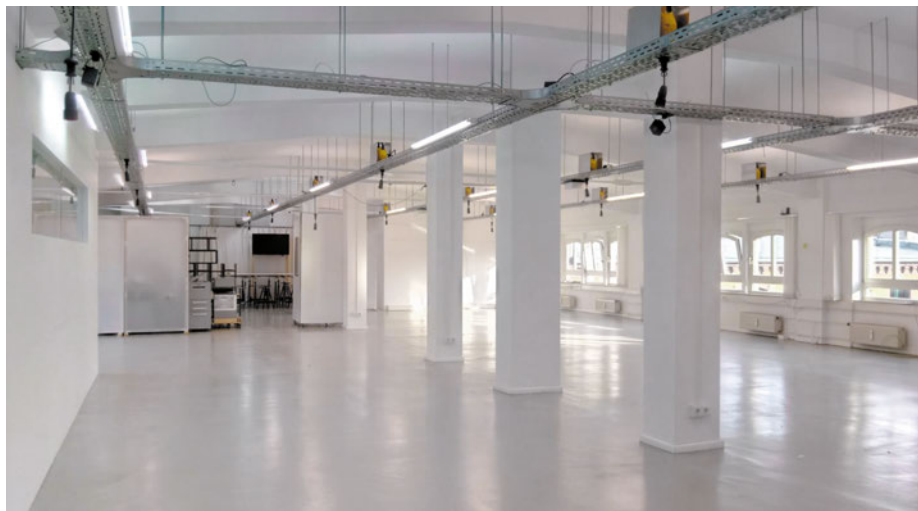


Abb. 1, 2, 3. Leere Experimentalzone, Experimentalsetting 06, Umbau zwischen zwei Settings.

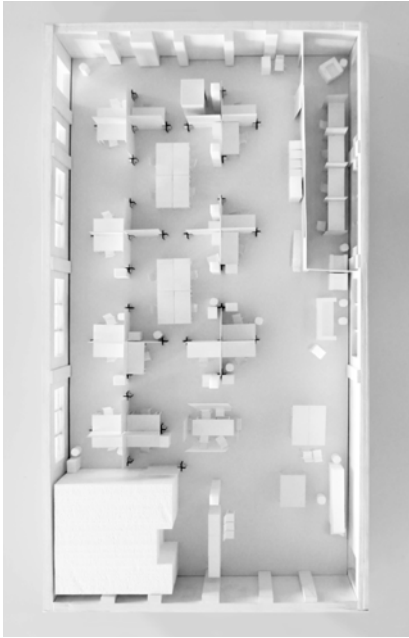


Abb. 4, 5, 6, 7. Architekturmodelle der Experimentalsettings 03, 06, 12 und 16.

des Experiments lag unserer Arbeit zugrunde? In den Natur- und Geisteswissenschaften sowie in der Gestaltung existieren höchst unterschiedliche Konzepte des Experiments – und die Unterschiede bestehen nicht nur zwischen den Disziplinen, sondern auch innerhalb der Disziplinen selbst, wie dieser Sammelband exemplarisch zeigt. An welche experimentelle Kultur lehnt sich unsere Herangehensweise an?

Wie Gunhild Berg bemerkt, ist der Begriff noch heute maßgeblich durch die traditionelle Definition eines naturwissenschaftlichen Experiments geprägt (Berg 2013: 140). Bei einem Experiment gehe es demnach darum, einen Vorgang „möglichst frei von allen ungewollten Einwirkungen zu verwirklichen, um durch Messung der Zahlenwerte der in sie eingehenden Größen und durch Variation der Versuchsbedingungen zur Aufstellung eines mathematisch formulierten Gesetzes zu gelangen, dem der Vorgang gehorcht“ (Westphal 1956: 6). Ausgehend vom Idealfall des Laborexperiments stehen hier „die von Karl Popper formulierten Gütekriterien der Wissenschaftlichkeit Reproduzierbarkeit, Standardisierbarkeit und Messbarkeit“ im Vordergrund (Kühl 2009: 535).

Diese naturwissenschaftliche Prägung des Experimentbegriffs findet sich in der Gestaltung, aber auch in den Sozialwissenschaften wieder: Im Feld der Architektur spielt sie vor allem in ingenieurwissenschaftlichen Experimenten eine Rolle (Moravánszky/Kirchengast 2011), bei denen im Rahmen von Experimentalbauten oder anhand von Simulationen oder physischen Modellen unterschiedliche Variablen getestet werden (ebd.). Im Design findet sie sich beispielsweise in Usability-Studien wieder: Um herauszufinden, wie die BesucherInnen eine Website visuell erkunden und wo ihre Aufmerksamkeit am häufigsten hinfällt, wird Eyetracking² eingesetzt (Nielsen/Pernice 2010). In den Sozialwissenschaften sind es die quantitativ angelegten experimentellen Studien, die eine solche naturwissenschaftliche Prägung aufweisen (Kühl 2009). In diesem Zusammenhang sind sozialpsychologische Versuche wie beispielsweise das Milgram-Experiment (Milgram 1963) besonders bekannt.

Sowohl in den Gestaltungsfächern als auch in den Sozialwissenschaften sind aber auch experimentelle Ansätze zu beobachten, die sich von diesem naturwissenschaftlichen Verständnis distanzieren. In der Architektur und im Design verweist der Begriff des Experimentierens bzw. des Experimentellen auch auf eine künstlerisch geprägte Herangehensweise, auf ein „erkundendes, probierendes, ungewohntes Vorgehen“ (Jäger 1997: 546). Es wird in der

2 Aufzeichnung der Augenbewegungen.

Regel keine Hypothese erstellt, sondern der Fokus der Praxis liegt auf der Improvisation und der Erschließung von bisher Unbekanntem (Ishigami 2014, Sailer 2019). In den qualitativ orientierten Sozialwissenschaften wird das Experiment als eine Heuristik in einer Explorationsphase der Forschung eingesetzt (Kleining 1986: 724). Dabei geht es darum, in einen sozialen Gegenstand einzugreifen, um seine Struktur zu erforschen, etwa mittels eines Krisenexperiments (Garfinkel 1973). Solch eine punktuelle Störung im Feld und insbesondere die dadurch entstehenden Interaktionen gehören ebenfalls eher dem Bereich der Improvisation an als dem Bereich des systematischen Experiments.

In unserem Forschungsprojekt ist der Begriff des Experiments von einem mehrdeutigen Verständnis geprägt. Wie lässt sich dieses Knäuel entwirren? Stefan Kühl unterscheidet zwischen vier Typen des Experiments in der Sozialforschung: Laborexperiment, Quasi-Experiment, Planspiel, Feld- und Krisenexperiment, die jeweils „den Ansprüchen an Reproduzierbarkeit, Standardisierbarkeit und Messbarkeit nicht in gleicher Form gerecht werden“ (Kühl 2009: 535). Wie kann unser Forschungsprojekt näher charakterisiert werden?

In der Experimentalzone wurde das *gestalterische Experimentieren* im Sinne eines erkundenden Vorgehens in eine systematische empirische Untersuchung eingebunden. Sozialwissenschaftlich betrachtet entstand dabei eine Mischform zwischen *Quasi-Experiment* – zwar intervenierten wir regelmäßig und änderten dabei eine Variable, aber viele der Störvariablen ließen sich kaum kontrollieren – und *Feldexperiment* – dieser von uns inszenierte, also umgebaute und eingerichtete Raum bildete eine „natürliche Umgebung“. Welches sind nun die Eigenschaften unserer experimentellen Untersuchungsanordnung?

1. Ko-laborative Experimentalisierung: Wir haben einen ko-laborativen Ansatz verfolgt, was bedeutet, dass wir nicht *  ber* die TeilnehmerInnen der Experimentalzone geforscht haben, sondern *mit* ihnen (Niewöhner 2016).   ber unterschiedliche Maßnahmen (Treffen, Sichtbarmachung der Work-in-Progress-Ergebnisse usw.) haben wir die teilnehmenden WissenschaftlerInnen in die Untersuchung involviert, um mit ihnen über ihren Raum des Forschens nachzudenken.
2. Im Rahmen von Experimentalsettings wurde an verschiedenen Stellschrauben gedreht, um die räumlichen und zeitlichen Bedingungen der Forschungsproduktion zu

- manipulieren: die Größe von Raumbereichen (groß – klein); die Distanz zwischen Arbeitsplätzen (nah – weit); die Zugänglichkeit von Raumbereichen (direkt zugänglich – nicht direkt zugänglich); die Sichtbarkeit der im Raum Anwesenden (sichtbar – nicht sichtbar); der Geräuschpegel im Raum (laut – leise; auch je nach Tageszeit); die Lesbarkeit des Raums (chaotisch – geordnet); die Kommunikation im Raum (virtuell – Face-to-Face; beruflich – privat); die räumliche Anordnung von Arbeitsweisen (Einzelarbeit – Teamarbeit); die Ausstattung mit Artefakten (Praktiken ermöglichen – einschränken); zeitliche Regelungen. Allerdings war es nur begrenzt möglich, die architektonischen Gegebenheiten der Experimentalzone zu verändern, denn bestimmte Variablen wie die Außenwände mit ihren Fenstern und Türen waren unveränderlich.
3. Wie gesagt ähnelte die Experimentalzone einem Quasi-Experiment, weil wir „nur sehr begrenzte Möglichkeiten [hatten], alle Störvariablen zu kontrollieren“ (Kühl 2009: 535). Die erste Störvariable war durch unsere besondere Zielgruppe bedingt, deren Zusammensetzung wir nicht beeinflussen konnten. Die Experimentalzone war offen für alle MitarbeiterInnen des Exzellenzclusters. Die Teilnahme beruhte auf einer freiwilligen Entscheidung und war mit der Beanspruchung eines Arbeitsplatzes innerhalb der Experimentalzone verbunden. Dies bedeutet zum einen, dass wir die Entwicklung der Zielgruppe über die Zeit nicht kontrollieren konnten, so dass verschiedene Faktoren in Bewegung waren: von wann bis wann die WissenschaftlerInnen am Experiment teilnahmen, aus welcher Disziplin sie kommen, welchen Status sie haben usw. Die zweite Störvariable war, dass wir nicht kontrollieren konnten, ob einige schon eine „gemeinsame Vorgeschichte“ vor ihrer Zeit in der Experimentalzone hatten. Einige kannten sich (gut); sie hatten zusammen studiert oder zusammen gearbeitet, zum Teil über mehrere Jahre. Für die Analyse der Interaktionen bzw. Kollaborationen bildete dieser Faktor eine wichtige Störvariable, die in der Untersuchung berücksichtigt werden musste.
4. Statt einer Kontrollgruppe haben wir einen internen Vergleich zwischen den unterschiedlichen Experimentalsettings bevorzugt. Es ging uns darum – und hier rückt das gestalterische Verständnis des Experiments in den Vordergrund –, explorativ bzw. erkundend innerhalb einer Langzeitunter-

suchung unterschiedliche Entwürfe zu testen und zu vergleichen, ganz nach der Trial-and-Error-Logik, die die gestalterische Praxis prägt.

In dieser Hinsicht wurden in unserem Experiment eine deduktive und eine induktive Herangehensweise miteinander verknüpft: Pro Setting wurden spezifische gestalterische Thesen aufgestellt, deduktiv getestet und analysiert. Jedes Setting beruhte auf einer Hypothese, die sich in der Gestaltung der Experimentalzone ausdrückte. Beispielsweise basierte das Setting 05 „Praktiken“ unter anderem auf der Annahme, dass eine hohe Dichte der Arbeitsplätze kollaborative Arbeitspraktiken fördert, und wurde dementsprechend als dichte Anordnung von Tischen auf minimaler Grundfläche, genauer gesagt in Form von fünf direkt benachbarten Tischgruppen gestaltet (Abb. 2 und 5). Das Setting ist zugleich ein Beispiel dafür, welche ungeplanten Erkenntnisse uns die Experimentalisierung geliefert hat. So hat uns die Beobachtung des Settings nicht nur Hinweise auf das Verhältnis zwischen physischer Nähe und Kollaboration gegeben, sondern auch auf die wachsende Unvereinbarkeit der gestalterischen und wissenschaftlichen Praktiken der TeilnehmerInnen innerhalb der Experimentalzone. Diese Erkenntnis haben wir wiederum produktiv gemacht, indem im Anschluss beschlossen wurde, die räumlichen Dimensionen dieser „Kopräsenz“ spezifischer zu untersuchen. Dies bildete eine induktive Herangehensweise, ganz im Sinne der Grounded Theory (Glaser/Strauss 2010), gemäß der die Fragestellung allmählich und explorativ aus der Feldarbeit heraus weiterentwickelt wird.³

Die interdisziplinär begründete Frage nach dem Verhältnis zwischen Raum und Wissenspraktiken führte uns dementsprechend zu einem neuartigen interdisziplinären Experimentalformat, einer experimentellen Feldforschung zwischen Sozialwissenschaft und Gestaltung. Aber wie wurde ein solches induktiv-deduktives Vorhaben im Forschungsalltag umgesetzt?

3. Die Umsetzung des Experiments

Die ungewöhnliche und komplexe Experimentalisierung benötigte einen strengen Rahmen der Durchführung – nicht nur um Systematik und Vergleichbarkeit zu gewährleisten, sondern auch um uns selbst, ein interdisziplinäres und nichthierarchisches Team, zu koordinieren. Die Komplexität des Vorgehens bestand zudem darin, dass jeweils drei Settings parallel bearbeitet wurden: das vorherige, das aktuelle und das kommende Setting. Während wir noch das vorherige Setting auswerteten, wurde zugleich das

3 Vgl. dazu den Beitrag von Claudia Mareis im vorliegenden Band.

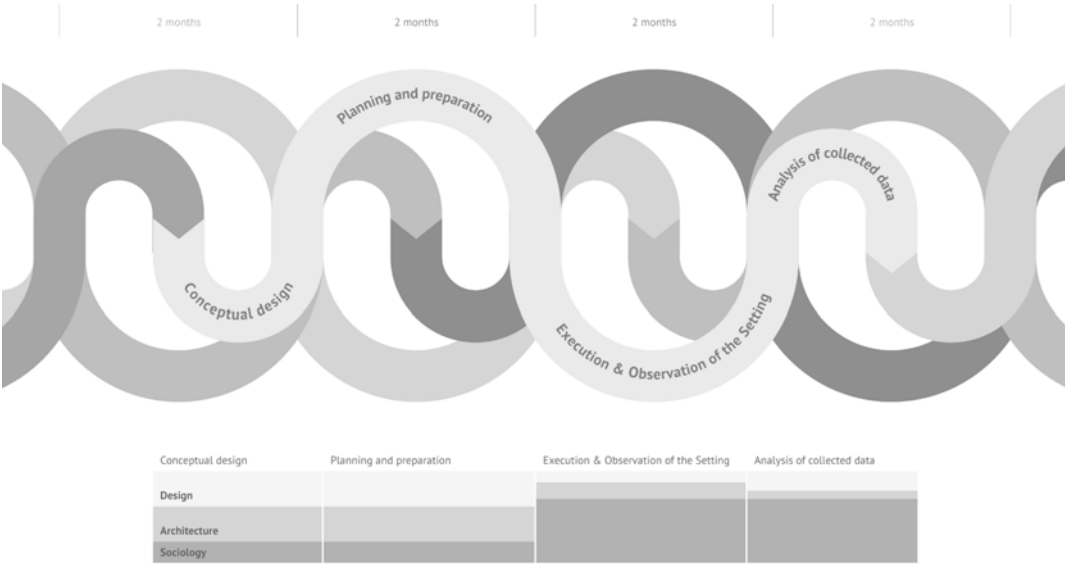


Abb. 8. Vorgehensmodell der Konzeption, Planung, Durchführung, Beobachtung und Analyse der Experimentalsettings.

aktuelle Setting durchgeführt sowie kommende Settings konzipiert und geplant.

Das von uns entwickelte und oben visualisierte Vorgehensmodell macht deutlich, wie die Zyklen der drei Arbeitsphasen Konzeption und Planung, Durchführung und Auswertung sowie die Gleichzeitigkeit dieser Prozesse und das präzise Ineinandergreifen der drei Disziplinen organisiert wurden (Abb. 8). Auch wenn unser Forschungs- und Entwurfsprozess durch und durch interdisziplinär war, wurden bestimmte Phasen stärker von einer Disziplin getragen bzw. verantwortet als von den anderen: Entwurf und Planung waren unter der Obhut der gestalterischen Disziplinen, während Beobachtung und Auswertung der Sozialwissenschaft unterstanden. Darüber hinaus verkörpert das Modell das Oszillieren zwischen den induktiven und deduktiven Herangehensweisen, die unseren Ansatz kennzeichneten.

Zur Erläuterung der Umsetzung des Experiments werden im Folgenden die drei Arbeitsphasen genauer erläutert.

Konzeption und Planung

Um die Konzeption und Planung der Experimentalsettings so interdisziplinär wie möglich zu gestalten und dabei dennoch die disziplinäre Expertise stark zu machen, war der Entwurfsprozess von



Abb. 9. Modellapparat.



Abb. 10. Kartografie der Interaktionen zwischen den Teilnehmenden.

einem Wechsel zwischen interdisziplinärem und disziplin  rem Vorgehen geprägt: Zunächst wurde in einem gemeinsamen Konzeptionstreffen basierend auf den jüngsten Beobachtungen und Erfahrungen die grobe Richtung des Settings besprochen, anschließend entwickelten Beteiligte aus den gestalterischen Disziplinen Entwurfsoptionen, die dann von allen Teammitgliedern besprochen wurden. Zuletzt planten die GestalterInnen den Bau des Settings und setzten ihn um.

Das Vorgehen innerhalb des Entwurfsparts orientierte sich an japanischen Entwurfspraktiken, indem zahlreiche Varianten im Modell ausprobiert wurden (Geipel 2010). Dafür wurde der sogenannte *Modellapparat* genutzt, ein von uns entwickeltes multifunktionales Instrument, das nicht nur für den Entwurf, sondern auch für die Empirie und die Visualisierung eingesetzt wurde. Der Apparat bestand aus einem Tisch mit einem Modell der Experimentzone im Maßstab 1:50 und einem von der Decke abgehängten Gerüst mit integrierten LED-Lichtplatten, einem Beamer und einer Kamera. Das Modell gab in erster Linie die festen, unveränderlichen

Elemente der Experimentalzone wie die Außenwände wieder; zusätzlich standen Miniaturen der beweglichen Elemente wie Tische zur Verfügung. Im Modell wurden unterschiedliche Vorschläge und Varianten ausprobiert, fotografiert und besprochen.

Beobachtung

Wir haben einen Mixed-Methods-Ansatz verfolgt, also sowohl qualitative als auch quantitative Instrumente der Raum- und Praxisforschung eingesetzt. Aus der Kombination von klassischen Methoden der Sozialforschung, klassischen Entwurfs- und Untersuchungsmethoden der Architektur sowie hybriden Formen ergab sich ein umfangreiches Set an Instrumenten. Um die Wirkungen der Settings empirisch zu erforschen, haben wir uns besonders auf drei Beobachtungsgegenstände fokussiert: die physisch-materiellen Raumanordnungen (zeichnerische Bestandsaufnahme; fotografische Dokumentation; Architekturmodelle; Autofotografie des Arbeitsplatzes), die Raumpraktiken (Simulation mit Space Syntax; Kartografie der Bewegungen und Interaktionen; problemzentrierte Interviews; Mental-Map-Interviews) und die Forschungspraktiken (teilnehmende Beobachtung; Interviews am Computer).

Auswertung

Für die Auswertung war es besonders wichtig, eine Vergleichbarkeit zwischen den Datensätzen zu ermöglichen, auch im Sinne eines Vergleichs zwischen den Settings. Methodologisch ergab sich daraus die Anforderung, die Daten im Sinne unseres Mixed-Methods-Ansatzes integrativ (und nicht sequenziell oder parallel) zu analysieren. Dafür haben wir je nach Gegenstand des Vergleichs unterschiedliche Datensätze erstellt:

Alle textbasierten Daten aus den unterschiedlichen Interviews und der teilnehmenden Beobachtung wurden unter gemeinsamen Kategorien in der Software MaxQDA kodiert.

Für die visuellen Daten wurden je nach Dateityp (z. B. Autofotografie) Sammlungen gebildet. Jede Sammlung wurde einzeln ausgewertet, unter anderem mit neuartigen interdisziplinären Methoden wie beispielsweise dem Color-Coding, einem Einfärben von Bildbereichen, das als eine visuelle Kodierung der Bilder funktioniert und gerade bei großen Datenmengen sonst schwer erfassbare Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Fotos deutlich macht (vgl. Abb. 11).

Ein analoges „Joint Display“ im Sinne von Kuckartz (2016), bei dem wir für jede teilnehmende Person an einer Präsentationswand sämtliche verfügbaren Materialien (Fotos, Tabellen, Texte)

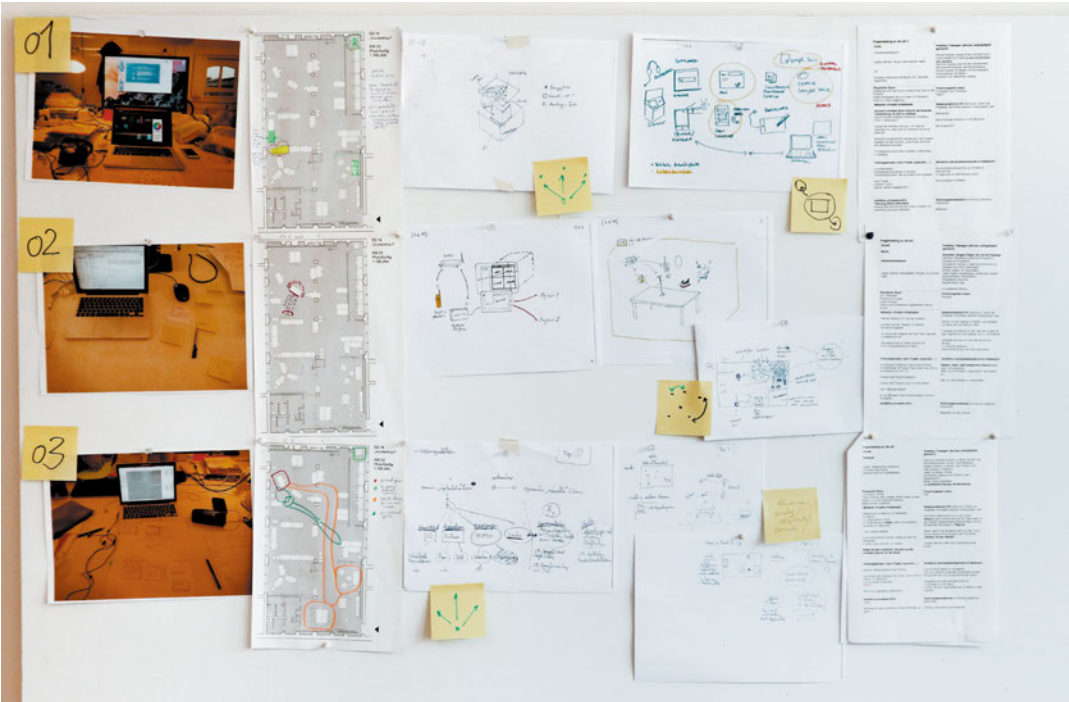


Abb. 11. (oben) Color-Coding der Autofotografie.
Abb. 12. (unten) Joint Display für die Analyse von Mental Maps.

zusammenstellten, ermöglichte einerseits ein Gesamtporträt jedes/r einzelnen Teilnehmenden und andererseits auch einen umfassenden Vergleich zwischen ihnen allen (vgl. Abb. 12).

Fazit

Mit der Entwicklung einer gestaltungsbasierten, experimentellen und ko-laborativen Feldforschung war es uns möglich, regelmäßige gestalterische Interventionen durchzuführen und systematisch deren Einflüsse auf die Wissenspraktiken zu beobachten. Das neue Format bewegt sich zwischen mehreren Spannungsfeldern: Erstens entsteht durch die Einbindung des gestalterischen Experimentierens in eine systematische empirische Untersuchung ein Format zwischen Experiment und Feldforschung. Zweitens ist das Forschungsdesign mit seinem insgesamt explorativen Vorgehen und einzelnen hypothesengeleiteten Experimentalsettings zwischen explorativ und hypothesengeleitet situiert. Drittens oszilliert die alltägliche Durchführung des Forschungsdesigns zwischen interdisziplinären und disziplinären Praktiken, die mit Hilfe eines Vorgehensmodells systematisiert wurden. Schließlich wurden, um der Komplexität der Fragestellung gerecht zu werden, für die Beobachtung textbasierte und bildbasierte Untersuchungsmethoden kombiniert. Das neue Experimentalformat hebt sich damit deutlich von bestehenden Experimentierpraktiken in Sozialwissenschaft und Gestaltung ab und versteht sich als Vorschlag für Experimente an der Schnittstelle zwischen Sozialwissenschaft und Gestaltung.

Dieser Beitrag basiert auf dem zweiten Kapitel der Monografie *Experimental Zone: An Interdisciplinary Investigation on the Spaces and Practices of Collaborative Research* (Park Books, 2019).

Literatur

- Baur, Nina und Blasius, Jörg (2014): „Methoden der empirischen Sozialforschung“, in: Dies. (Hg.): *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. Wiesbaden: Springer, S. 41–62.
- Berg, Gunhild (2013): „Experimentieren“, in: *Über die Praxis des kulturwissenschaftlichen Arbeitens: ein Handwörterbuch*. Bielefeld: transcript.
- Garfinkel, Harold (1973): „Studien über die Routinedrundlagen von Alltagshandeln“, in: Steinert, Heinz (Hg.): *Symbolische Interaktion. Arbeiten zu einer reflexiven Soziologie*. Stuttgart: Klett, S. 280–293.
- Geipel, Kaye (2010): „Von Tokyo nach Venedig“, in: *Bauwelt*, Nr. 33.2010, S. 14–17.
- Glaser, Barney G. und Strauss, Anselm L. (2010): *Grounded theory: Strategien qualitativer Forschung*. 3., unveränd. Aufl. Bern: Huber.
- Ishigami, Junya (2014): *How Small? How Vast? How architecture grows*. Hg. v. Kuma, Chinatsu. Ostfildern: Hatje Cantz.
- Jäger, Georg (1997): „Experimentell“, in: Weimar, Klaus (Hg.): *Reallexikon der deutschen Literaturwissenschaft. Neubearbeitung des Reallexikons der deutschen Literaturgeschichte*. Berlin/New York: de Gruyter 1997.
- Kleinig, Gerhard (1986): „Das qualitative Experiment“, in: *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie*, 38 (4), S. 724–750.

- Kuckartz, Udo (2016): *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. Weinheim/Basel: Beltz Juventa.
- Kühl, Stefan (2009): „Experiment“, in: Ders.; Strodtholz, Petra und Taffertshofer, Andreas (Hg.): *Handbuch Methoden der Organisationsforschung: Quantitative und Qualitative Methoden*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 534–558.
- Mareis, Claudia (2010): „Entwerfen – Wissen – Produzieren. Designforschung im Anwendungskontext“, in: Dies.; Joost, Gesche und Kimpel, Kora (Hg.): *Entwerfen – Wissen – Produzieren. Designforschung im Anwendungskontext*. Bielefeld: transcript, S. 9–33.
- Milgram, Stanley (1963): „Behavioral study of obedience“, in: *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 67, S. 371–378.
- Morav  nszky,   kos und Kirchengast, Albert (2011): *Experiments: Architektur zwischen Wissenschaft und Kunst / Architecture between Sciences and the Arts*. Berlin: Jovis.
- Nielsen, Jakob und Pernice, Kara (2010): *Eyetracking web usability*. Berkeley, CA: New Riders.
- Niewöhner, Jörg (2016): „Co-laborative anthropology. Crafting reflexivities experimentally“, in: Jouhki, Jukka und Steel, Tytti (Hg.): *Etnologinen tulkinta ja analyysi. Kohti avoimempaa tutkimusprosessia [Ethnological interpretation and analysis: Towards a transparent research process]*. Helsinki: Ethnos, S. 81–125.
- Sailer, Kerstin (2019): „Simulieren: Experimente in der Büroraumgestaltung: Konzepte, Herausforderungen und praktische Beispiele aus Sicht der Architektur“, in: Marguin, Séverine; Rabe, Henrike; Sch  ffner, Wolfgang und Schmidgall, Friedrich (Hg.): *Experimentieren. Vergleich experimenteller Kulturen in Wissenschaft und Gestaltung*. Bielefeld: transcript.
- Sch  ffner, Wolfgang (2010): „The Design Turn. Eine wissenschaftliche Revolution im Geiste der Gestaltung“, in: Mareis, Claudia; Joost, Gesche und Kimpel, Kora (Hg.): *Entwerfen – Wissen – Produzieren. Designforschung im Anwendungskontext*. Bielefeld: transcript, S. 33–46.
- Westphal, Wilhelm H. (1956): *Physik. Ein Lehrbuch*. 18./19. Auflage. Berlin/Göttingen: Springer.

Kombinieren

Durch den
Datendschungel
auf der Suche
nach Erkenntnis.
Experimentieren
in der molekularen
Mikrobiologie

Regine Hengge

Seit ihrem Beginn in den 1940er Jahren ist die Molekularbiologie ein Zweig der Biologie, in dem Experimente von entscheidender Bedeutung sind. Ein Experiment dient dazu, eine wissenschaftliche Frage zu beantworten, auf welche man vor der Durchführung des Experiments keine Antwort besaß. Die Fragestellungen betreffen die Struktur von Makromolekülen, insbesondere von DNA, RNA und Proteinen, ihre Interaktionen untereinander oder mit kleinen Molekülen und die Bedeutung dieser molekularen Vorgänge für die Lebensfunktionen von Zellen und Organismen. Eine eindeutige Antwort auf eine zuvor unbeantwortete präzise Frage gilt als Ergebnis und damit als wissenschaftlicher Fortschritt.

Da Bakterien experimentell besonders gut zugänglich sind, begann die Molekularbiologie als eine molekulare Mikrobiologie. Diese heute noch florierende Wissenschaft, die auch zur Grundlage für weite Teile der modernen Biotechnologie und synthetischen Biologie sowie der Infektionsbiologie geworden ist, wird im Folgenden beispielhaft für alle Zweige der Biologie mit molekularbiologischen Fragestellungen herangezogen. Während die experimentellen Ansätze der gesamten Molekularbiologie von Anfang an stark hypothesengetrieben waren, wurde die molekulare Mikrobiologie darüber hinaus auch zum ersten Zweig der modernen Big-Data-Biologie, da seit Beginn der 1990er Jahre komplette bakterielle Genomsequenzen und genomweite Genaktivitätsdaten experimentell generiert und in einer Vielzahl von öffentlichen Datenbanken rapide akkumuliert werden, wo sie allen ForscherInnen zur Verfügung stehen. Entgegen landläufigen Annahmen schließen sich hypothesengetriebene und nichthypothesengetriebene Forschungsansätze gegenseitig nicht aus – ganz im Gegenteil, sie ergänzen sich und werden oft sogar von denselben ForscherInnen betrieben. Im Nachfolgenden wird ein Bericht aus dieser experimentellen Praxis gegeben.

Diversität der molekularen Mikrobiologie und ihrer experimenteller Praktiken

Die molekulare Mikrobiologie untersucht die molekularen Mechanismen, die allen Lebensvorgängen von Mikroorganismen

zugrunde liegen. Mikroorganismen sind dabei definiert als sämtliche Organismen, die nicht mit dem bloßen Auge zu sehen sind. Neben den allgegenwärtigen Bakterien und Viren gehören dazu auch Protozoen, Hefepilze und sonstige Einzeller. Damit ist die Mikrobiologie auch in ihrer molekularen Ausprägung prinzipiell eine Gesamtbilogie des unsichtbar Kleinen, was die Genetik, Zellbiologie, Physiologie, Biochemie und Strukturbilogie dieser Lebewesen einschließt. Wenn neben Fragen nach dem Was und Wie auch Fragen nach dem Warum gestellt werden, gehören weiterhin die Ökophysiologie und Evolution von Mikroorganismen mit hinzu. Dies gilt insbesondere bei Einnahme einer systemischen Perspektive, das heißt wenn der Versuch unternommen wird, die gesamten Eigenschaften einer Zelle oder sogar einer mikrobiellen Gemeinschaft auf die darin ablaufenden molekularen Prozesse zurückzuführen. Entsprechend verfügt die molekulare Mikrobiologie nicht über ein einheitliches experimentelles Konzept, sondern vereint sehr unterschiedliche experimentelle Kulturen und Techniken aus all diesen Teildisziplinen.

Eine weitere Quelle experimenteller Diversität besteht darin, dass die Erschließung wissenschaftlichen Neulands nicht nur in der Molekularbiologie, sondern generell in der experimentellen Biologie in Phasen verläuft, die vom Einsatz sehr unterschiedlicher technischer Methoden gekennzeichnet sind. In einer ersten hauptsächlich neugiergetriebenen Phase werden zunächst neue generelle Fragen nach fundamentalen Zusammenhängen formuliert, wobei eher vage Vorstellungen bestehen, wohin die Reise eigentlich geht und was man dort vorfinden wird. In dieser Entdecker- oder Grundlagenphase gilt es methodisch Allrounder zu sein, das heißt das experimentelle Instrumentarium gleicht einem Schweizer Messer – von vielem die Minimalvariante. Sobald ein neues Gebiet jedoch in seinen Grundzügen entdeckt und beschrieben ist, erfolgt eine Fokussierung und Spezialisierung auf die als zentral erkannten Zusammenhänge, die mit zunehmend spezialisiertem experimentellen und maschinellen Aufwand bis ins Detail geklärt werden. In dieser Phase sind – oft in Kooperationen – Hightech-Spezialisten gefragt, die häufig keine Biologen sind, und auch die Wahl der konkret zu bearbeitenden detaillierten Forschungsfragen ist oft technikgetrieben. Schließlich folgt die Phase der praktischen Verwertung von wissenschaftlichen Entdeckungen und der oft parallel entwickelten Hightech, die nun zur Lösung extern definierter technischer Probleme, etwa in der Biotechnologie, eingesetzt werden. Dies geht zumeist mit einer Fokussierung und Standardisierung der experimentellen Methoden einher. Dieser Ablauf

reflektiert die Tatsache, dass seit ihrem Beginn vor etwa vierhundert Jahren – man denke an Francis Bacon (1561–1626) – die moderne Naturwissenschaft im Hinblick auf eine Eroberung und Nutzbarmachung der Natur durch den Menschen betrieben (und damit auch den jeweils Herrschenden ihre Finanzierung schmackhaft gemacht) wurde. An Universitäten wird jedoch bis heute überwiegend grundlagenorientierte und neugiergetriebene Forschung betrieben, da dort die freie Wahl des Forschungsgegenstandes herrscht und komplexe teure Maschinen oft unerschwinglich sind – auch wenn Universitäten heutzutage nichts unversucht lassen, zumindest über Verbundprojekte Mainstreamthemen und Hightech in ihren Hallen zu installieren und aus ihren WissenschaftlerInnen Start-up-UnternehmerInnen zu machen. Dementsprechend gelten die nachstehenden Ausführungen zur experimentellen Praxis hauptsächlich für die entdeckende Forschung an Universitäten.

Trotz oder vielleicht sogar wegen der in diesem Kontext nötigen Vielfalt von experimentellen Methoden, welche sich zudem ständig weiterentwickeln und deren jeweiliger Einsatz sich aus dem nicht vorhersehbaren Verlauf der Forschung ergibt, werden die praktischen Regeln adäquaten Experimentierens kaum jemals explizit, abstrakt und systematisch gelehrt. Vielmehr erwirbt der Nachwuchs diese typischer- und prägenderweise durch langjähriges Learning by Doing unter Anleitung erfahrener wissenschaftlicher MentorInnen – nicht umsonst werden diese Doktorväter und -mütter genannt. Alle Praxis zeigt hierbei, dass meist langwierige Lern- und Einübungsprozesse nötig sind, bevor Fragestellungen präzise formuliert, bereits belegte Fakten von Hypothesen unterschieden, Experimente unter Einbeziehung der richtigen Kontrollen geplant und sorgfältig durchgeführt und die Ergebnisse stringent interpretiert werden. Die diesen Prozessen impliziten Normen und Regeln erscheinen zwar stabil, können aber über längere Zeiträume durchaus Veränderungen unterliegen, über die sich wissenschaftliche Gemeinschaften interaktiv und ebenfalls wenig explizit verständigen.

Experimentieren im Spannungsfeld von Daten, Hypothesen und Simulation

In der derzeitigen molekular-mikrobiologischen Grundlagenforschung lassen sich drei Arten des experimentellen Ansatzes unterscheiden, die jedoch – entgegen landläufiger Ansicht – keine Alternativen darstellen, sondern in der Praxis eng und sogar systematisch miteinander verschränkt werden: (i) hypothesengetriebenes

Experimentieren, das im Wesentlichen Karl Poppers Theorie des Wissenserwerbs folgt (Popper, 1935); (ii) nichthypothesengetriebenes Experimentieren, das systematisch große Datenmengen mit Hochdurchsatzmethoden erzeugt; und schließlich (iii) mathematische Modellierung und Simulation, was ein Experimentieren *in silico* erlaubt.

Hypothesengetriebenes Experimentieren

Eine Hypothese ist ein funktionell-mechanistisches Szenario, wie ein Zusammenhang sein oder ein System funktionieren *könnte*, das heißt sie stellt eine *mögliche* Antwort auf eine wissenschaftliche Fragestellung dar. Die Hypothese muss weder richtig noch falsch, sondern vor allem nützlich sein, und zwar in dem Sinne, dass präzise Experimente, welche die betreffende Fragestellung beantworten können, aus ihr abgeleitet werden können. Je präziser die Hypothese selbst formuliert ist, umso besser erfüllt sie diese Funktion.

Eine Hypothese muss mit allen bereits vorliegenden Daten zur betreffenden Fragestellung kompatibel sein, muss aber dennoch darüber hinausgehen. Eine Hypothese, die den Namen verdient, ist also aus den vorhandenen Daten nicht deduzierbar. Vielmehr enthält die Hypothesenbildung notwendig eine induktive Komponente, wodurch sie zur kreativen Spielwiese der ansonsten logisch deduktiven Naturwissenschaft wird. Hypothesen sind damit auch das Produkt von wissenschaftlicher Fantasie und Intuition, die im unvollständigen Mosaik vorhandener Daten weitere Steinchen hinzuerfinden, bis ein potenzielles Muster erkennbar wird. Aus diesem Muster eines möglichen Zusammenhangs müssen präzise Experimente ableitbar sein, die als Reality-Check der Hypothese fungieren. So sollte sich zum Beispiel das Verhalten des Systems, das man im Experiment misst, auf vorhersagbare Art verändern, wenn man eine als wichtig erkannte Komponente wegnimmt (z. B. ein Regulatortgen mutiert). Damit kann eine Hypothese bestätigt oder falsifiziert werden – wobei letzteres Ergebnis das interessantere ist, weil es darauf hinweisen kann, dass eine für das Systemverhalten auf bestimmte Weise entscheidende Komponente noch unbekannt ist. Daraufhin kann man die vorherige Hypothese modifizieren oder auch neue Hypothesen zu Natur und Funktion dieser Komponente aufstellen, die zu deren experimenteller Entdeckung führen können. Hypothesengetriebene Forschung ist damit ein reiterativer Prozess (Abb. 1A), bei dem Komponenten und Funktionsweise eines komplexen Systems sukzessive zu Tage treten – oder, um im obigen Bilde zu bleiben, das vollständige Mosaik in all seiner Substanz und Bedeutung erkennbar wird.

So weit das Prinzip. Die Praxis ist leider oft weniger eindeutig, denn ein Ergebnis kann höchstens so gut sein wie die zugrundeliegende Hypothese und die praktische Durchführung des Experiments. Eindeutige Qualitätskriterien für eine Hypothese sind, wie oben bereits angedeutet, ihre Übereinstimmung mit allen vorhandenen relevanten Daten und die Präzision ihrer Formulierung. Die Geister scheiden sich jedoch daran, ob das Ausmaß, in dem eine Hypothese über vorhandenes Wissen hinausgeht, ein Qualitätskriterium darstellt. Risikofreudigere und kreative Naturen unter den NaturwissenschaftlerInnen werden das bejahen, denn eine kühne Hypothese, die weit über den Ist-Stand der Forschung hinausgeht, ist zwar riskant, in dem unwahrscheinlichen Fall, dass sie sich als richtig herausstellt, winkt jedoch der wissenschaftliche Jackpot. Aber auch im wahrscheinlicheren Fall, dass sie sich als falsch herausstellt, kann man mit gänzlich unerwarteten Entdeckungen belohnt werden – vorausgesetzt man hält Augen und Geist offen für Neues.¹

Was die konkrete Planung und praktische Durchführung des Experiments anbelangt, kommt es angesichts der Komplexität biologischer Systeme auf viele Details an. Entscheidend ist es hierbei, die logisch richtigen Kontrollen durchzuführen. Dies zielt letztlich darauf ab, alle möglichen weiteren sich im und durch das Experiment ändernden Systemparameter als mögliche Verursacher eines gemessenen Verhaltens auszuschließen, so dass das beobachtete Ergebnis sich eindeutig auf die Variation eines einzigen Parameters zurückführen lässt. Wenn das gelingt, sollten ein Experiment und sein Ausgang strikt reproduzierbar sein – und erst wenn dies der Fall ist, dürfen Schlussfolgerungen gezogen werden. Allerdings leben auch ExperimentatorInnen in einer realen Welt, in der Menschen trotz allen Trainings ihre Pipetten nicht auf exakt die gleiche Art halten, im gleichen Bild unterschiedliche Dinge sehen oder auch das verwendete Wasser aus der Wasseraufbereitungsanlage vielleicht nicht jeden Tag exakt die gleiche Zusammensetzung hat ... Derartige versteckte und oft triviale Ursachen für unerwartete Ergebnisse – im Laborjargon oft unkorrekterweise als „Artefakte“ bezeichnet – gefährden die Reproduzierbarkeit und damit auch die Schlussfolgerungen aus Experimenten. Diese aufzuspüren und dabei Triviales von Interessantem zu unterscheiden, verlangt viel Erfahrung und gehört als notorisches Troubleshooting zur Aufgabe von ExperimentatorInnen.

Schließlich darf gesagt werden, dass der Mensch sich leider auch oft selbst im Weg steht, indem er oder sie emotional zu sehr an

1 Wie es Enrico Fermi auf den Punkt gebracht hat: „If the result confirms the hypothesis, then you’ve made a measurement. If the result is contrary to the hypothesis, then you have made a discovery“ (zitiert in Jevremovic [2005: 397]).

einmal aufgestellten Hypothesen hängt und von diesen ungern lassen mag, weil darin bereits sehr viel Arbeit steckt oder ein Sinneswandel die eigene Eitelkeit ankratzen könnte. Das gilt nicht nur für einzelne WissenschaftlerInnen, sondern auch für wissenschaftliche Gemeinschaften oder „Denkkollektive“, die sich oft lange und selbst beim Auftreten von eindeutigen Widersprüchen sträuben, einmal in ihrem Kreis anerkannte „Denkstile“ und Theorien über Bord zu werfen (Fleck 2011, Kuhn 1967). Zudem sehen es junge wissenschaftliche MitarbeiterInnen oft als ihren Auftrag an, Hypothesen zu „beweisen“. Zu den schönsten Erfahrungen wissenschaftlicher MentorInnen gehört es, betrubten NachwuchswissenschaftlerInnen, die sich mit der Aussage, das Experiment habe „nicht geklappt“, bei ihnen einfinden, zu zeigen, dass ein unerwartetes Ergebnis ihres Experiments möglicherweise eine neue Tür aufstößt – wenn man denn bereit ist, das Neue zu sehen und umzudenken.

Das bisher Gesagte könnte den Eindruck erwecken, dass hypothesengetriebene Forschung schwierig und fehleranfällig ist. Richtig ist, dass sie eine intellektuelle Herausforderung darstellt und sowohl Erfahrung und Kreativität als auch die Fähigkeit zur Selbstkritik benötigt, dann aber zu wissenschaftlichen Fortschritten sowie gelegentlich zu wirklich großen Entdeckungen führt. Gelingt dies, kann sie WissenschaftlerInnen größte persönliche Befriedigung vermitteln. Das Bewusstsein, etwas in der Natur verstanden zu haben, was vermutlich nie jemand zuvor in diesem Universum gewusst und begriffen hat, kann ein erleuchtungsähnliches Gefühl vermitteln, das durchaus süchtig machen kann.

Datenerhebung durch nichthypothesengetriebenes Experimentieren

Der rasante technische Fortschritt hat der Molekularbiologie vor allem in den letzten zwei Jahrzehnten auch nichthypothesengetriebenes Experimentieren ermöglicht. Hierbei werden möglichst viele meist quantitative Daten einer bestimmten Art erzeugt, was mit dem klassischen molekularbiologischen Methodenspektrum oder aber durch ein inzwischen weitgehend technisch automatisiertes Hochdurchsatzexperimentieren (*High Throughput*) mit sogenannten *-omics*-Verfahren geschehen kann. Dazu gehören die Sequenzierung ganzer bakterieller oder sonstiger Genome (*Genomics*) oder sogar sämtlicher DNA in mikrobiellen Gemeinschaften (*Metagenomics*), diverse Verfahren zur quantitativen Auslesung sämtlicher RNA-Transkripte unter diesen oder jenen experimentellen Bedingungen (*Transcriptomics*), die komplette Darstellung und

Quantifizierung aller jeweils vorhandenen Proteine (*Proteomics*), der Nachweis sämtlicher möglicher Interaktionen zwischen allen Proteinen einer Zelle oder gar einer Spezies (*Interactomics*), die Identifizierung und Quantifizierung sämtlicher jeweils vorhandener kleiner Moleküle (*Metabolomics*) und Ähnliches mehr. Auf die experimentelle Datenerhebung folgt dann die Suche nach assoziativen Mustern mit statistisch-bioinformatischen Verfahren, die auf mögliche biologische Zusammenhänge hinweisen könnten. Experimentelle Hochdurchsatzdaten sollten auch in internet-zugängliche Datenbanken eingegeben werden, um damit allen ForscherInnen zur Auswertung und Weiterverwendung zur Verfügung zu stehen.

Der nichthypothesengetriebene Einsatz von Hochdurchsatztechnologien hat es ermöglicht, den Fokus von einzelnen molekularen Zusammenhängen auf die Gesamtsystemebene zu verschieben, womit sich eine meist *-omics*-getriebene Systembiologie entwickelt hat, die vor allem zu ihrem Beginn etwa vor der Jahrtausendwende den Anspruch erhob, die hypothesengetriebene „Schrebergartenbiologie von gestern“² hinter sich zu lassen. Interessanterweise scheint sich aber die Zeit, in der reine Beschreibungen von *-omics*-Datensätzen in Top-Journals publiziert werden können, inzwischen ihrem Ende zuzuneigen. Daten – selbst in riesigen Mengen – sind nun mal nicht Wissen und schon gar nicht Erkenntnis und statistische Assoziationen geben keine Auskunft über kausale Zusammenhänge, auch wenn sie leider oft als solche missinterpretiert werden. Zudem verstecken sich auch in dieser vermeintlich nicht durch Hypothesen, sondern datengetriebenen Forschung tatsächlich Hypothesen über die Natur der Daten und ihre potenziellen Zusammenhänge und damit auch über die Adäquatheit des technischen Vorgehens, denn all dies entscheidet, welche Daten wie erhoben werden. Ein wenig thematisierter Nachteil der molekularbiologischen Big-Data-Biologie ist auch die Tatsache, dass die teuren und oft mit nur an wenigen Orten vorhandenen Spezialmaschinen durchgeführten Hochdurchsatzexperimente kaum jemals andernorts reproduziert werden. Ein gewisser Prozentsatz der in Hochdurchsatz-Datenerhebungen gefundenen Assoziationen sind aber zufällig, das heißt sie reflektieren keinen oder nur einen sehr entfernten, indirekten funktionellen Zusammenhang und würden bei Wiederholung unter bereits leicht variierenden Bedingungen nicht mehr auftreten. Außerdem wissen WissenschaftlerInnen, die die betreffenden Datenbanken nutzen, selten genau, wie und mit welchen impliziten Annahmen die von

2 Der geschätzte Kollege, von dem diese Formulierung stammt, dürfte es inzwischen vorziehen, dafür nicht mehr zitiert zu werden – allerdings ist das Bild zu schön, um hier nicht genannt zu werden.

ihnen weitergenutzten Datensätze oder auch Materialkollektionen (z. B. geordnete Stammsammlungen mit Mutationen in sämtlichen Genen einer Spezies) experimentell erzeugt wurden. Praktisch bedeuten diese Unsicherheiten, dass man extrem viel Zeit damit verbringen kann, letztlich falschen Spuren nachzugehen, wenn man bestimmte statistische Assoziationen mechanistisch weiter aufklären oder in anderen Laboren erzeugte Hochdurchsatz-Materialkollektionen weiter verwenden will. Dennoch sind qualitativ sorgfältig erhobene große Datensätze und darin herauslesbare statistische Assoziationen in der Molekularbiologie eine äußerst nützliche Quelle für die Bildung neuer Hypothesen.

Die bisherige Erfahrung mit jahrelanger Anwendung von *-omics*-Technologien zeigt schließlich, dass maximaler Throughput in der systematischen Datengewinnung notwendigerweise auf Kosten der Komplexität des dabei eingesetzten experimentellen Messverfahrens geht – wenn man 5.000 Mutanten unter jeweils Hunderten von Bedingungen untersucht, ist technisch kaum anderes möglich als automatisiert wenig aussagekräftige Wachstumsraten zu messen (Brochado/Typas 2013). Ein besseres Kosten-Nutzen-Verhältnis, und zwar sowohl konzeptionell, technisch wie finanziell, scheint eine Medium-Throughput-Datengewinnung mit etwas komplexeren Messverfahren zu bieten, die bereits erste Hinweise auf molekular-mechanistische Zusammenhänge geben können (Sarenko et al. 2017).

In-silico-Experimentieren durch mathematische Simulation

Sind eine gewisse Menge von relevanten Daten vorhanden und damit grundlegende Zusammenhänge in einem biologischen System, beispielsweise in einem komplexen regulatorischen Netzwerk (Alon 2007), erkannt oder zumindest als substanzielle Hypothesen formulierbar, wird eine mathematische Modellierung und Simulation des Systemverhaltens prinzipiell möglich. Analog zu *in vitro* (lat. für im (Reagenz-)Glas) bezeichnet man solche Verfahren auch als „*in silico*“-Experimente – nach Silicium, dem zentralen Material, aus dem Computerchips gefertigt werden. Wie viel Vorwissen vorhanden ist, bestimmt dabei, welches mathematische Verfahren adäquat ist, wobei auch Kombinationen dieser Verfahren möglich sind. Die Palette reicht hier von (i) der logischen Analyse von nur *On/off*-Zuständen aller bekannten Systemparameter (Thomas/D'Ari 1990), womit man immerhin nicht mögliche Systemzustände ausschließen kann, aber ansonsten noch sehr viele Freiheitsgrade im Modell hat, über (ii) stochastische, mit kinetischen

Wahrscheinlichkeiten operierende Verfahren (Menz et al. 2012) bis zur (iii) kontinuierlichen deterministischen Modellierung (Shinar/Feinberg 2012), für die Bindungs- und Reaktionskonstanten und möglichst auch Ausgangswerte sämtlicher Systemkomponenten bekannt oder zumindest sinnvoll abschätzbar sein sollten.

Steht ein erstes mathematisches Modell, kann das damit simulierbare mit dem experimentell gemessenen Systemverhalten verglichen werden. Deutliche Unterschiede weisen auf noch nicht erkannte Komponenten oder Interaktionen hin, wobei Simulationsläufe mit systematisch variierten einzelnen Systemparametern Hinweise darauf geben können, wo eine wie agierende Komponente fehlen könnte. Derartiges Experimentieren *in silico* liefert also neue oder modifizierte Hypothesen, die sodann in gezielten Experimenten weiter untersucht werden können. Die mathematische Simulation des Verhaltens eines biologischen Systems bietet außerdem manchmal den Vorteil, dass im Modell Komponenten eliminiert werden können, die sich im realen Lebewesen nicht durch Mutationen ausschalten lassen, weil sie lebensnotwendige Gene bzw. Proteine betreffen. Die Simulation *in silico* kann hierbei zeigen, warum eine solche Komponente systemrelevant und damit lebensnotwendig ist.

Die Erschließung von wissenschaftlichem Neuland als ein alle Strategien kombinierender langfristiger Prozess

Die aktuelle molekularbiologische Forschung hat inzwischen die Phase eines Glaubenskrieges zwischen Anhängern des hypothesen- und des nichthypothesengetriebenen Experimentierens hinter sich gelassen. Vielmehr werden diese beiden Ansätze heute in der Erschließung wissenschaftlichen Neulands produktiv kombiniert und durch mathematische Modellierung ergänzt. Der sich so ergebende Erkenntnisprozess stellt im Grunde eine Erweiterung des reiterativen hypothesengetriebenen Forschens dar (Abb. 1B). Dabei bestimmen eine generelle Fragestellung und damit verbunden eher globale und zunächst noch wenig explizite Hypothesen, welche initialen systematischen Datensets experimentell erhoben werden, die zur Grundlage von spezifischeren Fragestellungen und Hypothesen werden, aus denen sich wiederum präzise Einzelexperimente ableiten lassen. Ab einem gewissen Erkenntnisstand wird eine mathematische Simulation möglich, die zu weiteren präzisen Hypothesen führen kann, die sodann wiederum experimentell oder *in silico* getestet werden.

Insgesamt wird damit bei der explorativen Erschließung von wissenschaftlichem Neuland eine flexibel dem jeweiligen Stand der

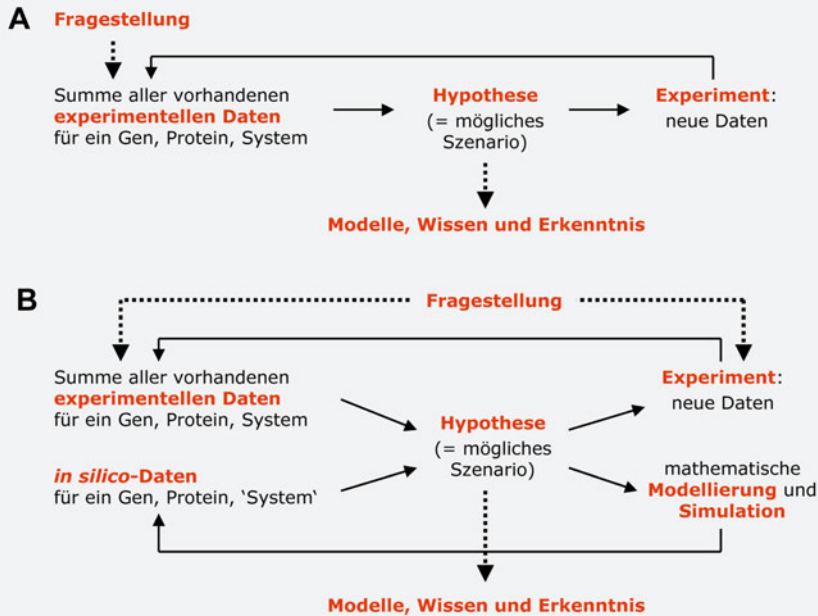


Abb. 1. Experimentelle Vorgehensweise in der molekularbiologischen Grundlagenforschung. Verglichen werden die klassische hypothesengetriebene Forschungsstrategie (A) mit der zeitgenössischen explorativen Strategie (B).

Erkenntnis angepasste Kombination von konzeptionellen und experimentellen Phasen und Verfahren benützt. Insbesondere wenn eine Ausgangsfragestellung weit über den zum Zeitpunkt ihrer Formulierung bekannten Kenntnisstand hinausgreift, kann ein derart intellektuelles Neuland erschließendes Projekt durchaus zehn bis zwanzig Jahre dauern und über diese Zeit mehrere Dutzend Doktoranden und Postdoktoranden beschäftigen. Angesichts solcher Zeiträume ist eine sinnvolle Aufteilung in viele einzelne deutlich kurzfristigere Drittmittelprojekte und Publikationen nötig, ohne die ein solches Unternehmen in der Molekularbiologie auch gar nicht finanzierbar wäre. Insbesondere die zur Beantwortung von Teilfragestellungen nötigen, auch maschinell aufwendigeren Techniken erfordern zudem Kooperationen mit unterschiedlichen Spezialisten in wechselnden Konstellationen. All dies ist Herausforderung und Chance zugleich für leitende WissenschaftlerInnen – einerseits kann und muss man eine große Fragestellung

entwickeln, deren Lösung hinter dem derzeitigen wissenschaftlichen Horizont liegt und in der Verfolgung dieser Vision konzeptionell auf Kurs bleiben, andererseits gilt es aber, nicht nur ständig neue Erkenntnisse, sondern auch sich rasant weiter entwickelnde experimentelle Techniken, insbesondere zur Erzeugung und Auswertung großer Datenmengen, flexibel zu integrieren.

Literatur

- Alon, Uri (2007): *An introduction to systems biology: design principles of biological circuits*. London: Chapman & Hall/CRC.
- Brochado, Ana Rita und Typas, Athanasios (2013): „High-throughput approaches to understanding gene function and mapping network architecture in bacteria“, in: *Current Opinion in Microbiology* 16 (2), S. 199–206.
- Fleck, Ludwik (2011): *Denkstile und Tatsachen (Gesammelte Schriften und Zeugnisse)*. Berlin: Suhrkamp.
- Jevremovic, Tatjana (2005): *Nuclear Principles in Engineering*. New York: Springer.
- Kuhn, Thomas (1967): *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Menz, Stephan; Latorre, Juan C.; Schütte, Christof und Huisinga, Wilhelm (2012): „Hybrid stochastic-deterministic solution of the Chemical Master Equation“, in: *Multiscale Modeling and Simulation* 10 (4), S. 1232–1262.
- Popper, Karl (1935): *Logik der Forschung: Zur Erkenntnistheorie der modernen Naturwissenschaft*. Wien: Springer.
- Sarenko, Olga; Klauck, Gisela; Wilke, Franziska M.; Pfiffer, Vanessa; Richter, Anja M.; Herbst, Susanne; Kaever, Volkhard und Hengge, Regine (2017): „More than enzymes that make and break c-di-GMP – the protein interaction network of GGDEF/EAL domain proteins of *Escherichia coli*“, in: *mBio* 8, S. e01639–17.
- Shinar, Guy und Feinberg, Martin (2012): „Concordant chemical reaction networks“, in: *Mathematical Bioscience* 240 (2), S. 92–113.
- Thomas, René und D'Ari, Richard (1990): *Biological Feedback*. London: CCR Press.

Kontrollieren

Laborexperimente in der wirtschafts- wissenschaftlichen Forschungspraxis

Juliane Haus

In den Naturwissenschaften gelten Experimente als der Königsweg für die kausale Analyse von Untersuchungszusammenhängen, auch in den Sozialwissenschaften spielen sie eine große Rolle. Laborexperimenten wird dabei das höchste Maß an interner Validität der Ergebnisse zugesprochen. Den Grund dafür bilden die Laborbedingungen, unter denen die Experimente durchgeführt werden und in welchen durch spezifische Verfahren ein hohes Maß an Standardisierung und Kontrolle in der Erhebungssituation realisiert werden kann. Der Artikel widmet sich den Besonderheiten der Forschungspraxis der experimentellen Wirtschaftsforschung im Labor aus einer ethnografischen Perspektive.¹

Ganz allgemein basieren Experimente in der wirtschaftswissenschaftlichen Forschung auf der Herstellung einer mikroökonomischen Umwelt, in der Akteure bestimmte Entscheidungen treffen müssen. Im Zuge der Datenerhebung werden dabei quantifizierbare Daten produziert, welche anschließend einer statistischen Analyse unterzogen werden können. In der Konzeption der Experimente und ihrer Analyse werden die Entscheidungssituationen der Akteure in einer mathematisch-formalisierenden Weise gefasst. Damit die Ergebnisse von der eigenen Forschungscommunity als wertvoll und valide betrachtet werden, müssen die Forschenden bei der Durchführung von Laborexperimenten spezifische Wissenschaftskriterien erfüllen.

In einem ersten Schritt wird in diesem Beitrag kurz auf die Entwicklung der experimentellen Wirtschaftsforschung eingegangen, um daran anschließend grundlegende paradigmatische Annahmen und Konzepte vorzustellen, die die wirtschaftswissenschaftliche Forschung im Labor prägen. In einem zweiten Abschnitt thematisiert der Artikel die Forschungspraxis von ökonomischen Laborexperimenten anhand der Darstellung eines typischen Experimentablaufs.

1 Die Perspektive, aus der diese Darstellung erfolgt, ist orientiert dem Vorgehen der „fokussierten Ethnografie“ (Knoblauch 2001). Von den methodischen Herausforderungen der qualitativen Untersuchung der Forschungspraxis ökonomischer Laborexperimente habe ich bereits in zwei Artikeln (publiziert in Böhme, 2015, 2016) berichtet.

Aufgrund des hohen Komplexitätsgrads ökonomischer Phänomene ist die Wirtschaftswissenschaft traditionell – sowohl in ihrer Selbst- als auch in ihrer Fremdwahrnehmung – als eine nichtexperimentelle Wissenschaft betrachtet worden. Sie verlegte sich zur Prüfung ihrer Modelle auf die Beobachtung realer Wirtschaftsprozesse und auf die vergleichende statistische Analyse (Samuelson/Nordhaus 1985). Friedman und Sunder (1994: 122 f.) verweisen darauf, dass ein zentraler Aspekt der Etablierung der experimentellen Methode in einem Wandel der vorherrschenden Paradigmen in der ökonomischen Forschung gesehen werden kann. Die mathematisch-formalisierende Darstellung ökonomischer Phänomene und Prozesse ermöglichte eine neuartige Weise der Problemlösung. Zugleich wandten sich Forschende verstärkt mikroökonomischen Fragestellungen zu, welche das Entscheidungsverhalten von Menschen in wirtschaftlich relevanten Situationen zu ihrem Gegenstand machte. Die Anwendung mathematisch-spieltheoretischer Modelle erlaubte dabei eine Reduktion der Komplexität der realweltlichen Phänomene und machte diese abbild- und berechenbar. Einher ging damit zugleich eine Erhöhung der Transparenz der Annahmen und Paradigmen, denen die jeweiligen Konzepte folgten, da diese in der mathematischen Schreibweise klar und eindeutig formuliert werden mussten. Mittels der Spieltheorie wurden die Konzepte zunehmend ausgebaut und auch konkurrierende theoretische Konzepte zur Beschreibung und Analyse von Phänomenen entwickelt. Mittels Experimenten bot sich nun die Chance, begründete Argumente für oder gegen spezifische theoretische Positionen und Annahmen bereitzustellen. Die leitende Frage war dabei stets, welches theoretische Konzept die Ergebnisse eines einfachen Experiments am besten vorhersagen konnte (Plott 1991: 906). Erst im Entstehen eines theoretischen und konzeptionellen Pluralismus lag somit die Chance der Etablierung der Methode des Experiments.

Im Folgenden werden drei ausgewählte Aspekte der Konzeption ökonomischer Laborexperimente vorgestellt, die die Forschungspraxis sowie die Konzeption der Experimente zentral prägen.

Das Framing von Entscheidungssituationen

Das klassische Akteursmodell der Ökonomie ist der Homo oeconomicus. Bereits frühe psychologische Experimente verwiesen jedoch darauf, dass das beobachtbare Verhalten der Versuchspersonen gemessen am „Ideal“ des Homo oeconomicus häufig nicht rational ist (Simon 1957). Die Psychologen Daniel Kahneman und Amos Tversky belegten durch ihre experimentellen Studien die

Relevanz des Simonschen Konzeptes der begrenzten Rationalität für die Erklärung des Entscheidungsverhaltens von Versuchspersonen in Experimenten. Die Anerkennung der begrenzten Rationalität der Handelnden bedeutet jedoch nicht, dass das Rationalitätskonzept als Grundlage ökonomischer Konzepte außer Kraft gesetzt worden wäre. Ein zentraler Untersuchungsgegenstand (verhaltens-) ökonomischer Experimente sind gerade Anomalien im individuellen Entscheidungsverhalten rationaler Akteure (vgl. Thaler 1991, Camerer 2003). Zur Erklärung dieser Abweichungen werden psychologische Grundlagen individuellen Handelns einbezogen, welche in ökonomischen Entscheidungssituationen als wirksam erachtet werden. Diese Studien bildeten einen zentralen Anstoß für die Beschäftigung mit psychologischen Aspekten der Entscheidungsfindung in der Ökonomie und ihre experimentelle Erforschung und legten einen Grundstein für die Ausbildung des Forschungszweiges der experimentellen Verhaltensökonomie.²

Für die Forschungspraxis bedeutsam sind insbesondere die Arbeiten von Kahneman und Tversky (1981, 1986) zu Framingeffekten in Experimenten. Sie zeigten in ihren Experimenten zum *Asian-Disease-Problem*, dass signifikante Unterschiede in den Entscheidungen der Versuchspersonen auf unterschiedliche Formulierungen der Entscheidungssituation zurückgeführt werden können. Dies galt auch für die Fälle, in denen die rein rechnerische Beurteilung der Spielsituationen zu gleichen Ergebnissen führen würde. Der verhaltensökonomische Begriff des Framings fußt auf diesen Erkenntnissen von Kahneman und Tversky. Das Konzept geht davon aus, dass die Semantik einen deutlichen Einfluss auf die Entscheidungsfindung von wirtschaftlich Handelnden haben kann (Camerer 1995). Framingeffekte werden auch als Darstellungseffekte bezeichnet. Diese Erkenntnisse erweisen sich als folgenreich für die Durchführung von Experimenten, da die schriftlichen Instruktionen als zentrales Mittel zur Darstellung und Einführung der Spielsituation sowie der spezifischen Regeln des jeweiligen Experiments betrachtet werden. Im Zuge der Konzeption und Replikation von Experimenten widmen die Forschenden sich gewissenhaft der Formulierung der Instruktionen und sind bei Replikationen bestehender Experimente bemüht, auch die Instruktionen möglichst wenig abzuwandeln.

2 Dieser Bereich der ökonomischen Forschung wird vielfach mit dem Begriff des „Nudging“ verbunden und ist nicht zuletzt durch den Nobelpreis, der 2017 Richard Thaler verliehen wurde, gerade äußerst populär.

Vernon Smith und die induzierte Werttheorie

Ein zentrales Charakteristikum von ökonomischen Laborexperimenten besteht in der entscheidungsabhängigen Bezahlung der teilnehmenden Versuchspersonen. Die Begründung für den Einsatz von monetären Anreizen, die als Grundpfeiler von ökonomischen Experimenten gelten, basiert dabei auf Smith' „Induzierter Werttheorie“ (Smith 1976). Smith argumentiert hier, dass man durch die Schaffung eines geeigneten Anreizsystems (*Incentives*) die Motive der TeilnehmerInnen im Experiment kontrollieren und so die Versuchspersonen dazu zu bewegen kann, bestimmte vorselektierte Merkmale anzunehmen. Für das Wirken des genutzten Anreizsystems müssen Smith zufolge drei Grundbedingungen erfüllt sein:

Die erste Bedingung besteht in der *Monotonie* des Nutzens. Gemeint ist damit, dass die TeilnehmerInnen stets ein Interesse daran haben müssen, mehr von der Belohnung zu erhalten, die ihnen in Aussicht gestellt wird. Es muss aus diesem Grund eine Belohnung gewählt werden, bei der keine Sättigung eines Bedürfnisses auftritt, damit sie nicht im Verlauf des Experiments ihre Wirkung verliert.

Eine zweite Bedingung besteht darin, dass der Anreiz dauerhaft und stetig wirken muss. Dieser Aspekt wird als die *Salienz* des Nutzens bezeichnet. Im Unterschied zu Experimenten in der psychologischen Forschung erhalten TeilnehmerInnen in ökonomischen Experimenten keinen festen Geldbetrag, sondern ihre Bezahlung erfolgt entscheidungsabhängig.

Als dritte Bedingung muss die Belohnung im Experiment eine *Dominanz* gegenüber allen subjektiven Kosten der TeilnehmerInnen besitzen. Durch ihren Einsatz soll es somit gelingen, potenziell wirkende Störeffekte, etwa einen Demandeffekt gegenüber den Forschenden, Hunger oder Langeweile, zu dominieren.

Monetäre Incentives sind aus der Perspektive der ökonomisch Forschenden am besten geeignet, diese Bedingung zu erfüllen. Die monetäre Motivation wird bewusst eingesetzt, um andere Reize zu überlagern. Üblicherweise erhalten die Versuchspersonen ihren erspielten Gewinn am Ende des Experiments in bar ausgezahlt. Jedoch nicht erst im Experiment selbst wird auf die Wirkung des monetären Incentives gesetzt, sondern bereits beim Anwerben von Teilnehmenden für die Laborexperimente wird durch Slogans wie „Spielend Geld verdienen“ auf diesen Aspekt hingewiesen. Zugleich wird der Verlust der erspielten Gewinne auch gezielt als Sanktionsandrohung eingesetzt, um die Versuchspersonen von Zuwiderhandlungen gegenüber den aufgestellten Regeln abzuhalten. Aufgrund dieser Vorteile stellt der Einsatz von monetären

Incentives inzwischen den Standard in der Forschungscommunity dar. Wenn die Art des Incentives nicht selbst den Gegenstand der Untersuchung bildet, führt eine Abweichung von diesem Standard zu maßgeblichen Problemen hinsichtlich der Anerkennung der Forschungsergebnisse und ihrer Publikation in wirtschaftswissenschaftlichen Fachzeitschriften.

Die Forschungspraxis in ökonomischen Laborexperimenten

Meine Befragungen von Forschenden, die wirtschaftswissenschaftliche Laborexperimente durchführen, ergaben, dass die zentralen Anliegen bei der Konzeption von Laborexperimenten darin bestehen, eine Vergleichbarkeit der Experimente zu ermöglichen und die Versuchspersonen zu optimalem Verhalten zu motivieren. Mehrere Aspekte dienen dabei der Hervorbringung einer Situation, die den methodologischen Anforderungen an eine Laborsituation Rechnung trägt. In der empirischen Umsetzung dieses Anspruchs wird versucht, vielfältige Elemente und Handlungsschritte zu standardisieren. Die folgende Darstellung widmet sich verschiedenen Aspekten dieser Standardisierungsbemühungen.

Diese beginnen bereits mit der Rekrutierung und Einladung der Versuchspersonen. Für diese wird im beobachteten Labor die Software ORSEE (Greiner 2015) eingesetzt, um die Prozesse zu organisieren und zu standardisieren. Interessierte Versuchspersonen tragen sich hier in eine Onlinedatenbank ein und erhalten per Mail eine persönliche Einladung zu stattfindenden Experimenten. Der Pool von ProbandInnen umfasste zum Zeitpunkt der Beobachtungen etwa 4.000 Personen. Vorrangig handelt es sich dabei um Studierende. Es wird stetig versucht, neue (potenzielle) Teilnehmende zu akquirieren. Die große Anzahl durchgeführter Experimente bedingt allerdings, dass viele ProbandInnen bereits an verschiedenen Experimenten teilgenommen haben und aus diesem Grund selbst spezifische Wissensbestände und Erwartungen hinsichtlich des Ablaufs der Experimente besitzen.

Räumliche und materielle Struktur des Laborraums

Den Aussagen der wirtschaftswissenschaftlich Forschenden zufolge wird das materielle Umfeld des Labors von ihnen als neutraler Raum verstanden. Ihnen ist durchaus bewusst, dass das Experimentallabor ein sehr spezielles und artifizielles Setting ist. Mit seiner Beschreibung als „neutral“ geht es ihnen um die Kennzeichnung der Tatsache, dass der Raum von allen ProbandInnen auf die gleiche Art und Weise verstanden werden kann und für alle die gleiche räumliche Entscheidungsbasis bietet und so dem Anspruch des

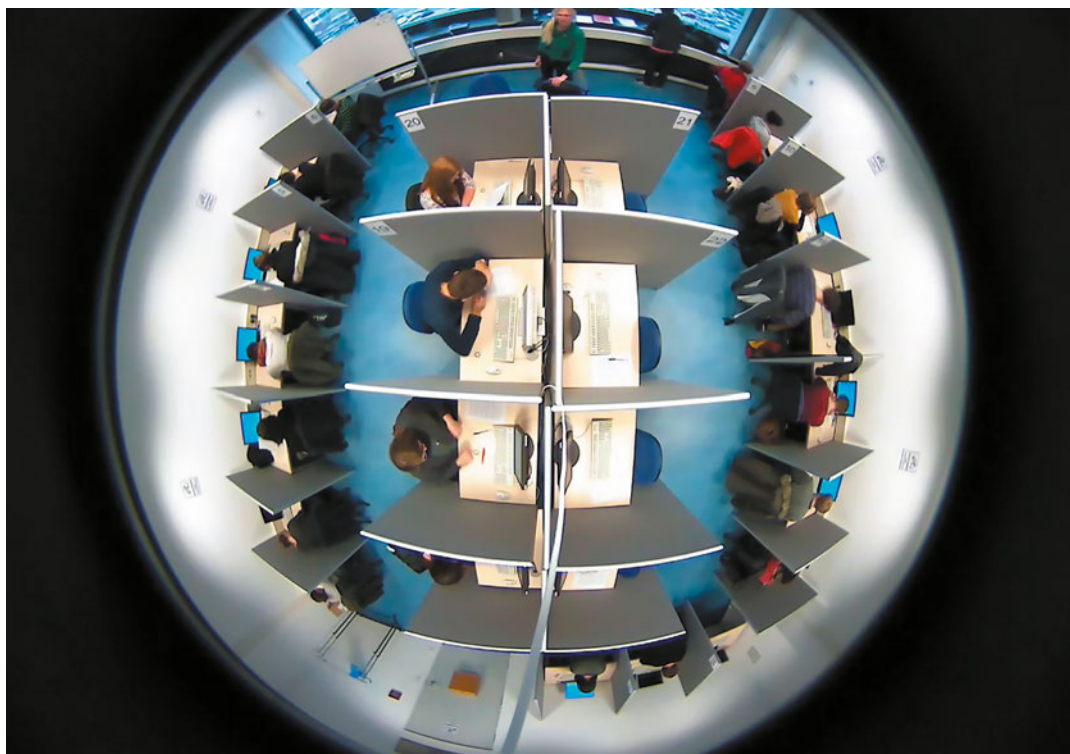


Abb. 1. Labor als Ganzes.

Konstanthaltens der Randbedingungen der Erhebung entspricht. Das Labor besitzt eine spezifische Raumstruktur, die die Möglichkeiten des interaktiven Austauschs zwischen den Handelnden beeinflusst und begrenzt. Abb. 1 und 2 vermitteln einen Eindruck des beobachteten Labors. Durch die Nutzung von grauen Trennwänden wurden im Laborraum 25 einzelne Kabinen geschaffen, die als Arbeitsplätze für die VersuchsteilnehmerInnen dienen. Die Kabinen sind jeweils von drei Seiten geschlossen und können somit nur von einer Seite aus betreten werden. Der Gang zwischen den Arbeitsplätzen ermöglicht es den ProbandInnen, ihre Arbeitsplätze zu erreichen, und den ExperimentatorInnen, an die einzelnen Arbeitsplätze heranzutreten oder im Vorbeigehen einen Blick auf die Bildschirme der Probanden zu werfen. Bei der Durchführung der Experimente wird großer Wert auf die Gleichartigkeit der Ausstattung der einzelnen Arbeitsplätze gelegt. Alle verfügen über einen Desktopcomputer, einen gleichartigen Tisch sowie einen Computerbildschirm, eine Tastatur und eine Computermaus. Im oberen Teil des Laborraums befindet sich zudem ein separater Sitzbereich für die Labormitglieder, von welchem aus sie die für das

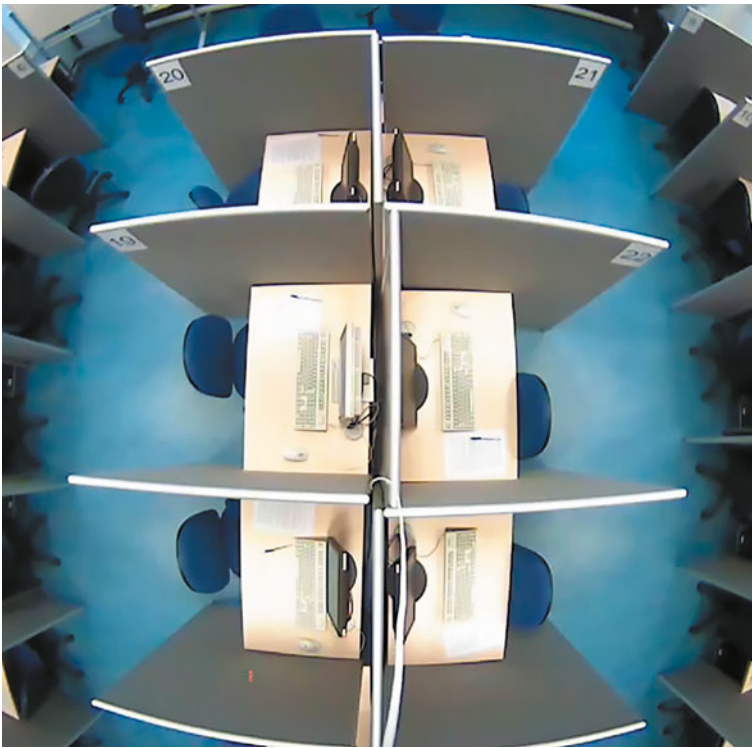


Abb. 2. Die Laborarbeitsplätze.

Experiment benötigten Programme starten und den Ablauf des Experiments überwachen können.

Durch das Setting werden einerseits eine körperliche Kopräsenz der ProbandInnen und ExperimentatorInnen und zugleich ihre visuelle Separierung von- und untereinander ermöglicht. Es erfolgt eine räumliche Vereinzelung der ProbandInnen in den Kabinen. Die materielle Struktur des Laborraums hat hier entscheidenden Anteil an der Induzierung charakteristischer Rahmungselemente. So wird den Versuchspersonen beispielsweise im Rahmen der Experimente Anonymität hinsichtlich ihrer Entscheidungen und der Rolle zugesichert, die sie im Experiment einnehmen. Durch die auch von ihnen selbst wahrgenommene visuelle Abschirmung der Versuchspersonen voneinander erleben sie diese Grundlage als zumindest räumlich gesichert.

Die technischen Möglichkeiten des Settings nutzend, erfolgt die Datenerhebung in den Experimenten computergestützt. Der Einsatz von speziellen Softwareprogrammen im Rahmen der Experimente dient dem Ziel, eine Standardisierung der Kommunikation mit den ProbandInnen zu erleichtern, und bietet den

Mitgliedern des Laborteams die Möglichkeit, die Abläufe im Labor zu überwachen. Weitverbreitet und auch im beobachteten Labor priorisiert genutzt ist die Software z-tree (Fischbacher 2007). Der sequenzielle Ablauf der einzelnen Handlungsschritte kann dabei durch die Programmierung festgelegt werden. Wenn mehrere Versuchspersonen in einer Gruppe zusammenspielen, werden sowohl die Rollenzuweisung als auch die sequenzielle Koordination des Zusammenspiels der Gruppe mittels der Programmierung der Software in die Experimente eingepflegt. Auf diese Weise wird zudem eine Vermittlung kommunikativer Handlungen über den begrenzten Sozialraum der Arbeitskabinen hinweg realisiert. Auch die Replikation einer Versuchsanordnung kann durch die erneute Nutzung eines programmierten Treatments in technischer Hinsicht deutlich vereinfacht werden. Forschende berichteten zudem in den gemeinsamen Gesprächen, dass sie einen entscheidenden Vorteil des Einsatzes der Software darin sehen, dass die Daten der Erhebungen nach Abschluss der Experimente direkt in gleichartiger und digitaler Form zur Verfügung stehen und für die Analyse genutzt werden können.

Nachfolgend wird der typische Ablauf eines ökonomischen Labor-experiments dargestellt. Die Darstellung ist das Ergebnis einer Synthese aus teilnehmenden Beobachtungen und beobachtender Teilnahme bei der Durchführung von vierzig Experimenten im untersuchten Experimentallabor.

Vor Beginn des Experiments finden sich alle Versuchspersonen vor dem Laborraum ein. Nachdem sie sich als Eingeladene ausgewiesen haben, ziehen sie aus einem Stoffbeutel verdeckt einen kleinen Holzchip mit der Nummer ihres Sitzplatzes. Durch dieses „Losverfahren“ vollzieht sich die zufällige Sitzplatzzuweisung, da weder die Versuchspersonen noch die Labormitglieder die Nummer des gezogenen Chips beeinflussen können. Auch für die VersuchsteilnehmerInnen wird hier erfahrbar, dass die Labormitglieder keinen Einfluss auf ihre konkrete Sitzplatzpositionierung nehmen können. Alle Versuchspersonen treten nun nach und nach ein und setzen sich an den Platz mit der auf dem Spielchip angegebenen Nummer. An den Arbeitsplätzen liegen jeweils einige Blätter mit den schriftlichen Instruktionen für das Experiment. Die am Experiment beteiligten Mitglieder des Laborteams betreten ebenfalls den Laborraum und versammeln sich an einem separaten Tisch am Kopfende des Labors. Von dort aus können sie auf einem Computerbildschirm die für das Experiment benötigten Programme starten, den Ablauf des Experiments überblicken und im Bedarfsfall in das Geschehen eingreifen.

Haben alle Versuchspersonen Platz genommen, werden die Versuchspersonen begrüßt und über die drei zentralen Regeln für ihr Verhalten im Labor informiert. Erstens ist den Teilnehmenden untersagt, mit anderen Teilnehmenden zu kommunizieren. Zweitens ist ihnen nicht erlaubt, andere technische Geräte oder Programme des Computers zu nutzen. Und drittens dürfen Fragen von den Teilnehmenden nicht laut gestellt werden, sondern müssen durch Handzeichen angezeigt werden. Im Zuge dieser Belehrung werden die Versuchspersonen darauf aufmerksam gemacht, dass sie bei Zuwiderhandlung den Verlust ihrer erspielten Gewinne riskieren und womöglich das Labor verlassen müssen. Am Ende der Begrüßung werden die Teilnehmenden aufgefordert, mit dem Lesen der Instruktionen zu beginnen.

Während die Versuchspersonen die Instruktionen lesen, achten die anwesenden Mitglieder des Laborteams darauf, ob jemand ein Handzeichen gibt. Sieht ein Mitglied des Laborteams eine erhobene Hand, so begibt es sich umgehend dorthin und beantwortet die Frage in einem persönlichen und leisen Zwiegespräch. Diese spezifische Art, mit Fragen der Versuchspersonen umzugehen, unterstützt einerseits das Konstanthalten der Untersuchungsbedingungen und zugleich die soziale Vereinzelung. Die anderen Versuchspersonen sollen von den Fragen und Problemen der Einzelnen möglichst weder in Kenntnis gesetzt noch irritiert werden. Die Versuchspersonen sollen sich nicht als Mitglieder einer sozialen Gruppe fühlen, sondern als einzelne und anonyme Entscheider. Auch hier zielt das Vorgehen der Labormitglieder auf die Minimierung von Störeinflüssen ab, die die Datenerhebung verzerren könnten. Nur wenn die Mitarbeitenden des Laborteams den Inhalt für allgemein relevant halten, werden die Frage und ihre Antwort für die Allgemeinheit der Anwesenden wiederholt. Nachdem alle Versuchspersonen signalisiert haben, dass sie das Lesen der Instruktionen beendet haben, beginnt der für die Datenerhebung relevante Teil des Experiments.

Die Teilnehmenden sollen dabei den schriftlichen Instruktionen und zusätzlichen verbalen Anweisungen der Forschenden Folge leisten. Die Inhalte der einzelnen Experimente sind jeweils von den spezifischen Fragestellungen abhängig. Teile des Experiments beinhalten jedoch stets die Bearbeitung von Aufgaben am Computerbildschirm. Die Eingabemöglichkeiten für die Teilnehmenden werden dabei durch die programmierte Computeroberfläche begrenzt und damit zugleich der Spielraum für abweichendes oder unerwünschtes Verhalten. Die Analyse des Entscheidungsverhaltens der ProbandInnen beruht dabei auf den Eingaben, die sie an

den Computern tätigen. Zeitgleich besteht die Aufgabe der anwesenden Labormitglieder in der Überwachung des Laborgeschehens. Mittels der eingesetzten Software können sie von ihrem Arbeitsplatz aus den Arbeitsfortschritt der Versuchspersonen an einem Übersichtsbildschirm verfolgen und situationsspezifisch entscheiden, wann es notwendig wird einzugreifen, um den Fortschritt oder die geplante Durchführung zu unterstützen.

Zum Abschluss des Experiments werden die Teilnehmenden gebeten, am Computer einen Standardfragebogen auszufüllen, mittels dessen eine Reihe von grundlegenden demografischen Informationen (Alter, Studienfach, Semesteranzahl) erfasst werden. Im Anschluss wird ihnen ihr erspielter Gewinn mitgeteilt, welchen sie in ein Quittungsformular eintragen. In einem Nebenraum werden den Versuchspersonen darauf jeweils einzeln ihre erspielten Geldbeträge ausgezahlt.

Fazit

Wirtschaftswissenschaftliche Laborexperimente sind soziale Prozesse, die durch ein komplexes Zusammenspiel von technischen bzw. materiellen Elementen und der Interaktion zwischen ProbandInnen und Labormitgliedern hervorgebracht werden. Wie die Darstellung zeigte, ist die Forschungspraxis ökonomischer Laborexperimente stark durch vielfältige Standardisierungsbemühungen gekennzeichnet. Beispiele dafür bilden die klare Gliederung des Laborgeschehens, die spezifische Art der randomisierten Platzzuweisung, die materielle Struktur des Labors und die visuelle Abschirmung der Versuchspersonen voneinander, die wiederholte Kommunikation der zentralen Verhaltensregeln sowie der Einsatz spezifischer Softwareprogramme. Sprache, Texte, Materialitäten und aktive Bildschirmoberflächen, mit denen die Versuchspersonen interagieren müssen, zeigen dabei die große Varianz der Formen und Medien kommunikativen Handelns, die in diese Standardisierungsbemühungen einbezogen werden. Der monetäre Anreizmechanismus wird nicht nur gezielt eingesetzt, um das Entscheidungsverhalten der Teilnehmenden zu testen. Er dient darüber hinaus einerseits als Sanktionsandrohung für deviantes Verhalten und zugleich als Anregung und positive Bestärkung für das Befolgen der Verhaltensregeln der Forschenden. Ein charakteristisches Moment der Handlungsprozesse im Labor ist das Bestreben der Mitglieder des Laborteams, die Situation im Labor so weit wie möglich zu kontrollieren und die angestrebte Durchführung und die Einhaltung der Standards in der Datenerhebung auf performative Weise durch ihre Handlungen zu unterstützen. In diesem

Rahmen werden die Handlungsspielräume der Versuchspersonen gezielt begrenzt, um auf diese Weise eine Fokussierung auf ökonomische Aspekte der Entscheidungssituation zu lenken und andere Deutungen der Situation zu erschweren.

Die Grundlage für diese Studie bot ein interdisziplinäres Projekt, welches am Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung durchgeführt wurde. Mein herzlicher Dank gilt Prof. Dr. Michael Hutter und Prof. Dr. Dorothea Kübler sowie den Projektkollegen und Mitgliedern des Laborteams.

Literatur

- Böhme, Juliane (2015): „Doing‘ Laborexperimente: Eine ethnomethodologische Betrachtung der Praxis experimenteller Wirtschaftsforschung im Labor“, in: *Berliner Journal für Soziologie* 25 (1–2), S. 33–59.
- Böhme, Juliane (2016): „Kombination von Grounded Theory und Ethnomethodologie“, in: Equit, Claudia und Hohage, Christoph (Hg.): *Handbuch Grounded Theory. Von der Methodologie zur Forschungspraxis*. Weinheim/Basel: Beltz Juventa, S. 342–360.
- Camerer, Colin F. (1995): „Individual Decision Making“, in: Kagel, Jon. H. und Roth, Alvin E. (Hg.): *The handbook of experimental economics*. Princeton/New York: Princeton University Press, S. 587–703.
- Camerer, Colin F. (2003): *Behavioral game theory: Experiments in strategic interaction*. New York: Princeton University Press.
- Falk, Armin (2001): „Wissenschaft für die Praxis – Wirtschaftswissenschaftliche Experimente: Homo Oeconomicus auf dem Prüfstand“, in: *Wirtschaftsdienst – Zeitschrift für Wirtschaftspolitik* (1949–2007), 81 (5), S. 300–304.
- Fischbacher, Urs (2007): „z-Tree: Zurich Toolbox for Ready-Made Economic Experiments“, in: *Experimental Economics*, 10 (2), S. 171–178.
- Friedman, Daniel und Sunder, Shyam (1994): *Experimental methods: A primer for economists*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Greiner, Ben (2015): „Subject Pool Recruitment Procedures: Organizing Experiments with ORSEE“, in: *Journal of the Economic Science Association* 1 (1), S. 114–125.
- Kahneman, Daniel und Tversky, Amos (1981): „The Framing of Decisions and the Psychology of Choice“, in: *Science*, New Series, 211 (4481), S. 453–458.
- Kahneman, Daniel und Tversky, Amos (1986): „Rational choice and the framing of decisions“, in: *Journal of business* 59 (2), S. 251–278.
- Knoblauch, Hubert (2001): Fokussierte Ethnographie, in: *Sozialer Sinn* 2 (1), S. 123–143.
- Plott, Charles (1991): „Will Economics Become an Experimental Science?“, in: *Southern Economic Journal* 57 (4), S. 901–919.
- Samuelson, Paul A. und Nordhaus, William D. (1985): *Principles of Economics*. Boston et al.: McGraw-Hill/Irwin.
- Simon, Herbert (1957): „A Behavioral Model of Rational Choice“, in: Ders.: *Models of Man, Social and Rational: Mathematical Essays on Rational Human Behavior in a Social Setting*. New York: Wiley.
- Smith, Vernon. L. (1976): „Experimental economics: Induced value theory“, in: *The American Economic Review*, Vol. 66, Nr. 2, S. 274–279.
- Smith, Vernon. L. (1992): „Game theory and experimental economics: beginnings and early influences“, in: *History of Political Economy*, Jg. 24 (Nr. 5), S. 241–282.
- Thaler, Richard H. (1991): *The Winner’s Curse: Paradoxes and Anomalies of Economic Life*. Princeton: Princeton University Press.

Messen

Ein Bericht aus der Physikforschung

Interview mit Norbert Koch

Norbert Koch ist Professor für Struktur, Dynamik und elektronische Eigenschaften molekularer Systeme am Institut für Physik der Humboldt-Universität zu Berlin und war Principal Investigator am Exzellenzcluster *Bild Wissen Gestaltung*. Die HerausgeberInnen haben ihn im Mai 2018 in seinem Labor in Adlershof besucht, um mit ihm über sein Verständnis und seine Praxis des Experimentierens in der interdisziplinären Entwicklung neuer Materialien zu sprechen.

Hrsg.: Können Sie uns den typischen Ablauf eines Experiments beschreiben?

Norbert Koch: Meistens geht es uns darum, das Verhalten eines neuen Materials oder ein neues Zusammenspiel bekannter Materialien zu verstehen, die eine gewisse Funktion im optoelektronischen¹ Kontext erfüllen sollen. Im Labor versuchen wir eine künstliche Situation herzustellen, die geeignet ist, möglichst alle Parameter des Materials unter Kontrolle zu haben. Dieses Material wird dann mit einer Vielzahl von physikalischen und chemischen Analysemethoden untersucht, wobei es darum geht, dass wir bei jedem Schritt genau sagen können, was wir untersuchen – im Idealfall bis auf die Position jedes einzelnen Atoms genau.

Kann man das so genau wissen?

Man kann das durchaus wissen: für die begrenzten Volumina des Experiments und auch nur für den Moment der Messung. Es ist aber auch vollkommen klar, dass sich im Laufe der Zeit das Material ändert. Diese Dynamik eines natürlichen Materials sehen wir uns im Zeitraffer an.

Wenn wir dann genau wissen, was das Material ausmacht, welche Struktur es hat, dann können wir die Eigenschaften untersuchen, die relevant für Elektronik und Optoelektronik sind. Das sind in erster Linie der Ladungsträgertransport, die Struktur von elektronischen Zuständen und die optoelektronische Funktion,

1 Halbleiterelektronik, die Daten in Licht umwandelt (z. B. in die Pixel in Computerbildschirmen) oder Licht in Daten umwandelt (z. B. in die Informationen des Lichtsensors in einer Digitalkamera).

sprich: Was ist die Wechselwirkung des Materials mit Licht oder mit Licht und Strom gemeinsam?

Wie stellen Sie sicher, dass Sie wirklich das Material untersuchen, das Sie untersuchen wollen, und nicht vielleicht eine Verunreinigung?

Zunächst muss das Material sehr kontrolliert hergestellt werden. Moleküle werden zum Beispiel von unseren Kollegen in der organischen Chemie hergestellt. Sie setzen dabei Standardverfahren ein, die genau festlegen, wie das Material aufgereinigt, wie die einzelnen Molekülsorten sortiert werden und wie das Material abgefüllt wird. So erhalten wir ein Material, bei dem wir eine Reinheit von 99 oder 99,99 Prozent messen können, und dann lassen wir unsere Methoden darauf los.

Aber Sie haben vollkommen Recht: Das Wichtigste dabei ist es, eben nicht zu glauben, dass eine Reinheit von 99,99 Prozent bedeutet, dass man die Eigenschaften von hundertprozentigem Material misst. Nein, man misst dann tatsächlich immer die Eigenschaften dieser 99,99 Prozent plus was auch immer die Verunreinigung ist. Und das kann manchmal für die Eigenschaften dominierend sein. Kennen Sie dieses Gerät, das vor uns auf dem Tisch liegt [dort liegt ein digitales Aufnahmegerät]? In jedem Computer befindet sich ein Siliziumchip. Silizium wird mit bestimmten Atomen dotiert und nur das macht die Funktionalität zum Schluss aus. Wir reden hier nicht mehr von 0,01 Prozent Unreinheit, sondern von ein paar Einheiten per Million oder per Trillion. Dennoch dominieren hier diese minimalen Unreinheiten sogar die gewünschten Eigenschaften des Materials.

Wie beginnt Ihre Suche nach bestimmten Materialeigenschaften? Gibt es einen konkreten Anwendungsfall oder suchen Sie zum Beispiel einfach nach einem Material, das besser leitet, und finden später den Anwendungsfall dafür?

Meistens sind wir auf der Suche nach konkreten Eigenschaften, um bekannte Probleme mit Bauelementen, ihrer Anwendung oder ihrer Herstellung zu lösen. Zum Beispiel versuchen wir die Energieeffizienz von Bildschirmen zu erhöhen. Da ist ein riesiges Potenzial vorhanden. Es gibt natürlich auch ein bisschen „Blue-Sky-Research“, bei dem es wirklich nur um grundlegende Eigenschaften von Materie geht. Aber für uns geht es vor allem um eine potenzielle Anwendung, die aber absolut wahnsinnig sein kann, von der man gar nicht weiß, ob sie jemals auf den Markt kommen wird.

Gibt es einen Unterschied zwischen diesen beiden

Experimentalkulturen, zwischen diesen beiden Vorgehen?

Manchmal im Selbstverständnis der Individuen, aber nicht grundlegend. Die Forscherinnen und Forscher, die es dann ganz richtig machen, die mischen.

Wie verstehen Sie in Ihrer Forschung das

Wechselverhältnis zwischen Experiment und Theorie?

Ohne Theorie ist unsere Forschung undenkbar. Das ist ganz klar. Die Frage ist jeweils nur, ob wir dominant induktiv oder deduktiv vorgehen.

Gibt es in Ihrer Forschung eine gewisse kulturelle

Präferenz für deduktives oder induktives Vorgehen?

Gibt es so etwas wie den richtigen Weg in Ihrer

Experimentalkultur?

Darüber denke ich oft nach. Das ist ja auch ein Henne-Ei-Problem. Man startet nicht bei null, denn es gibt schon sehr viele Theorien. Und was bezeichnet man denn jetzt wirklich als Theorie? Vielleicht sollte man sich zurückziehen auf das, was so gut wie möglich gesichert ist? Ich glaube, zunächst reicht es aus zu wissen, welche Wechselwirkungen wir kennen, denen jeweils eine Theorie zugrunde liegt. Dann kommt oben drauf die Quantenphysik, die sich mit den allermeisten dieser Theorien verbinden lässt – wenn auch nicht vollständig, weil die Gravitation da noch außen vor steht. Damit lässt sich mein Experiment ausreichend gut beschreiben, da ich weiß, dass die Gravitation bei meinen Experimenten so gut wie keine Rolle spielt.

Von diesem Punkt aus starte ich das Experiment und versuche es mit diesen Theorien zu beschreiben, was klappen kann oder eben nicht. Dann stellt sich heraus, wie gut mein Wissen und mein Verständnis der Theorien sind. Das Entwickeln neuer Theorien sehe ich aber nicht als Teil unseres Feldes an. Wir entwickeln neue Methoden zur Anwendung der Theorie. Mit Methoden meine ich: Wie kann ich die doch recht komplexen Theorieformulierungen auf etwas Konkretes anwenden? Wie kann ich diese Formulierungen in der Anwendung numerisch vernünftig lösen – analytisch geht es ja meistens nicht. Das wird oftmals schon auch als Theorie bezeichnet, ist aber nicht notwendigerweise die Weiterentwicklung der Theorie, sondern eine Möglichkeit, die Theorie sinnvoll anzuwenden.

Wie würden Sie das Verhältnis zwischen Experiment und Beobachtung beschreiben?

Aus meiner Sicht ist das zunächst etwas ganz Einfaches: Die Beobachtung ist etwas Passives, das Experiment ist etwas Aktives. Natürlich geht das Hand in Hand. Man kann das eine nicht vom anderen trennen. Denn Beobachtungen sind immer Teile eines Experiments. Aber Beobachtung alleine ist immer etwas Passives. Da bekomme ich nur eine Antwort auf die Frage „Was passiert?“ und nicht auf die Frage „Was passiert, wenn ...?“

Also, Beobachtung ist: Ich greife nicht in etwas ein, sondern ich schaue mir etwas an. Und das kann eine Messung, eine visuelle Beobachtung oder das Erstellen von Statistiken sein. Aber das ist nichts Aktives.

Aber vielleicht ist das auch ein bisschen überspitzt gesagt, denn durch reines Beobachten kann ich durchaus auch Korrelationen herstellen und damit hätte ich dann die Antwort auf die Frage „Was ist, wenn ...?“. Ich kann aber durch reines Beobachten selten viele Parameter kontrollieren. Ziel des Experiments ist es, eine eindeutige Frage zu beantworten. Das schaffe ich nur, wenn ich möglichst alle Parameter, die mir bekannt sind, kontrollieren kann. Und das kann ich bei der reinen Beobachtung ja selten. So sind für mich die Unterschiede sehr, sehr klar. Da stelle ich mir gar nichts Konkretes vor. Ich rede jetzt von Wissenschaft allgemein.

Und wie ist es denn konkret in der Physik? Gibt es da ein spezielles Verständnis von Experiment oder sogar speziell im Fach der molekularen Elektronik?

Ein solches spezielles Verständnis sehe ich überhaupt nicht, denn das Ziel ist das gleiche. Wozu dient ein Experiment? Eben dazu, unter kontrollierten Bedingungen Antworten auf eine Frage zu generieren. Meistens ist es eine Frage, die am Anfang steht. Die Frage kann ich nur dann haben, wenn ich etwas nicht verstehe. Das entwickelt sich natürlich im Laufe der Zeit, aber immer wieder, egal woran ich arbeite, komme ich an einen Punkt, wo ich etwas nicht verstehe, zum Beispiel getrieben durch Beobachtungen, die andere KollegInnen in ihren Experimenten gemacht haben und die sie auch nicht verstanden haben.

Ich arbeite im Bereich der optoelektronischen Bauelemente und dort stellt man sehr oft fest, dass man durch reines Engineering, also einfach durch Permutation von verschiedenen Parametern, das momentan beste Bauelement findet. Warum es dann so toll funktioniert, kann selten jemand sagen.

Diese Entwicklung geht im Allgemeinen sehr schnell, aber irgendwann steht sie vor einer Mauer, die sich nicht mehr durchdringen lässt. Durch reine Variation der Parameter, die bekannt sind, lässt sich das Bauelement nicht mehr verbessern. An dem Punkt muss man sagen: „Jetzt muss ich wirklich verstehen, warum dieses Bauelement das beste ist.“ Dann können wir beispielsweise probieren, von der atomistischen Struktur kommend aufzuklären, warum dieses Bauelement in der Konfiguration mit diesen Materialien am besten funktioniert. Dann hat man es verstanden und die Mauer überwunden und kann von dort aus weitergehen.

Ich stelle mir vor, dass diese Mauer oft auch nicht überwunden, sondern als Problem veröffentlicht wird, das dann wiederum von anderen Laboren aufgegriffen wird. Wäre der erste Teil trotzdem als eigenständiges Experiment zu verstehen?

Ja, durchaus. Das ist schon ein Experiment. Das liefert mir zwar noch nicht die Antwort auf meine Frage und ich muss dann viele weitere Experimente machen, um zur Antwort zu gelangen. Andererseits ist es auch üblich, viele Einzelexperimente als ganzes großes Experiment zu bezeichnen. Das alles lässt das Wort „Experiment“ zu. Aber es kommt wirklich drauf an, ob ich danach schon einen Ausgang gefunden habe und was ich als Teil des Experimentierens verstehe und was nicht. Wie gesagt, ich kann das von sehr klein bis sehr groß fassen.

Haben Sie bereits Erfahrung mit interdisziplinären Experimenten gemacht? Ich habe auf Ihrer Website gelesen, dass Chemie und Elektronik die Disziplinen sind, mit denen Sie am meisten zusammenarbeiten. Fällt Ihnen da vielleicht ein Experiment ein, das Sie beschreiben könnten?

Das wäre dann eben ein Experiment, das größer gefasst ist. Gehen wir einmal von einer Idee aus: Welche Art von Bauelement hätte ich gerne? Was soll das können? Dann können wir sagen, welche Eigenschaften das Material haben soll, zum Beispiel einen besonders schnellen Ladungsträgertransport oder besonders starke Lichtemission. Um diese Eigenschaften zu erreichen, setzen sich dann drei Leute aus den Disziplinen Physik, Chemie und Elektrotechnik zusammen und diskutieren das Problem. Der eine sagt: „Das und das brauchen wir, damit das Bauelement gut funktioniert.“ Dann kann ich sagen: „Naja, aus dem, was ich über die grundlegenden Eigenschaften von Materialien weiß, müsste man die und die kombinieren. Dafür bräuchte ich allerdings eine

bestimmte Molekülsorte, die speziell dafür geeignet ist.“ Dann kommt der Chemiker ins Spiel und lacht mich meistens aus und sagt: „Das können wir aber nicht bauen.“

Das iterieren wir so lange, bis die KollegInnen aus der Chemie sagen: „Ja, das können wir wahrscheinlich synthetisieren.“ Und dann startet diese große gemeinsame Aktion, indem ChemikerInnen zunächst mal einen Weg finden, die Synthese dieses Moleküls zu realisieren. Dann kommt das zu uns und wir schauen nach, ob es wirklich die grundlegenden Eigenschaften hat, die wir erwartet haben. Wenn sich das bestätigt, baut die Elektrotechniklerin daraus ein Bauelement und schaut, ob tatsächlich das Ziel erreicht wurde.

Wird die Fragestellung gemeinsam entwickelt oder gibt es vielleicht eine Disziplin, die sozusagen eine Leitfrage hat, der sich die anderen unterordnen?

Das passiert im Wechselspiel. Tatsächlich kommt es vor, dass die wichtigste Idee dazu aus der Elektrotechnik kommt. Alles Weitere folgt darauf. Natürlich haben auch ChemikerInnen eine Ahnung von Bauelementen. Und dann kommt – weil man sich ja dauernd unterhält – aus der Chemie so eine Idee: „Achtung, ich hab da eine Idee für ein Molekül, es kann das und das. Könnte man nicht mal schauen, ob sich das sinnvoll als Bauelement umsetzen lässt?“ Oder die Idee kommt aus der Mitte heraus.

Das heißt, dass etwas komplett gemeinsam entwickelt wird?

Ideen blitzen einfach auf, hier oder da. Im Gespräch zwischen zweien oder dreien, wenn sie nur lang genug an einem Tisch sitzen. Das kann natürlich nur im direkten und ungezwungenen Austausch erfolgen und das erfordert nun mal körperliche Präsenz. Über alle anderen Kommunikationsmethoden, die wir so kennen, funktioniert das nicht in dieser Intensität. Zumindest für mich nicht. Die besten Ideen hatten wir nur, wenn wir wirklich zusammensaßen, zum guten Teil auch im Gasthaus.

Deshalb ist es auch wichtig, dass bereits im Studium die Leute aus unterschiedlichen Disziplinen viel Zeit zusammen im Labor verbringen und so lernen, sich miteinander zu unterhalten.

Interdisziplinär zu arbeiten ist für mich das Natürlichste der Welt. Man muss aber eine gemeinsame Sprache finden. Das dauert zwar etwas, aber meistens ist das Interesse so groß, dass man es doch tut.

Die Arbeit am Antrag des Exzellenzclusters fand ich mitunter am interessantesten. Denn hier kamen 25 Principal Investigators aus 23 Disziplinen zusammen und jeder brachte seine eigene Sprache mit. Hier eine gemeinsame Sprache zu finden, verlangt von jedem ein Geben und Nehmen – das war das eigentlich Spannende zu der Zeit.

Waren Sie in Situationen, in denen es schwierig war, sich mit Leuten aus anderen Disziplinen zu verständigen?

Ich hatte nie ein Problem, mich mit jemandem aus einer anderen Disziplin zu verständigen. Ich denke jetzt spontan an Architektur, Kunstgeschichte und Kulturwissenschaften. Mit denen habe ich im Cluster am meisten interagiert.

Haben Sie schon von dem neuen IRIS-Forschungsbau gehört? Das ist tatsächlich als Experiment angelegt gewesen. Die Fragestellung dabei war: Wie muss ein Forschungsbau für die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Physik und Chemie und Elektrotechnik untereinander und mit Angehörigen anderer Disziplinen aussehen, damit die Arbeit möglichst produktiv ist bzw. möglichst viel Spaß macht? Für mich ist das synonym. Also haben sich Leute aus der Architektur, Kunstgeschichte, Kulturwissenschaften, Physik und Chemie zusammengefunden und beschlossen, ein Experiment daraus zu machen. Die Hypothese war: Es gibt oder es gibt nicht Richtlinien, wie man einen Bau gestalten muss, damit es möglichst produktiv wird. Dann realisieren wir diesen Bau nach diesen Maßgaben – wenn es sie gibt – und schauen uns an, ob die Arbeit wirklich produktiver geworden ist im Vergleich zu dem, wie wir sie vorher kannten. Das wäre für mich ein Experiment.

Also haben wir uns gemeinsam auf den Weg gemacht und uns angeschaut, wie verschiedene Laborbauten der Welt, die an interdisziplinären Forschungsthemen arbeiten, gestaltet sind. Wie sehen diese Bauten aus? Wie agieren die Leute darin und welche Wünsche oder Probleme haben sie? Idealerweise wurden diese Befragungen unabhängig von Alter und kulturellem Hintergrund durchgeführt. Tatsächlich wurden daraus einige Richtlinien abgeleitet, die in dem von Charlott Klonk herausgegebenen Buch *New Laboratories. Historical and Critical Perspectives on Contemporary Developments* zu finden sind.

Von diesem Set von Richtlinien, die beschreiben, wie so ein Bau aussehen sollte, haben wir die ArchitektInnen, die diesen Bau dann geplant haben, überzeugen können. Ich fand es spektakulär, dass sie gleich eingestiegen sind. Und dann kam das große Problem, weil aus Kostengründen wieder einige Konzepte rausgestrichen werden mussten.

Ja, das ist dann das Problem der Realisierung. Am Schluss haben wir nur noch einige von diesen Richtlinien in der baulichen Gestaltung wirklich verankern können. Ein paar finden sich wieder, aber bei weitem eben nicht alle. Das finde ich extrem schade. Wenn der Bau einige Jahre in Betrieb war, wird man aber trotzdem Beobachtungen und Befragungen machen können: „Hat sich denn etwas geändert im Vergleich zu dem, wie ihr es aus anderen Bauten kennt? Was?“ Und natürlich auch eine subjektive Zufriedenheitsbefragung derer, die vielleicht gar kein anderes Labor kennen.

Wie wichtig ist es, dass in Ihren Experimenten übertragbares Wissen entsteht?

Das ist extrem wichtig. Das Erste ist: Alles muss so dokumentiert sein, dass ein Experiment in jedem beliebigen Labor der Welt nachgemacht werden kann und dieselben Resultate erzielt werden. Wenn das nicht funktioniert, gibt's ein Problem. Andere Leute wollen darauf aufbauen und versuchen zunächst einmal das publizierte Experiment zu wiederholen. Wenn mehrere Labore weltweit dieses Experiment dann nicht reproduzieren können, wird es ernst für diejenigen, die publiziert haben. Meistens stellt sich heraus, dass schlampig gearbeitet oder gar fehlerhaft publiziert wurde. Diesen Scientific Misconduct gibt es natürlich. Das macht die Dokumentation besonders wichtig.

Wobei man auch ein anderes, wenig beachtetes Problem einmal ansprechen muss: Wir machen auch viele Experimente mit einem *vermeintlichen* Negativbefund als Ergebnis. Wenn wir auf der Suche nach Materialien sind, die bestimmte Eigenschaften aufweisen sollen, finden wir auch viele Moleküle, die diese Eigenschaften eben nicht haben. Das wird sehr selten publiziert, geradezu gar nicht. Dadurch geht wirklich sehr viel Wissen den Bach runter. Das ist ein Problem, da viele Labore dieser Welt dieselben (Negativ-) Ergebnisse produzieren, die aber nicht veröffentlichen. Insofern sollte man immer überlegen, ob das Ende eines Experiments wirklich das Ende ist.

Modellieren

Virtuelle Experimente zur funktionellen Morphologie der Wirbeltiere

John A. Nyakatura und Oliver E. Demuth

Einleitung

Morphologie ist die Disziplin, die nach den Ursachen der Disparität des Lebens fragt (Richter/Wirkner 2013). Die funktionelle Morphologie hilft diese Disparitäten durch Aufklärung der Form-Funktion-Beziehungen zu verstehen und deren Evolution zu konzeptualisieren. Studien, die versuchen die funktionelle Morphologie ausgestorbener Wirbeltiere zu charakterisieren, sind darüber hinaus ein wichtiger Hinweisgeber für eine paläobiologische Rekonstruktion des Lebens auf der Erde vor hunderten von Millionen Jahren (Hutchinson 2011). Die funktionelle Analyse des Bewegungsapparates erlaubt beispielsweise Einblick in die Art und Weise, wie Lebensräume genutzt werden konnten (Rennen, Springen, Schwimmen, Graben, Klettern, Gleiten etc.) und wie verschiedene Organismen miteinander interagierten (Räuber-und-Beute-Verhältnisse, Wanderungsbewegungen etc.). Typisch für Untersuchungen der funktionellen Morphologie von rezenten (also heute lebenden) und ausgestorbenen Wirbeltieren ist unter anderem die Nutzung von bildgebenden Verfahren (z. B. Computertomografie und Laser-Oberflächen-Scanning), die ohne Zerstörung und weitgehend ohne Intervention in die Funde bzw. die beobachteten Lebewesen auskommen. Hinzu kommen eine zunehmende Virtualisierung sowie der standardmäßige Einsatz von Computermodellierungen und Simulationen, die eine Durchführung virtueller Experimente ermöglichen (z. B. Rayfield et al. 2001, Sellers et al. 2009, Allen et al. 2013, Nyakatura 2017). Hier wird zunächst die Virtualisierung funktionsmorphologischer Forschung in den Blick genommen, bevor anhand eines eigenen, interdisziplinären Forschungsprojektes die Verwendung virtueller Experimente exemplarisch vorgestellt wird. Abschließend wird der Versuch unternommen, die Rolle virtueller Experimente in der morphologischen Forschung genauer zu bestimmen.

„Revolution“ durch Virtualisierung in der Wirbeltiermorphologie

Unwiederbringliches und fragiles Fossilmaterial wird heute mittels bildgebender Verfahren visualisiert, anstatt es direkt zu präparieren

(z. B. Pierce et al. 2012). Gleiches gilt für besonders kleine oder verborgene Strukturen rezenter Tiere, die ansonsten nur invasiv untersucht werden könnten (z. B. Stoessel et al. 2016). Die Visualisierung ist verbunden mit der Möglichkeit, jede denkbare Perspektive einzunehmen, beliebig ein- und auszuzoomen, die Objekte zu drehen oder etwas per Mausklick transparent darzustellen, um darunterliegende Strukturen betrachten zu können (vgl. auch Meißner 2018). Die virtuellen, dreidimensionalen (3D) Visualisierungen des Materials werden als 3D-Modelle bezeichnet und bilden die Grundlage für experimentelle und quantitative Herangehensweisen nachfolgender funktioneller Analysen. 3D-Modelle können sehr leicht manipuliert, reproduziert und anderen Wissenschaftlern zugänglich gemacht werden (Cunningham et al. 2014). Insbesondere die Mikrofokus-Computertomografie (μ CT) hat zu einer „Revolution“ in der Wirbeltiermorphologie und -paläontologie geführt (ebd.).

Hochauflösende bildgebende Verfahren erlauben die Darstellung detaillierter Oberflächen und im Falle der μ CT sogar interner Strukturen auf dem Bildschirm (vgl. Abel et al. 2012, Mallison/Wings 2014). Zudem ermöglichen die so erfassten Objekte virtuelle Reparaturen oder die Segmentierung einzelner Skelettelemente. Ersteres findet häufig Verwendung, um fragmentarisch erhaltene fossile Knochenelemente wieder zu verbinden und plastische Deformationen zu korrigieren (vgl. Ogihara et al. 2006, Wu/Schepartz 2009, Nyakatura et al. 2015). Dazu kommen meist 3D-Softwarepakete aus der Film- und Animationsbranche zum Einsatz (z. B. Maya®, Rhino®, Blender® etc.; vgl. Gatesy/Baier 2015). Die Segmentierung erlaubt die isolierte Betrachtung und Analyse eines fossilen Knochenelements. Weiterhin kann die Gestalt der 3D-Oberflächenmodelle mathematisch untersucht werden. In multivariaten Verfahren wie der Hauptkomponentenanalyse kann überprüft werden, inwiefern die gemessenen Gestaltunterschiede eines vergleichenden Datensatzes etwa mit der Stammesgeschichte oder mit funktionellen Anforderungen im Zusammenhang mit einer bestimmten Lebensweise korrelieren. Weiterhin können 3D-Modelle durch 3D-Druckverfahren in physische Modelle überführt werden, welche beispielsweise im Ausstellungskontext Verwendung finden (Tschopp/Dzemski 2012).

Eine weitere Konsequenz dieser Revolution durch Virtualisierung ist die Möglichkeit der Durchführung virtueller Experimente (Plotnick/Baumiller 2000, Turner 2011; vgl. auch „simulierte Experimente“ in Winsberg 2003). Diese erlauben die Manipulation nur eines Parameters bei gleichzeitiger Beibehaltung der übrigen

Parameter. Die experimentierende Person hat also Kontrolle über die experimentelle Situation. Ein Beispiel für Fragestellungen, die durch Computermodelle ermöglicht werden, ist die Ermittlung der Körperformen eines ausgestorbenen Wirbeltieres auf der Grundlage gefundener Skelettteile. Durch die Modellierung einer Körperhülle können Volumen und Masse des Körpers bestimmt werden (z. B. Basu et al. 2016). Ein weiteres Beispiel ist die Finite-Elemente-Analyse, bei der die Widerständigkeit eines Skelettelementes gegen Belastungen untersucht wird (z. B. Rayfield et al. 2001). Auch der Bewegungsumfang in einem Gelenk kann mittels eines Computermodells überprüft werden (z. B. Pierce et al. 2012). Ein virtuelles Experiment zur Form-Funktions-Beziehung von Skelettmuskulatur wurde von den Autoren und weiteren Kooperationspartnern am Cluster *Bild Wissen Gestaltung* durchgeführt. Das Projekt wurde durch eine Zusammenarbeit zwischen einem Gestalter (mit Spezialisierung im Bereich Wissensvisualisierung) und einem Wirbeltiermorphologen ermöglicht, da es sowohl Know-how der Gestaltungstechniken im Bereich des computergenerierten Bildes und der Animation als auch morphologische Expertise notwendig machte.

Ein virtuelles Experiment zur Optimierung der Muskelhebelarme bei der Fortbewegung des Brillenkaimans

Die Fortbewegung der Landwirbeltiere wird ermöglicht durch koordinierte Aktivität von Muskeln, welche am Skelett ansetzen und dieses in Bewegung setzen. Es wurde gezeigt, dass die extrinsische Gliedmaßenmuskulatur, welche die Beine mit dem Rumpf verbindet, für die Erzeugung des Vortriebs besonders wichtig ist (Fischer et al. 2002, Ashley-Ross 1994). Die Funktionsweise der Muskeln wird dabei auf unterschiedlichen Ebenen durch deren morphologische Eigenschaften beeinflusst: Innervierung und differenzielle Aktivierung der Fasern erlaubt eine funktionelle (und räumliche) Kompartimentierung eines Muskels (Scholle et al. 2005), während Unterschiede in der Muskelfasertypenzusammensetzung (Schilling 2011) und architektonische Eigenschaften des Muskels wie Faserlänge und -orientierung die potenzielle Krafterzeugung maßgeblich bestimmen (Lieber/Fridén 2000). Eine weitere die Muskelarbeit bestimmende Größe ist der Hebelarm eines Muskels zum Gelenk, welches durch den Muskel bewegt wird, denn das erzeugte Drehmoment im Gelenk ergibt sich aus dem Produkt der vom Muskel erzeugten Kraft und der Länge des Hebelarms (Visser et al. 1990). Daraus folgt, dass bei einer entsprechenden Verlängerung des Hebelarms dasselbe Drehmoment mit einer geringeren Krafterzeugung des Muskels hervorgerufen werden kann (also

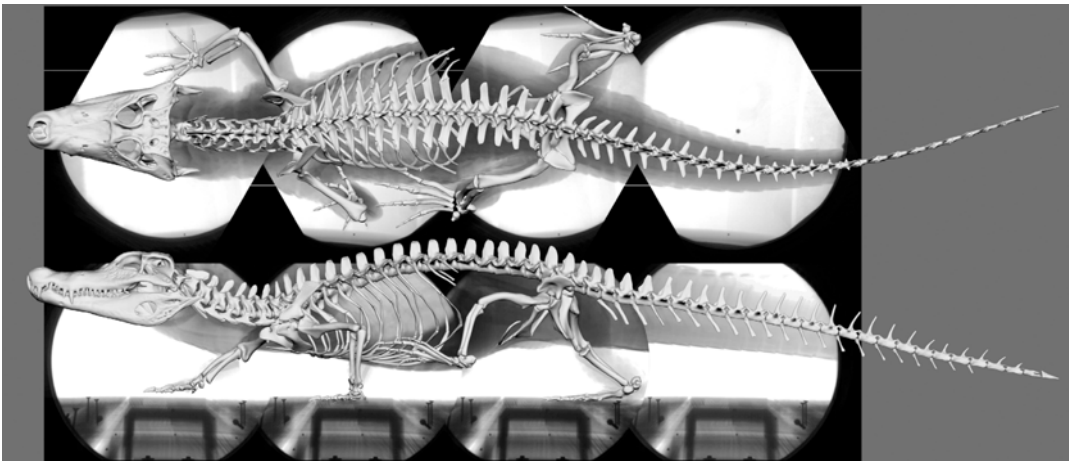


Abb. 1. Überlagerung der Röntgenbilder mit dem animierten 3D-Skelett eines Brillenkaimans.

weniger metabolische Energie aufgewendet werden muss). Aus diesem Grund spiegelt die Lage der Muskelursprünge und -ansatzflächen und damit der Abstand zu den Gelenken häufig die Anpassung der Wirbeltiere an bestimmte Lebens- und Verhaltensweisen wider, die mit der Anforderung beispielsweise einer besonders großen Krafterzeugung einhergehen (z. B. Elissamburu/De Santis 2011). Muskelhebelarme sind aber von der Orientierung der Skelettelemente zueinander abhängig (das heißt, sie verkürzen oder verlängern sich bei Gelenkbewegungen wie Streckung, Beugung und Drehung) und können daher zu unterschiedlichen Zeitpunkten des zyklischen Bewegungsablaufs während der Fortbewegung vorteilhafte und unvorteilhafte Werte für die Drehmomenterzeugung annehmen (Visser et al. 1990, Hutchinson et al. 2005). Um eine energiesparende Fortbewegung zu ermöglichen, kann also erwartet werden, dass für die Aktivitätsphasen eines Muskels während des Bewegungsablaufs sein Hebelarm optimiert, also besonders lang ist. Für die Rekonstruktion der Fortbewegung ausgestorbener Wirbeltiere lässt sich aus dieser Annahme die Hypothese ableiten, dass Bewegungsabläufe und Körperhaltungen, welche eine Optimierung der Hebelarme ermöglichen, als wahrscheinlicher angenommen werden können als diejenigen Bewegungsabläufe, die zu unvorteilhaften Hebelarmen führen (Hutchinson et al. 2005).

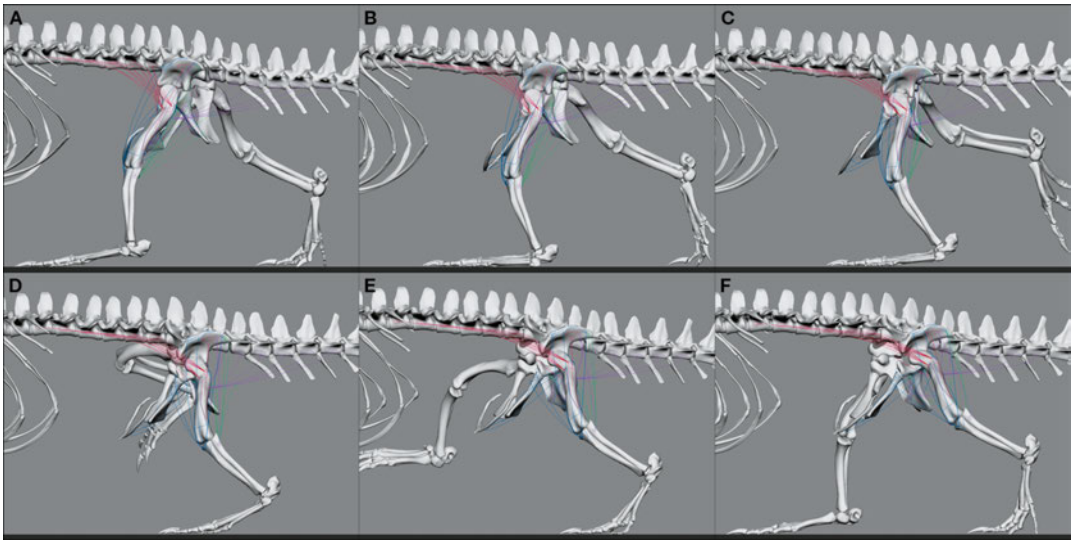


Abb. 2. Modellierung der extrinsischen Muskulatur der Hintergliedmaßen des Brillenkaimans während der Stemmphase des linken Beines (Zeitpunkte in Prozent des Laufzyklus (A) 0, (B) 10, (C) 20, (D) 30, (E) 40 und (F) 50).

Das virtuelle Experiment zur Überprüfung der dieser Hypothese zugrunde liegenden Annahme basierte auf einer präzisen Animation der skelettalen Bewegungen eines Brillenkaimans während der Fortbewegung (Abb. 1). Die Animation wurde auf Basis von Röntgenvideos lebender Kaimane, die einen Blick unter Haut und Muskulatur ermöglichen, und darauf projizierter Knochenmodelle erzeugt. Ein idealisierter Bewegungsablauf des circa einen Meter langen Krokodils wurde durch eine Montage von einzelnen Röntgenvideosequenzen erzeugt (diese Röntgenvideomontage wurde hergestellt durch Jonas Lauströer und Oliver E. Demuth). Die Knochenmodelle wurden mittels CT-Aufnahmen derselben Art erzeugt, wobei Oberflächenmodelle segmentierter Skelettelemente in der Spezialsoftware Amira® erstellt und anschließend in die Animationssoftware Maya® überführt wurden. Für jeden Zeitpunkt des Bewegungsablaufs wurden nun die Knochenmodelle auf den Röntgenshatten angepasst, um eine präzise Animation der Fortbewegung zu erhalten.

Für das eigentliche virtuelle Experiment wurde die Animation anschließend mit der Funktion versehen, den Abstand der Bauchseite zum Untergrund systematisch variieren zu können. Dabei wurden die Auf- und Abfußpositionen beibehalten (das heißt, die Trittsiegel der virtuellen Fährte blieben unverändert). Dies führte zu Veränderungen des Bewegungsablaufs der Beine und damit auch

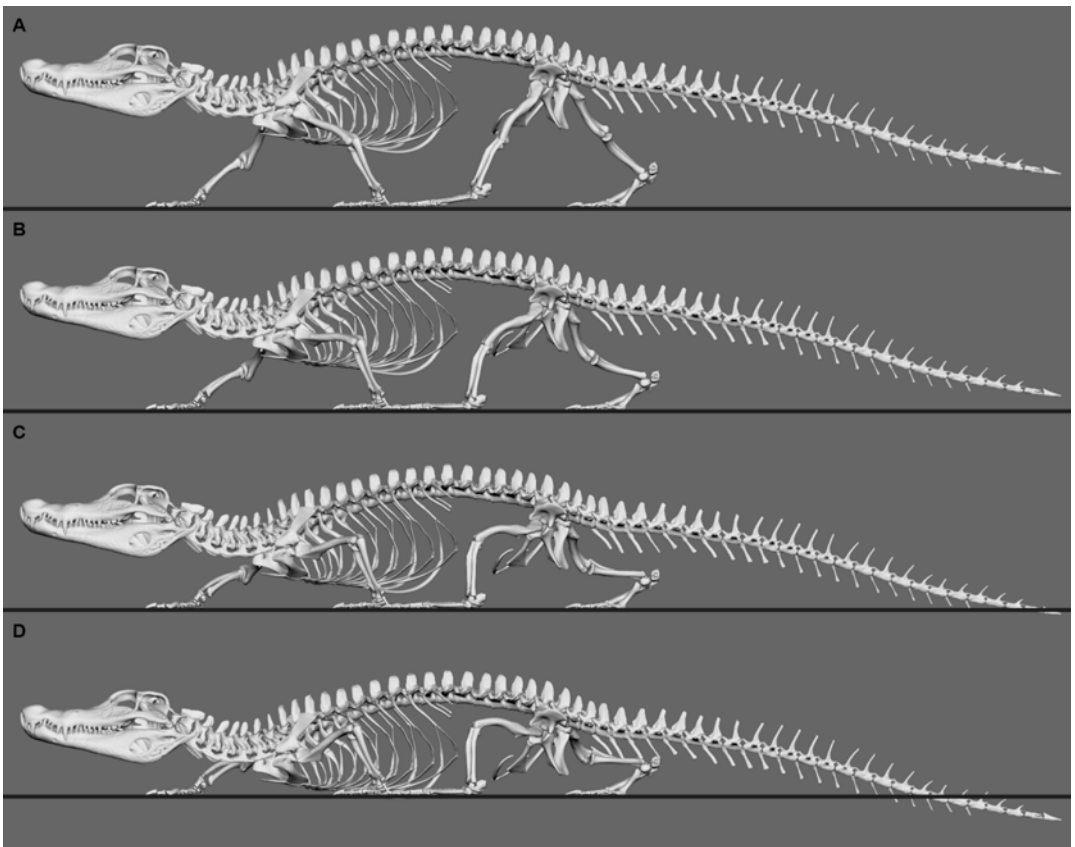


Abb. 3. Das virtuelle Experiment zum Einfluss der Rumpfhöhe auf die Länge der Muskelhebelarme des Brillenkaimans. Verglichen wurde die bei lebenden Kaimanen natürlich gezeigte Rumpfhöhe (B) mit simuliert übertriebener Rumpfhöhe (A) und geringeren Rumpfhöhen (C, D).

zur Veränderung der Länge der Hebelarme. Die Beinbewegung wurde dabei durch sogenannte *Inverse Kinematics Solvers* angepasst, einem Werkzeug aus der Animationsfilm- und Videospielebranche (Watt/Watt 1992), so dass eine realistische Bewegung simuliert werden konnte. Auf der Basis detaillierter anatomischer Beschreibungen der Skelettmuskulatur wurde zudem die extrinsische Muskulatur einer Hintergliedmaße modelliert, jeweils vom Ursprung zum Ansatz (Abb. 2). Die Ursprungs- und Ansatzflächen wurden auf den Skelettelementen dargestellt, während die Verläufe der Muskeln mittels einer Linie („*Spline*“-Interpolation) modelliert wurden.

Daten zur Aktivität der untersuchten Muskeln wurden der Literatur entnommen (vgl. Gatesy 1997, Reilly/Blob 2003). Konkret wurden vier Fälle untersucht: *i*) der normale Bewegungsablauf,

wie im Röntgenvideo der lebenden Kaimane dokumentiert, *ii*) ein simulierter Bewegungsablauf, bei dem der Bauch nicht vom Boden abgehoben wurde, *iii*) ein simulierter Bewegungsablauf mit mittlerem Abheben des Rumpfes, und *iv*) ein simulierter Bewegungsablauf mit überhöhtem Abheben des Rumpfes (Abb. 3). Um die instantanen Muskelhebelarme zu quantifizieren, wurde in Maya® der Abstand eines Muskels zum Hüftgelenk an 21 Stellen (in jeweils 5%-Schritten) entlang des Muskels gemessen, wobei die Messrichtung orthogonal zur Wirkrichtung des Muskels verlief. Für jeden Zeitpunkt wurden diese 21 Messungen gemittelt. Es wurden jeweils hundert Zeitpunkte im Verlauf des Schrittzklus für jeden der vier experimentellen Fälle untersucht. Abschließend wurde statistisch überprüft, ob sich die Länge der Hebelarme während der simulierten Fortbewegung signifikant von der Länge der Hebelarme beim natürlichen Bewegungsablauf unterschied.

Das vorgestellte virtuelle Experiment erlaubte somit die experimentelle Überprüfung einer Hypothese mittels der Simulation von Bewegungsabläufen, die nicht von den Tieren gezeigt wurden und teilweise auch gar nicht im Bewegungsrepertoire der Tiere vorkommen (Fall *iv* führte zu einer unnatürlichen Streckung des Beines, vgl. Abb. 3A). Dadurch konnte die Rolle der Muskelhebelarme während der Fortbewegung des Brillenkaimans konkretisiert werden und eine weitverbreitete Annahme für die Rekonstruktion der Fortbewegung von ausgestorbenen Wirbeltieren auf eine empirische Basis gestellt werden.

„Virtuelle Experimente“: Computergestützte Modellierung und Simulation

Der Einsatz virtueller Experimente bei der Untersuchung von morpho-funktionellen Eigenschaften rezenter und ausgestorbener Wirbeltiere führte zu einer Erweiterung des Werkzeugkastens der Wirbeltiermorphologie und -paläontologie. Neben der traditionellen Deduktion funktioneller Eigenschaften aus dem Studium der anatomischen Verhältnisse heraus und dem Experimentieren mit lebenden Tieren (vgl. Nyakatura 2017, Amson/Nyakatura 2018) können virtuelle Experimente als Spielart des Computational Modelling aufgefasst werden. Detaillierte 3D-Modelle erlauben eine Verankerung (*Anchoring*; Full/Koditschek 1999) virtueller Experimente in der Morphologie der untersuchten Strukturen. Durch die systematische Variation einzelner Parameter einer Modellierung in virtuellen Experimenten am Computer (im vorgestellten Experiment ist dies die Höhe des Rumpfes des Kaimans) wird die Abschätzung des Einflusses eines Parameters auf das Gesamtergebnis

ermöglicht bzw. die durch die Annahme des Parameterwertes in das System eingebrachte Unsicherheit deutlich. In virtuellen Experimenten werden solche Sensitivitätsanalysen routinemäßig durchgeführt (Hutchinson 2011). Virtuelle Experimente erlauben also einen experimentellen Zugang zur Bestimmung der funktionellen Bedeutung der Ausprägung einzelner Strukturen sowie zur Abschätzung des Einflusses von (evolutiven) Veränderungen dieser Strukturen, auch wenn diese Veränderungen kein natürliches Vorbild mehr haben. Virtuelle Experimente sind daher auch ein wichtiges Werkzeug für die morpho-funktionelle Hypothesen- und Theoriebildung.

Wenn jedoch die notwendigerweise getroffenen Annahmen zu einer nur unzureichend genauen Abbildung der Realität führen, so dass die Ergebnisse einer Simulation keine Erklärungskraft mehr für das zu untersuchende Objekt haben, nützt auch eine nahezu interventionsfreie computergestützte Analyse des Modells nichts. Das Modell muss also zunächst validiert werden (Hutchinson 2011). Das Vorgehen ist dabei iterativ und wechselseitig. In Bewegungsanalysen lebender Tiere können beispielsweise biomechanische oder physiologische Daten erzeugt werden. Mit Hilfe dieser Daten kann dann ein Modell entworfen oder verfeinert werden. Wenn das Modell die empirischen Daten der lebenden Tiere hinreichend gut vorhersagt, gilt es als validiert (Hutchinson 2011). Nun kann mittels des Modells und der Sensitivitätsanalyse die Funktionsweise einer Struktur im virtuellen Experiment simuliert und analysiert werden. Im hier vorgestellten Beispiel wurde die Funktion der Muskulatur anhand des normalen Bewegungsablaufs direkt an empirische Daten, nämlich die Röntgenvideos der lebenden Kaimane, geknüpft. Virtuelle Experimente ersetzen dabei andere Modellierungsansätze keineswegs. Ein Vorteil physischer Modelle ist unter anderem, dass mit ihnen Experimente angestellt werden können, die sich nur schwer am Computer simulieren lassen (z. B. Flügelformen im Windkanal oder das Abrollen von Füßen auf nachgiebigen Substraten wie Sand). Die Simulation eines komplexen Bewegungsablaufs wie desjenigen des Brillenkaimans erfordert die Konkretisierung individueller Gelenkbewegungen. Dies ist vor dem Hintergrund der hochgradigen Redundanz des Bewegungsapparates der Wirbeltiere kritisch (Gatesy et al. 2009), denn es handelt sich um eine kinematische Kette aus mehreren Gliedern (im Falle der Wirbeltiergliedmaßen sind dies die über die Gelenke miteinander verbundenen Segmente), die eine bestimmte Position des Endgliedes mittels ganz unterschiedlicher Beiträge der einzelnen Auslenkungen der Gelenke erreichen kann. Während der Erstellung der

Simulation müssen daher etliche Entscheidungen seitens des Gestalters getroffen werden, die jeweils in der Zusammenarbeit mit dem Morphologen besprochen und begründet werden müssen. Ein Beispiel hierfür ist die Größe des modellierten Gelenkspaltes und deren Auswirkung auf den möglichen Bewegungsumfang. Hierin liegt das analytische Potenzial der Simulation, die diesen Austausch erforderlich macht und das Ergebnis direkt vor Augen führt. Die Konkretisierung erfolgte daher erneut in einem iterativen Prozess, bei dem Gestalter und Morphologe eng zusammenarbeiteten.

Die Möglichkeiten und Erfordernisse virtueller Experimente machen es zugleich dringend notwendig, mit der Unsicherheit der Modellierung auf transparente Weise umzugehen. Daher ist immer häufiger nicht die erschöpfende Rekonstruktion einer Funktionsweise das Ziel virtueller Experimente in der funktionellen Morphologie, sondern eine möglichst transparente, also mit prinzipiell reproduzierbaren Experimenten und Simulationen abgeleitete Darstellung dessen, was zum Zeitpunkt der Untersuchung als Möglichkeitsspielraum umrissen werden kann, unter Ausschluss von begründet Unwahrscheinlichem (z. B. Gatesy et al. 2009). Dieses Vorgehen bleibt explizit offen gegenüber neuen technischen oder methodischen Entwicklungen und aufschlussreichen Fossilfunden. Neue Erkenntnisse, aber auch andere Einschätzungen können künftig zu einer veränderten Interpretation der vorgelegten Argumente herangezogen werden.

Danksagung: Die Autoren möchten sich bei Ingrid Weiß, Romy Petersohn und Vivian R. Allen für ihre technische Unterstützung bei der Erstellung der Röntgenvideos bedanken. Jonas Lauströer und Amir Andikfar steuerten wichtige Ideen für die Erzeugung des 3D-Modells des Kaimans sowie von Abb. 1 bei. Jenny Michel hat einen Entwurf des Textes lektoriert.

Literatur

- Abel, Richard L.; Laurini, Carolina R. und Richter, Martha (2012): „A palaeobiologist's guide to 'virtual' micro-CT preparation“, in: *Palaeontologia Electronica* 15 (2), S. 496–500.
- Allen, Vivian; Bates, Karl T.; Li, Zhiheng und Hutchinson, John R. (2013): „Linking the evolution of body shape and locomotor biomechanics in bird-line archosaurs“, in: *Nature* 497 (7447), S. 104–107.
- Amson, Eli und Nyakatura, John A. (2018): „The postcranial musculoskeletal system of xenarthrans: insights from over two centuries of research and future directions“, in: *Journal of Mammalian Evolution* 25 (4), S. 459–484.
- Ashley-Ross, Miriam (1994): „Hindlimb kinematics during terrestrial locomotion in a salamander (*Dicamptodon tenebrosus*)“, in: *Journal of experimental biology* 193 (1), S. 255–283.
- Basu, Christopher; Falkingham, Peter L. und Hutchinson, John R. (2016): „The extinct, giant giraffid *Sivatherium giganteum*: skeletal reconstruction and body mass estimation“, in: *Biology letters* 12 (1), 20150940.
- Cunningham, John A.; Rahman, Imran A.; Lautenschlager, Stephan; Rayfield, Emily J. und Donoghue, Philip C. (2014): „A virtual world of paleontology“, in: *Trends in ecology & evolution* 29 (6), S. 347–357.
- Elissamburu, Andrea und De Santis, Luciano (2011): „Forelimb proportions and fossorial adaptations in the scratch-digging rodent *Ctenomys* (Caviomorpha)“, in: *Journal of Mammalogy* 92 (3), S. 683–689.
- Fischer, Martin S.; Schilling, Nadja; Schmidt, Manuela; Haarhaus, Dieter und Witte, Hartmut (2002): „Basic limb kinematics of small therian mammals“, in: *Journal of Experimental Biology* 205 (9), S. 1315–1338.
- Full, Robert J. und Koditschek, Daniel E. (1999): „Templates and anchors: neuromechanical hypotheses of legged locomotion on land“, in: *Journal of experimental biology* 202 (23), S. 3325–3332.
- Gatesy, Stephen M. (1997): „An electromyographic analysis of hindlimb function in *Alligator* during terrestrial locomotion“, in: *Journal of Morphology* 234 (2), S. 197–212.
- Gatesy, Stephen M.; Bäker, Martin und Hutchinson, John R. (2009): „Constraint-based exclusion of limb poses for reconstructing theropod dinosaur locomotion“, in: *Journal of Vertebrate Paleontology* 29 (2), S. 535–544.
- Gatesy, Stephen M. und Baier, David B. (2015): „Skeletons in motion: an animator's perspective on vertebrate evolution“, in: Dial, Kenneth P.; Shubin, Neil und Brainerd, Elizabeth L. (Hg.): *Great transformations in vertebrate evolution*. Chicago: University of Chicago Press, S. 303–316.
- Hutchinson, John R. (2011): „On the inference of function from structure using biomechanical modelling and simulation of extinct organisms“, in: *Biology letters* 8 (1), 20110399.
- Hutchinson, John R.; Anderson, Frank C.; Blemker, Silvia S. und Delp, Scott L. (2005): „Analysis of hindlimb muscle moment arms in *Tyrannosaurus rex* using a three-dimensional musculoskeletal computer model: implications for stance, gait, and speed“, in: *Paleobiology* 31 (4), S. 676–701.
- Lieber, Richard L. und Fridén, Jan (2000): „Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture“, in: *Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine* 23 (11), S. 1647–1666.
- Mallison, Heinrich und Wings, Oliver (2014): „Photogrammetry in paleontology – a practical guide“, in: *Journal of Paleontological Techniques* 12, S. 1–31.
- Meißner, Frank (2018): „Präparieren und Scannen. Zum Verhältnis invasiver und nichtinvasiver Bildtechniken in der Biologie“, in: *CLOU: Cluster Letters of Understanding* 1 (1), S. 1–15.
- Nyakatura, John A. (2017): „Beschreibung, Experiment, Modell. Zum Spurenlesen in der paläobiologischen Forschung am Beispiel einer funktionsmorphologischen Analyse“, in: *Bildwelten des Wissens* 13, S. 12–23.
- Nyakatura, John A.; Allen, Vivian R.; Lauströer, Jonas; Andikfar, Amir; Danczak, Marek; Ullrich, Hans J.; Hufenbach, Wolfgang; Martens, Thomas und Fischer, Martin S. (2015): „A three-dimensional skeletal reconstruction of the stem amniote *Orobates pabsti* (Diadectidae): analyses of body mass, centre of mass position, and joint mobility“, in: *PLoS one*, 10 (9), e0137284.
- Ogihara, Naomichi; Nakatsukasa, Masato; Nakano, Yoshihiko und Ishida, Hidemi (2006): „Computerized restoration of nonhomogeneous deformation of a fossil cranium based on bilateral symmetry“, in: *American Journal of Physical Anthropology* 130 (1), S. 1–9.
- Pierce, Stephanie E.; Clack, Jennifer A. und Hutchinson, John R. (2012): „Three-dimensional limb joint mobility in the early tetrapod *Ichthyostega*“, in: *Nature* 486 (7404), S. 523.
- Plotnick, Roy E. und Baumiller, Tomasz K. (2000): „Invention by evolution: functional analysis in paleobiology“, in: *Paleobiology* 26 (4), S. 305–323.
- Rayfield, Emily J.; Norman, David B.; Horner, Celeste C.; Horner, John R.; Smith, Paula M.; Thomason, Jeffrey J. und Upchurch, Paul (2001): „Cranial design and function in a large theropod dinosaur“, in: *Nature* 409 (6823), S. 1033.
- Reilly, Stephen M. und Blob, Richard W. (2003): „Motor control of locomotor hindlimb posture in the American alligator (*Alligator mississippiensis*)“, in: *Journal of Experimental Biology* 206 (23), S. 4327–4340.

- Richter, Stefan und Wirkner, Christian (2013): „Objekte der Morphologie 2013“, in: *Bildwelten des Wissens* 9 (2), S. 83–96.
- Schilling, Nadja (2011): „Evolution of the axial system in craniates: morphology and function of the perivertebral musculature“, in: *Frontiers in zoology* 8 (1), S. 4.
- Scholle, Hans C.; Biedermann, Frank; Arnold, Dirk; Jinnah, Hyder A.; Grassme, Roland und Schumann, Nikolaus P. (2005): „A surface EMG multi-electrode technique for characterizing muscle activation patterns in mice during treadmill locomotion“, in: *Journal of neuroscience methods* 146 (2), S. 174–182.
- Sellers, William I.; Manning, Phillip L.; Lyson, Tyler; Stevens, Kent und Margetts, Lee (2009): „Virtual palaeontology: gait reconstruction of extinct vertebrates using high performance computing“, in: *Palaeontologia Electronica* 12 (3), S. 11A.
- Stoessel, Alexander; Gunz, Philipp; David, Romain und Spoor, Fred (2016): „Comparative anatomy of the middle ear ossicles of extant hominids – Introducing a geometric morphometric protocol“, in: *Journal of human evolution* 91, S. 1–25.
- Tschopp, Emanuel und Dzemski, Gordon (2012): „3-dimensional reproduction techniques to preserve and spread paleontological material“, in: *Journal of Paleontological Techniques* 10, S. 1–8.
- Turner, Derek (2011): *Paleontology: A philosophical introduction*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Visser, J. J.; Hoogkamer, J. E.; Bobbert, M. F. und Huijing, P. A. (1990): „Length and moment arm of human leg muscles as a function of knee and hip-joint angles“, in: *European journal of applied physiology and occupational physiology* 61 (5–6), S. 453–460.
- Watt, Alan H. und Watt, Mark (1992): *Advanced animation and rendering techniques*, New York: ACM press.
- Winsberg, Eric (2003): „Simulated experiments: Methodology for a virtual world“, in: *Philosophy of science* 70 (1), S. 105–125.
- Wu, Xiujie und Schepartz, Lynne A. (2009): „Application of computed tomography in paleoanthropological research“, in: *Progress in Natural Science* 19 (8), S. 913–921.

Multiplizieren

The experiment
assemblage.
Transforming
healthcare through
three versions
of the experiment

Peter Danholt, Morten Bonde Klausen und Claus Bossen

Experiments and experimentation are no longer associated solely with the laboratory and natural science. Today, experimentation is part and parcel of organizational change and is connected with any form of organizational thinking that seeks to promote and facilitate continuous renewal, innovation and agility in organizations (Castells 2003b, Chesbrough 2007, Rose/Miller 2008). This chapter focuses on an organizational experiment carried out in the Danish healthcare system. Our concern is to investigate the different ways in which 'the experiment' is perceived and practiced. We draw chiefly on the field of science and technology studies (STS) and organizational studies, because experiments are central to scientific practices and thus a central concern within STS (Hacking 1983, Latour/Woolgar 1986, Gooding et al. 1989, Rheinberger 1997, Knorr-Cetina 1999, Schaffner/Shapin 2017). In actor-network theory (ANT), the production of facts or technologies is studied and analyzed as an 'association between heterogeneous elements,' implying that the practices of developing technologies or producing knowledge are at best understood as messy and complex, because they entail the dovetailing of concepts and theories, a multitude of material and technological objects and artefacts, elements which are themselves particular with respect to temporal, spatial, social, cultural, political and economic constraints and conditions (Latour, 1987, Law 1991, Law/Hassard 1999, Law/Mol 2002, Mol 2002). In this light, experiments are contingent and heterogeneous events composed of multiple spatial and temporal elements (Law 1991, Serres 1995, Rheinberger 2010). The experiment is, to paraphrase Donna Haraway, a material-semiotic knot, in contrast to the positivist empiricist understanding of experiments as controlled environments for hypotheses testing and deduction. This is because, as STS has shown, many experiments and their products do not obviously resemble controlled environments when scrutinized.

We believe that the notion that experiments are contingent, heterogeneous and messy also reflects the way in which experiments and experimentation are perceived and used in organizational studies. In the field of organizational studies and organizational change management, the traditional bureaucratic Weberian organization is often contrasted with the innovative, adaptive, agile, and experimental organization. From this perspective, the former is associated with an outdated and rationalistic organizational form of industrial societies; while the latter recalls a novel, innovative, contemporary form which is necessary in the information society (Castells 2003a, Von Hippel 2006, Chesbrough 2007). The bureaucratic type of organization is characterized by the fact that it rests on an ontology of the world which is predictable and governed by rules, whereas the agile, experimental organization relates to a processual and transformative world. In much of the literature stressing the importance of transforming organizations into more agile, learning or experimental entities, the term ‘experimental’ is regarded as a quality which is required if organizations are to continuously reinvent and reconfigure themselves and thereby “survive” (Morgan 2016). For similar reasons, projects are now commonly perceived as a form of organization signaling innovation and change (Packendorff/Lindgren 2014). In this respect, experiments and experimentation are associated with innovation, novelty, and ‘open-endedness’ in an exploratory sense.

Our methodological and analytical approach is constructivist. We adhere to heuristics related to hermeneutics, symbolic interactionism, and actor network theory. In their different ways, these approaches imply that, as researchers, we cannot and should not attempt to approach a given phenomenon, situation or event as something which can be separated from other actors, practices and networks—including ourselves as researchers. This implies that the object of our attention must be investigated as something which is intrinsic to the practices we study, something that has been constructed in and through these practices. Consequently, the way in which actors engage with and refer to the object in question must be taken seriously. In relation to symbolic interactionism based on pragmatics, the main point is that actors create meaning in and of the world through symbolic, embodied and practical interaction (Corbin/Strauss 1993, Clarke 2005, Star/Griesemer 1989). In relation to actor-network theory, inspired by ethnomethodology among others, the methodological shibboleth is “follow the actors”—emphasizing that the role of the researcher is to do their best to describe how the implicated actors compose and produce

objects, knowledge and worlds (Latour 1987). The role of the researcher is *not* to impose his or her theoretical apparatus on the field of study or explain the actions of the actors with reference to a given theory. In our case, what we studied *and* intervened in was referred to as ‘an experiment’ by many of the actors involved and independently of each other. In accordance with the methodological principles outlined above, we have taken this seriously because the actors made sense of the project and performatively contributed to its construction as an experiment. Consequently, we also refrain from imposing a specific standard or definition of what an experiment is or should be—instead, we are interested in what the projects articulated and performed as an experiment enacts and enables.

Following an understanding of experiments derived from STS, we propose that not only can we regard experiments as heterogeneous assemblages of elements. We can, moreover, regard such assemblages as a means of achieving organizational change. Consequently, in this chapter we present a case of organizational change in the healthcare sector in Denmark which was often referred to as an ‘experiment’.

Case and method

In 2014, the Central Region Denmark (hereafter referred to as ‘the Region’) launched a three-year project which was often referred to as ‘an experiment’ by those who initiated it as well as by those who contributed to and participated in it. The aim of this experiment was to develop a novel way of governing the healthcare sector, and it was entitled: *New Governance in the Perspective of the Patient* (hereafter referred to as ‘New Governance’). The object of the experiment was to try out a new way of governing the healthcare sector, and stipulated the quality of treatment for patients as its primary goal. The Region, and especially the politicians behind the experiment, promoted it by contrasting it with the existing governance paradigm, which was based on a system of diagnosis-related groups (DRG). The DRG system links patients with the cost of treatment and has been used for the last 20 years in the Danish healthcare sector as a financing and productivity benchmark. Initially developed in the U.S., the DRG system creates transparency as regards spending in the healthcare system by assigning a financial value to healthcare procedures (Mistichelli 1984, Fetter/Freeman 1986). Over the years, the system has become fairly complex in terms of how value is decided and reimbursement occurs. The DRG system implies a focus on productivity, and has recently been the target of criticism for producing the wrong incentives: Incentives

for healthcare providers to prioritize the healthcare procedures that ensure optimal financial gain, instead of those that ensure optimal efficiency and quality for the patient. Accordingly, and as we shall see, the New Governance project is regarded, among other things, as shifting the focus from productivity based on the DRG system to quality based on the development of new indicators. To achieve this goal, nine wards were included in the project. They were exempted from the DRG system and asked instead to develop their own indicators to measure and account for quality and value for the patient.

We, the authors, were invited to be part of a research group including members from various academic disciplines (social science, science of public health, information studies). We and the other researchers were asked by the Central Region to produce a research-based evaluation of the project. We were given complete liberty to design our investigation and conduct our research as we thought fit in accordance with our research traditions.

Our part of the research project was designed as a qualitative and ethnographic study of the project, so we were field researchers and not actual participants in the project or conductors of the experiment. However, given our research approach and as mentioned above, we clearly intervened in the project by our presence and through our conversations with the healthcare professionals and the project managers involved. This will also become evident in the analysis which follows. In more concrete terms, our research consisted of document and website research on the project, field-work involving observing and attending meetings between the nine wards and the Region, and qualitative semi-structured interviews with ward management, healthcare professionals, Region officials and project managers. We conducted 37 semi-structured qualitative interviews lasting between 45 and 120 minutes, and attended and observed 12 meetings. The interviews were transcribed and coded using principles of grounded theory and the software platform Dedoose (Clarke 2005, Glaser/Strauss 2009).

In the following sections, we point out how the project was perceived and practiced as an experiment in three different ways: (1) as an experiment which was an unbounded, open-ended journey into space; (2) as an experiment which was a vehicle for governance reform; and (3) as an experiment involving a scientific evaluation of organizational change. Together, we argue that these three versions of the experiment compose a heterogeneous yet highly capable political machine of organizational transformation, not in spite of, but due to its heterogeneity.

The experiment as a journey into space

Approximately a year after the project was initiated, but when it was still in its infancy, the Region deemed it necessary to gather and present the overall vision to representatives from the selected nine wards, administrative and technical staff and management. At this meeting, the Region's head of healthcare depicted the project as 'a journey into space'. On a whiteboard, he drew a spaceship heading into space and explained that he saw the experiment as being an exploration of the unknown. An exploration whose destination was not predefined or clearly designated, but would have to be discovered and invented along the way. The project was accordingly often referred to as 'an open-ended experiment' in the sense that it was exploratory and without clearly defined criteria for success, and therefore not a hypotheses-deductive experiment. It was also referred to as an experiment seeking to 'set the healthcare professionals free' from a type of top-down bureaucratic style of governance, leaving wards free to define their own criteria for healthcare quality based on their expertise and knowledge.

The wards were given a free hand to develop and implement the new treatment paradigm focusing on value and quality from the very start of the experiment. We regard the event involving the head of the Region and his spaceship metaphor as emblematic of this. However, this way of perceiving and practicing the project was also perplexing and somewhat frustrating for the wards involved, because it implied that management did not provide much guidance or state clear expectations. This undoubtedly 'set the wards free', but it also allocated the main responsibility to them. In addition, the ward personnel felt that they had limited time and support to invent and implement the quality criteria and indicators expected of them.

In conclusion, the experiment was framed as an exploratory exercise granting healthcare practitioners the autonomy to define what qualifies as good healthcare quality in their specific practice. In this respect, it follows the kind of egalitarian organizational model that is typical of Scandinavia, where inclusion and trust in employees and their competences are highly regarded. The invitation from top management to the wards to be part of the experiment was difficult to disregard, and the time and resources required for the practices to develop quality standards and initiate the experiment were not sufficient. This experiment was not based on classical principles of hypothesis and deduction, with certain specified ideas about what to expect being defined in advance. It was experimental in the sense of an open-ended exploration

as simply trying something out without any stringent or specific predefined criteria for success.

The experiment as governance reform

An entirely different articulation of the New Governance project was as an experiment into reforming the governance structure of Danish hospitals. The existing governance regime focuses on production and activity based on the aforementioned DRG system, which essentially means that hospital budgets are conditional on the number and kind of treatments they carry out (Møller Pedersen 2006). The Region's head of finance, who was influential in initiating the project alongside the head of healthcare, problematized the existing governance regime and advocated the transition to another regime which focused on quality in the following manner:

The close relationship between activity measured using the DRG system and funding provides strong incentives to maintain and continue to organize patient treatment in a way that ensures a high DRG value. The focus must now be shifted toward the quality agenda. There is a need for a new governance regime that focuses on incentives to keep patients healthy or treat them outside the hospital. There must be more focus on patient trajectories containing only the necessary and adequate treatment, sector transition, quality and patient quality. In Central Region Denmark, our intention is to provide the best possible health for the money... Our governance regimes must provide financial incentives that support hospitals in the quality agenda. For the hospitals, the focus must be on planning and carrying out treatment to provide the best possible health outcomes for the resources available. Quality and finance should go hand in hand so that good quality pays off both financially and for the patient. (Minutes from directors' meeting—Author's translation from Danish)

In this respect, the experiment is articulated as a vehicle for organizational and governance transformation. A greater societal concern constitutes the premise for the experiment: There is a perceived need to transform the governance system of healthcare. The experiment is a means to an end, namely the development, testing and promotion of another type of governance. In this sense, the experiment is something entirely different than a journey into space. Here, the experiment is the promotion and testing of a new governance model whose objective is clear: To change an existing governance model considered malfunctioning, and replace it with another model that incentivizes efficiency and quality.

The experiment as an object of scientific inquiry

A third version of the project was as an object of scientific inquiry. With the initiation of the project, invitations were generously extended to various academic disciplines at Aarhus University. We, the authors, were invited and included as part of the group of academics who received funding from the Region to monitor and evaluate the project as we considered best. The other researchers came from the fields of healthcare economics and social science, whereas the authors of this chapter were invited as researchers interested in studying technological infrastructures and organizational aspects. Each of the different research groups developed their own research designs for the experiment. We, the authors, focused on how the project was received and integrated or translated by the specific wards, and we adopted a qualitative approach, as explained above. The healthcare economists created a research design concerned with quantitatively measuring the effect of the experiment in terms of various indicators (readmittance, length of stay, mortality rates etc.) in an effort to discover whether any differences could be measured between the effect of the DRG regime and the New Governance regime (Søgaard et al. 2015). The political scientists conducted interviews with the wards and produced a questionnaire. The questionnaire was sent to the practitioners from the wards included in the experiment as well as a control group from other wards. The social scientists were interested in using the questionnaire to detect and measure the effects of the experiment with regard to changes in the motivation and organizational culture of the employees. In sum, the experiment was carefully observed and analyzed with respect to its implementation and effects. Scientists from different research disciplines monitored the experiment and used tools, methods and theories from their own disciplines in order to produce knowledge which was relevant for their research fields, in turn contributing to the enactment of the project as a scientific object.

Concluding discussion

The three different ways of articulating and practicing the experiment presented above make it possible to reflect on organizational experiments in general. We propose that the New Governance project is composed of different 'experiment' versions. The first version was open-ended and exploratory and conducted in a spirit of egalitarianism and trust in the healthcare professionals. Second, the project was an experiment whose intention was to break away from an existing governance regime and enable a transition

of healthcare with the main objective of delivering quality and efficient financial governance. And third, the project was an experiment in the sense that it was an object of inquiry by a group of researchers—an object of scientific research.

One could argue that these different versions of the experiment make the project ill-defined and multifaceted, perhaps even contradictory and inconsistent, and thus more likely to fail. But we would suggest instead, as shown in STS, and in accordance with the idea of the experiment as an assemblage, that heterogeneity is actually what realizes objects and brings them into existence (Rheinberger 1997, Latour 1999, 2000, Stengers 2000, Jensen 2004). Close empirical scrutiny of apparently simple objects reveals complexity. As Donna Haraway has argued throughout her work, existence is premised by multiple and partial relations (Haraway 1990, 2016, Strathern 2004).

The three versions of the experiment thus form a partial and heterogeneous assemblage. If we try to relate them to each other, we may learn how they (despite their different characteristics) come together as a heterogeneous ‘whole’, with each of the versions helping in different ways to realize the project. First, describing the project to the wards as a journey into space, thus presenting them as the agents of innovation, serves as an eloquent effort to motivate the wards. No grand expectations, requirements and specific goals are stated, but full autonomy is granted with regard to defining quality criteria. In many respects, this approach presents the task as something which demands very little of the wards, with the wards being regarded as fully competent and trustworthy (although, as mentioned, the freedom was also experienced as frustrating). Second, referring to the experiment as a vehicle for governance reform speaks to a broader societal issue concerning efficiency and quality in public healthcare and the obvious value of focusing on healthcare quality without considering the financial implications. This is a way of promoting the experiment in relation to broader societal matters of concern. Third, regarding the experiment as an object of scientific inquiry is yet another way of realization and making it relevant. The academic world is an important part of contemporary society that may help the project both by disseminating knowledge about the project, and as a means of approving the project and granting it authority and credibility. Overall, the three versions of the experiment which were articulated and performed during the project address different concerns and parts of society and thereby performatively help in realizing the project. By way of ‘the experiment’, the project becomes relevant to various actors and

these are thereby mobilized and associated with the project (Latour 1987).

Apart from focusing chiefly on how the three versions of the experiment combine to form a strong assemblage, it is also worth pointing out that this assemblage has certain potential weaknesses. For instance, as indicated above, the downside to regarding the experiment as a journey into space was that the wards did not feel that they were given sufficient support, time and resources by the Region to take on the project. In addition, our fieldwork showed that many of the healthcare professionals did not share the Region’s rationale and argumentation for breaking away from the existing DRG governance regime, although they did share the agenda of harmonizing concerns with productivity and quality for the patient (Bonde/Bossen/Danholt 2018).

Another important point to make is that we do not mean to suggest that the three versions of the experiment constituted a deliberate managerial strategy which was somehow masterminded by the Region. Rather, we suggest that the three versions *emerged* as the project developed. We see them as growing out of the project—a practice in which various features are added gradually. Having said this, we still think that the concept of the ‘experiment’ lends itself particularly well to such an emergent, growing practice. Because, in the common use of the term, experimentation connotes both open-ended exploration *and* scientific authority, procedure and knowledge. These two aspects taken together make it an elastic and inclusive term and boundary object (Star/Griesemer 1989).

In conclusion, we maintain that the different versions of the experiment intrinsic to the project may fruitfully be considered an assemblage despite the inconsistencies involved. We argue that in social, organizational and societal issues what matters is not whether things are coherent and create a consistent whole from a specific analytical point of view. What matters is “what might happen?”; “what might the organization evolve into?”; “what would “we” like to be in the future?” These are concerns that are both inherently pragmatic *and* imaginative. We hope that this chapter can help to increase the focus devoted to such heterogeneous assemblages and the processes by which they are formed, because the ability to understand and appreciate these formations in organizational/societal/social practices increases our abilities to intervene and create novel practices and organizational formations.

Literature

- Barry, Andrew (2001): *Political machines: governing a technological society*. London; New York: Athlone Press.
- Bonde, Morten; Bossen, Claus and Danholt, Peter (2018): "Translating value-based health care: an experiment into healthcare governance and dialogical accountability", in: *Sociology of Health & Illness*. Online: 10.1111/1467-9566.12745 (accessed August 20, 2018).
- Castells, Manuel (2003a): *Internet galaksen: refleksioner over Internettet, erhvervslivet og samfundet*. 1. udgave, 1. oplag. Århus: Systime.
- Castells, Manuel (2003b): *The Internet Galaxy: reflections on the internet, business, and society*. Reprinted. Oxford: Oxford Univ. Press.
- Chesbrough, Henry W. (2007): *Open innovation: the new imperative for creating and profiting from technology*. Boston: Harvard Business School.
- Clarke, Adele E. (2005): *Situational analysis: grounded theory after the postmodern turn*. Thousand Oaks CA: Sage Publications.
- Fetter, Robert B. and Freeman, John L. (1986): "Diagnosis Related Groups: Product Line Management within Hospitals", in: *The Academy of Management Review* 11 (1), p. 41.
- Glaser, Barney G. and Strauss, Anselm L. (2009): *The discovery of grounded theory: strategies for qualitative research*. 4. paperback printing. New Brunswick: Aldine.
- Corbin, Juliet M. and Strauss, Anselm L. (1993): "The Articulation of Work through Interaction", in: *The Sociological Quarterly* 34 (1), pp. 71–83.
- Gooding, David; Pinch, Trevor and Schaffer, Simon (1989): *The Uses of experiment: studies in the natural sciences*. Cambridge [England]; New York: Cambridge University Press.
- Hacking, Ian (1983): *Representing and intervening: introductory topics in the philosophy of natural science*. Cambridge [England]; New York: Cambridge University Press.
- Haraway, Donna J. (1990): *Simians, Cyborgs, and Women: The Reinvention of Nature*. London: Routledge.
- Haraway, Donna J. (2016): *Staying with the trouble: Making kin in the Chthulucene*. Durham NC: Duke University Press.
- Jensen, Casper B. (2004): *Researching partially existing objects: What is an electronic patient record? Where do you find it? How do you study it?* Århus: Science Technology Society.
- Knorr-Cetina, Karin (1999): *Epistemic Cultures: How the Sciences Make Knowledge*. Cambridge [England]; New York: Cambridge University Press; Harvard University Press.
- Latour, Bruno (1987): *Science in action: how to follow scientists and engineers through society*. Cambridge MA: Harvard University Press.
- Latour, Bruno (1999): *Pandora's hope: essays on the reality of science studies*. Cambridge MA: Harvard University Press.
- Latour, Bruno (2000): "On the partial existence of existing and non-existing objects", in: Lorraine Daston (ed.): *Biographies of scientific objects*. Chicago: University of Chicago Press.
- Latour, Bruno and Woolgar, Steve (1986): *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts*. Princeton NJ: Princeton University Press.
- Law, John (1991): *A Sociology of monsters: essays on power, technology, and domination*. London: Routledge.
- Law, John and Hassard, John (1999): *Actor network theory and after*. Oxford [England]; Malden MA: Blackwell/Sociological Review.
- Law, John and Mol, Annemarie (2002): *Complexities: Social Studies of Knowledge Practices*. Durham NC: Duke University Press Books.
- Mistichelli, Judith A. (1984): *Diagnosis related groups (DRGs) and the prospective payment system: forecasting social implications*. Washington DC: Kennedy Institute of Ethics, Georgetown Univ.
- Mol, Annemarie (2002): *The body multiple: ontology in medical practice*. Durham [et al.]: Duke University Press.
- Møller Pedersen, K. (2006): *Incitamentsstyring i sygehusvæsenet: virkningen af øget takststyring og tilhørende incitament*. Odense DNK: Syddansk Universitetsforlag.
- Morgan, Gareth (2016): *Images of organization: 30th anniversary edition*. Place of publication not identified: Sage Publications.
- Packendorff, Johann and Lindgren, Monica (2014): "Projectification and its consequences: Narrow and broad conceptualisations", in: *South African Journal of Economic and Management Sciences* 17 (1), pp. 7–21.
- Rheinberger, Hans-Jörg (1997): *Toward a history of epistemic things: synthesizing proteins in the test tube*. Stanford, CA: Stanford University Press (Writing science).
- Rheinberger, Hans-Jörg (2010): *An Epistemology of the Concrete: Twentieth-century Histories of Life*. Durham NC: Duke University Press.
- Rose, Nikolas and Miller, Peter (2008): *Governing the Present: Administering Economic, Social and Personal Life*. Cambridge [et al.]: Polity Press.
- Serres, Michel (1995): *Conversations on science, culture, and time*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Schaffner, Simon and Shapin, Steven (2017): *Leviathan and the air-pump: hobbes, boyle, and the experimental life*. Princeton, NJ: Princeton University Press (Princeton classics).
- Søgaard, Rikke; Kristensen, Søren Rud and Bech, Mickael (2015): "Incentivising effort in governance of public hospitals: Development of a delegation-based alternative to activity-based remuneration", in: *Health Policy* 119 (8), pp. 1076–1085.

- Star, Susan Leigh and Griesemer, James R. (1989):
“Institutional ecology, ‘translations’ and
boundary objects: Amateurs and professionals
in Berkeley’s Museum of Vertebrate Zoology,
1907–39”, in: *Social studies of science* 19 (3),
pp. 387–420.
- Stengers, Isabelle (2000): *The invention of modern
science*. Minneapolis: University of Minnesota
Press.
- Strathern, Marilyn (2004): *Partial connections*.
Walnut Creek, CA: AltaMira Press.
- von Hippel, Eric (2006): *Democratizing innovation*.
Cambridge MA; London: MIT Press.

Plausibilisieren

(Re-)Konstruktion als Experiment. Sehen und Hören in antiker Architektur

Christian Kassung und Susanne Muth

Jede Wahrnehmung und Erschließung historischer Räume ist durch eine merkliche Distanz geprägt. Das einstige Leben, das in diesen Räumen stattfand und für das sie geschaffen wurden, ist unwiederbringlich verloren. Zumeist ist auch die materielle und architektonische Ausgestaltung dieser gebauten Räume nur sehr unvollständig erhalten. Eines der Ziele der historischen Wissenschaften ist es daher, diese vergangenen Räume zu rekonstruieren, um ihre historische Bedeutung und Funktion erschließen und auf dieser Grundlage weitergehend interpretieren zu können.

Nehmen wir die archäologische Ausgrabungsstätte des antiken Forum Romanum in Rom als Beispiel (Abb. 1).¹ Von der einstigen, hochaufragenden und komplexen Architektur der Bauten und Monumente der antiken Platzanlage sind wenige Reste verblieben. Entsprechend hat unsere heutige Wahrnehmung des Areals nur wenig mit dem Erleben durch die antiken Stadtbewohner gemein: Statt eines eng umgrenzten Platzes mit imposanter Prachtarchitektur erblicken wir heute eine weitläufige Parkanlage, die in ihrer über die Jahrhunderte entwickelten künstlichen Inszenierung vor allem als idyllische Ruinenlandschaft zu beeindrucken vermag. Um sich der historischen Bedeutung und Funktion des antiken Forum Romanum anzunähern, sind somit Rekonstruktionen unerlässlich.² Als Instrumente der Vergegenwärtigung, aber auch der Überprüfung und Generierung archäologischen Wissens stellen sie ein unverzichtbares methodisches Werkzeug in der Klassischen Archäologie dar.

Dabei kann die archäologische Rekonstruktion auf unterschiedliche Aspekte ausgerichtet werden. Meist steht die Frage nach der visuellen Wahrnehmung des Platzes als statischer, architektonisch gebauter Raum im Zentrum, da dank der Quellenlage hierbei die größte Chance auf eine Annäherung der Rekonstruktion an die historische Realität besteht. Doch erschließt eine solche

- 1 Einführende und grundlegende Literatur zum antiken Forum Romanum, seiner Geschichte und Erforschung: Coarelli 1983/1985, Hölscher 2006, Freyberger 2009, Muth 2014, <http://www.digitales-forum-romanum.de/forum-romanum/> (zuletzt aufgerufen: 19.7.2018).
- 2 Vgl. für einen Überblick über die Rekonstruktionen zum Forum Romanum und einen Vergleich der jeweiligen Fragestellungen, Inhalte und Medien: Bartz/Holter/Muth 2016: 198–205.



Abb. 1. Die moderne Ausgrabungsstätte des antiken Forum Romanum in Rom.

Rekonstruktion der Architektur als visuell wahrnehmbare Kulisse nur einen Teil dessen, was für die antiken Zeitgenossen das Erleben und Wahrnehmen ihrer Platzanlage ausmachte. Was fehlt, ist das konkrete und komplexe Leben auf dem Forum, für welches der Platz gestaltet und auch immer wieder umgebaut wurde. Soll die Rekonstruktion den Fokus stärker auf diesen Aspekt des dynamischen, benutzten und vielfältig belebten Raumes legen, gewinnt sie aufgrund einer weniger umfangreichen Quellenlage einen anderen, stärker konstruktivistischen Charakter.

1 Archäologische (Re)konstruktion als Experiment

Im Spannungsfeld also von Rekonstruktion und Konstruktion entsteht etwas, das man Plausibilitätsraum nennen könnte. Experimentieren in diesem – dann virtuellen Raum – bedeutet, unterschiedliche Parameter der Raum(re)konstruktion auf ihre Plausibilität hin zu testen. Aus dieser Einsicht leitet sich das forschungsstrategische Ziel dieser Experimente ab, Aussagen und Erkenntnisse verstärkt aus der Konstruktion historischer Möglichkeiten und weniger aus der Rekonstruktion historischer Realitäten heraus zu gewinnen. In diesem Sinne könnte man die im Projekt generierten bzw. konstruierten archäologischen Möglichkeitsräume selbst als epistemische Dinge im Sinne von Hans-Jörg Rheinberger bezeichnen, denn es ist

die Materialität der Forschungssysteme selbst, die in den Fokus der experimentellen Aufmerksamkeit rückt (Rheinberger 2006: 27–34).

Das Forum Romanum bildete das öffentlich-politische Zentrum der antiken Stadt und war damit die Bühne für verschiedenste Handlungen insbesondere jenseits der Sphäre des Privaten. Für unsere Virtualisierung der Platzanlage als eines belebten und benutzten Raums wählen wir daher eine seiner zentralen Parameter: seine Nutzung als Ort der öffentlich-politischen Kommunikation in Form der Volksansprachen (*contiones*).³ Die direkte Kommunikation zwischen Politikern und Bürgern bildete einen entscheidenden Faktor in der Benutzung und der Wahrnehmung des Forums.

Wie funktionierte diese Kommunikation praktisch? Wie wurde ein Redner für größere Menschenmengen sicht- und hörbar? Diese Fragen können in Form des archäologischen Experiments erkundet werden. So untersuchen wir, welche architektonischen Konstellationen welche visuellen bzw. akustischen Funktionen gehabt haben können, indem wir basierend auf einem digitalen Modell des architektonisch rekonstruierten Forums⁴ und mit Hilfe aktueller Computertechnik die Sichtmöglichkeiten sowie die Ausbreitung der akustischen Schallwellen simulieren. Im Modell können wir sehen und hören, was antike Zeitgenossen bei den öffentlich-politischen Ansprachen gesehen und gehört haben könnten; das heißt, wir können mögliche visuelle und akustische Funktionen der Architektur realisieren, um damit zugleich die jeweiligen Plausibilitäten unterschiedlicher archäologischer Rekonstruktionen zu bewerten.

Entscheidend für das Gelingen dieser Experimente im Sinne des Gewinnens von belastbaren Aussagen ist, dass wir mit dem Instrument des Vergleichs arbeiten können und daraus das Argument der Relation gewinnen. Insofern setzt die Konstruktion von Plausibilitätsräumen die Rekonstruktion des Wirklichkeitsraums voraus. Das Projekt kann hier auf umfangreiche Vorarbeiten aufbauen, die bereits nachgewiesen haben, dass die Volksversammlungen nicht durchgängig am selben Ort auf dem Forum stattfanden. Im 2. und 1. Jahrhundert v. Chr. lässt sich beobachten, dass die öffentlichen Ansprachen von unterschiedlichen räumlichen

- 3 Zur Bedeutung des Forums als öffentlich-politisches Zentrum und der dort erfolgenden politischen Kommunikation: Hölcher 2006, Muth 2014, Muth 2015, Bartz/Holter/Muth 2016.
- 4 Grundlage für unser Experiment ist das digitale Modell des antiken Forum Romanum, das im Rahmen des Forschungs- und Lehrprojektes „digitales forum romanum“ am Winckelmann-Institut der Humboldt-Universität zu Berlin in Kooperation mit dem Exzellenzcluster Topoi erstellt bzw. erforscht wurde. Website des Projekts: <http://www.digitales-forum-romanum.de> (zuletzt aufgerufen: 19.7.2018). Zu Zielsetzung und Visionen vgl.: Dietrich/Muth 2014, Muth 2015, Bartz/Holter/Muth 2016: 193–194, 200–205.

Positionen aus erfolgten und immer wieder neue Bereiche auf dem Forum als Versammlungsstätten genutzt wurden.⁵

Die archäologischen und literarischen Quellen belegen diese verschiedenen Standorte, erlauben jedoch keine klaren Rückschlüsse auf die primären Gründe für die jeweilige Verlegung. In der archäologischen und historischen Forschungsdiskussion haben sich dementsprechend jene Interpretationsvorschläge durchgesetzt, die in der Wahl der jeweiligen Standorte Instrumente einer symbolischen Repräsentation von Macht und ideologischen Ansprüchen vermuten. Rein funktionale Gründe, wie wir sie in unserem Experiment erproben, kamen hingegen bisher wenig zur Sprache (ausführlicher hierzu vgl. Muth 2014: 305–306 mit Anm. 38, Muth/Schulze 2014).

Der nachweisbar älteste Ort für die Volksansprachen ist das Comitium, eine offene Fläche in der Nordwestecke des Forums direkt vor dem Sitz des Senats (Bartz 2014a). Im Süden wird das Comitium von einer Rednertribüne (*rostra*) begrenzt, auf der die Politiker und Magistrate standen und zu der zwischen Tribüne und Curia versammelten Bürgerschaft sprachen (Abb. 2A). Die literarischen Quellen berichten, dass sich diese räumliche Situation ab der Mitte des 2. Jahrhunderts änderte (vgl. Muth 2014: 306–307 [mit weiterer Literatur]). Aufgrund der Enge des Comitiums und der stetig anwachsenden Bevölkerungszahl in der Metropole wählte man eine neue Konstellation: Die Redner begannen, sich auf der Rednertribüne einfach umzudrehen und nach Südosten in die freie Forumsfläche hinein zu sprechen (Abb. 2B). Gut einhundert Jahre später, im Jahr 45/44 v. Chr., ließ Iulius Caesar in seiner Funktion als gewählter Diktator diese alte Rednertribüne abreißen und eine neue Tribüne an der westlichen Schmalseite des Forums errichten: Von dieser Tribüne, deren Reste heute noch in der Ausgrabungsstätte zu sehen sind, sprachen von nun an die Redner und Politiker, später dann auch die römischen Kaiser zur Bürgerschaft, die sich jetzt durchweg auf der eigentlichen Forumsfläche versammeln konnte (Abb. 2C) (Muth 2014: 304–305 [mit weiterer Literatur], Bartz 2014b).

Die drei beschriebenen historischen Positionen von Redner und Zuhörerschaft bilden die grundlegenden architektonischen Konstellationen, die wir zum Ausgangspunkt für unsere virtuellen Experimente machten. Ziel dieser Experimente war es herauszufinden, wie gut ein Redner innerhalb der jeweiligen Raumkonfigurationen optisch, aber auch akustisch mit seinen Zuhörern interagieren konnte.

5 Zum Wechsel der verschiedenen Standorte ausführlicher: Muth 2014: 303–310, Muth/Schulze 2014, Muth 2015: 39–40, Bartz/Holter/Muth 2016: 204–205.

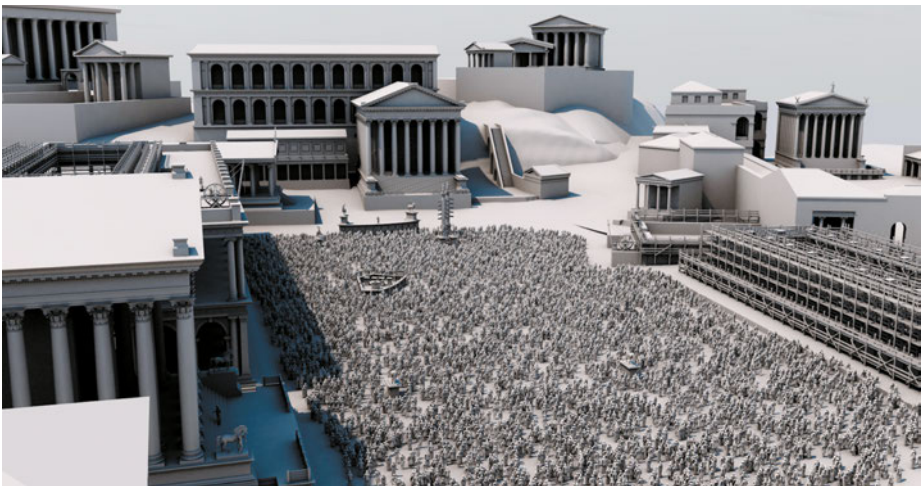
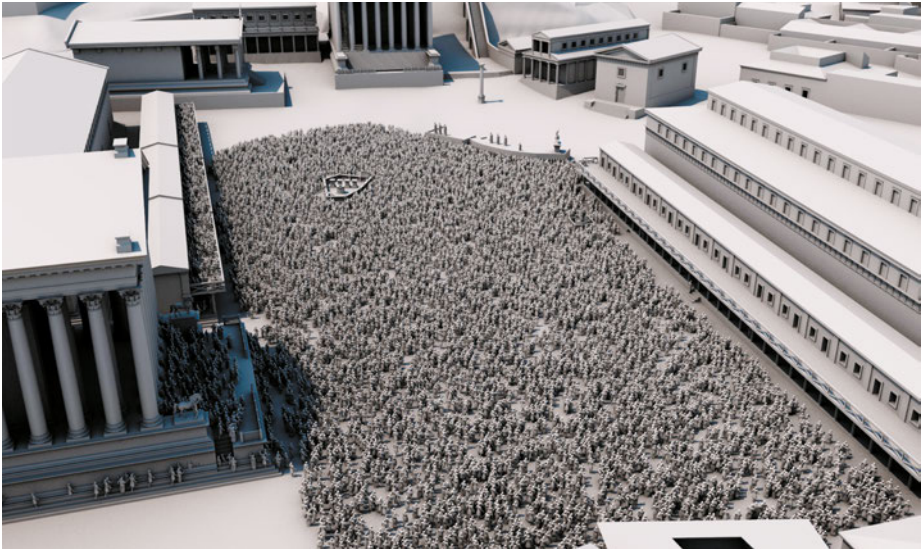
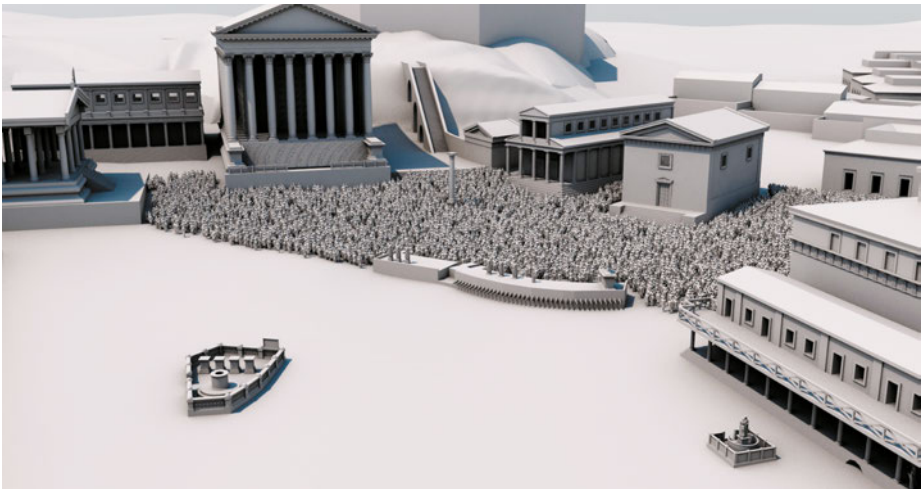


Abb. 2A–C. Digitale Rekonstruktion einer Volkansprache auf dem Forum Romanum; (A) beim Comitium (oben); (B) zum Forumsplatz (Mitte); (C) von der neuen Tribüne Caesars (unten).

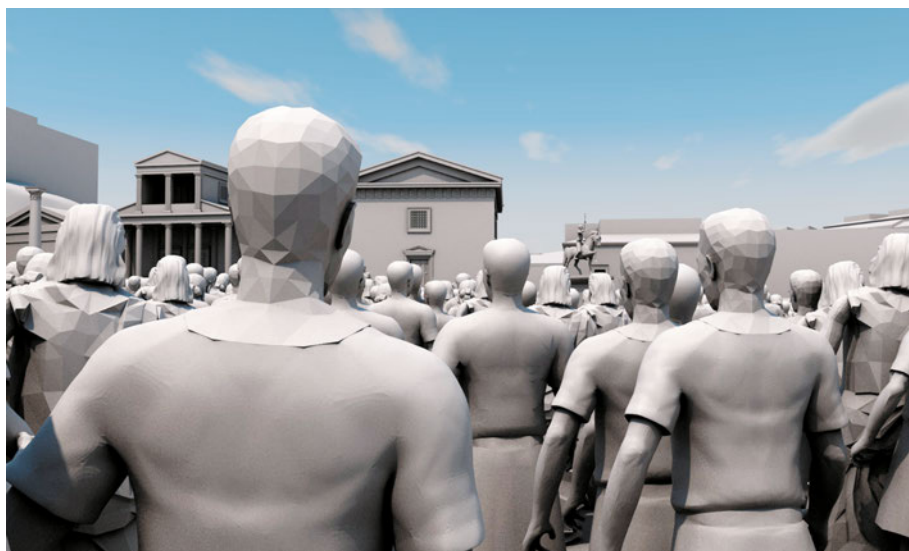


Abb. 3A–C. Digitale Simulation der Sicht eines Zuhörers auf den Redner: (A) beim Comitium (oben); (B) zum Forumsplatz (Mitte); (C) von der neuen Tribüne Caesars (unten).

2 Visuelle und akustische Plausibilitätsräume

Beginnen wir mit der Rekonstruktion der visuellen Kommunikation.⁶ Mit Hilfe der digitalen Architekturmodelle des Forums lassen sich virtuell Bürgerversammlungen an den verschiedenen Standorten simulieren (Abb. 2A–C). Diese erlauben wiederum, Ansichten aus unterschiedlichen Entfernungen auf die jeweiligen Rednerpositionen zu generieren. Aus dem in dieser Weise rekonstruierbaren Blick des Publikums lassen sich Rückschlüsse auf die Möglichkeiten und Grenzen der visuellen Kommunikation ziehen. Dabei zeigt sich deutlich, dass die drei Standorte hinsichtlich der wechselseitigen Sichtbarkeit von Redner und Publikum stark voneinander unterschieden sind.

Ein Redner, der auf der Tribüne nach Norden in Richtung Comitium und der Curia sprach, konnte auf dem leicht ansteigenden Gelände von sehr vielen Zuhörern gesehen werden, selbst wenn diese weiter weg standen. Das gezeigte Beispiel simuliert eine Entfernung von vierzig Metern vom Redner (Abb. 3A). Anders ist die Situation, nachdem sich die Redner auf der Tribüne umgedreht hatten und in Richtung Forumsfläche sprachen: Die Sichtbarkeit war stark eingeschränkt auf diejenigen Zuhörer, die sich in unmittelbarer Nähe der Tribüne befanden. Aufgrund deren geringerer Höhe und wegen des abfallenden Geländes konnten Personen, die nur wenig weiter entfernt standen, den Redner kaum noch sehen, was hier ebenfalls für eine Entfernung von vierzig Metern simuliert ist (Abb. 3B). Eine deutlich andere Situation bot die neue Rednertribüne Caesars an der Westseite des Forumsplatzes: Hier war eine höhere Tribüne errichtet worden, die zudem auf einer gegenüber der Versammlungsfläche der Bürger erhöhten Position lag. Entsprechend konnten die Zuhörenden das Auftreten und die Gesten der Redner auch aus der Entfernung gut verfolgen, wie die zugehörige Simulation bei gleicher Entfernung von vierzig Metern zeigt (Abb. 3C).

Die Simulationen der verschiedenen Rednerstandorte zeigen somit ein recht klares Ergebnis. Während durch die Drehung zur Forumsfläche hin keine Verbesserung der visuellen Kommunikation erzielt wurde, sondern im Gegenteil eine Verschlechterung eintrat, war der Redner auf der neuen Tribüne Caesars auch aus größerer Entfernung gut sichtbar. Wie aber verhielt es sich in den verschiedenen Konstellationen mit der Hörverständlichkeit im Raum – wie viel von dem, was jemand auf der Tribüne sagte,

6 Zu den Ergebnissen unseres Projektes ausführlicher: Muth 2015: 39–40, Bartz/Holter/Muth 2016: 204–205, Muth/Wulf-Rheidt 2017: 22–26, Holter/Muth/Schwesinger 2018; <https://www.interdisciplinary-laboratory.hu-berlin.de/de/content/politische-kommunikation-auf-dem-forum-romanum> (zuletzt aufgerufen: 19.7.2018).

haben die Menschen auf dem Platz verstehen können? Um mit den Schalleigenschaften der rekonstruierten Architektur experimentieren zu können, muss zunächst ein virtuelles akustisches Raummodell erzeugt werden.⁷ Durch ein „hörendes“ Betreten dieses virtuellen Raums wird es möglich, nicht nur die bloße Lautstärke einer Rede einzuschätzen, sondern auch deren Verständlichkeit.

In der virtuellen Akustik werden drei zentrale Elemente miteinander verbunden: Erstens muss ein Signal vorhanden sein. Um dieses zu kreieren, haben wir einen Sprecher den Anfang der zweiten Catilinarischen Rede, die Cicero im Jahr 63 v. Chr. auf dem Forum von der alten Rednertribüne aus hielt, in einem schalltoten Raum einlesen lassen. Zweitens brauchten wir eine Simulation der übrigen auf dem Platz vorhandenen Geräusche, des sogenannten Rauschens. Hierfür haben wir Umgebungsgeräusche während eines Sonntagsgebets auf dem Petersplatz aufgenommen. Und drittens ist der entscheidende Faktor für die Schallausbreitung der Raum selbst als sogenannter Übertrager. Hierbei gilt es vor allem die Wechselwirkungen von Signal und Rauschen mit dem gebauten und mit Menschen gefüllten Raum zu simulieren, was mit Hilfe komplexer Filterfunktionen beschrieben und berechnet werden kann.

Um diese räumlichen Filterprozesse in einer virtuellen Umgebung simulieren zu können, werden bis zu 20 Millionen einzelne Schallsignale von der zuvor festgelegten Sprecherposition in das digitale Modell der Platzarchitektur gesendet und entsprechend den physikalischen Gesetzen berechnet.⁸ Der Computer bezieht dabei die akustischen Eigenschaften der Schallquelle, des architektonischen Raums, der Zuhörerschaft mit ihrer Kleidung als Schallschlucker und sogar der Luft in die Berechnungen mit ein. Das Ergebnis einer solchen Berechnung ist dann eine sogenannte Impulsantwort, ein akustischer Fingerabdruck, den jede Schallwelle auf ihrem Weg durch das virtuelle Modell erhält. Schließlich werden sämtliche Schallwellen, die auf direktem oder indirektem Weg beim virtuell platzierten Hörer ankommen, in die Berechnung des akustischen Eindrucks für diese Punkte einbezogen (Raumimpulsantwort). An diesen Punkten werden dann bestimmte Parameter für die Sprachverständlichkeit (z. B. die nicht durch Hall gestörte Unterscheidbarkeit einzelner Sinnabschnitte oder einzelner

7 Zur Vorgehensweise in unserem Experiment vgl. Kassung/Schwesinger 2016, Kassung/Schwesinger 2018; Holter/Muth/Schwesinger 2018, <https://www.interdisciplinary-laboratory.hu-berlin.de/de/content/politische-kommunikation-auf-dem-foru-romanum> (zuletzt aufgerufen: 19.7.2018).

8 Wir beschreiben hier nur eine von mehreren Möglichkeiten, die Raumimpulsantwort zu berechnen. Programmierungsumgebungen kombinieren diese Möglichkeiten für die akustische Simulation, hierzu ausführlicher: Ahnert/Tennhardt 2008: 244–248.

Konsonanten) mit dem Signal verglichen, um so ein Diagramm der Verständlichkeit für die jeweilige Raumkonfiguration generieren zu können. Dabei ist es ebenso wichtig, die Verständlichkeit des Signals an den unterschiedlichen Raumpositionen durch reale Hörer beurteilen zu lassen und so die Validität der Berechnungen zusehends zu optimieren.

Die nachfolgenden Diagramme visualisieren die Ergebnisse der akustischen Simulationen und Hörtests für drei verschiedene Redesituationen am spätrepublikanischen Forum (Abb. 4A-C). Die Zone innerhalb der gepunkteten Linie markiert den Bereich, in dem ein Redner sehr gut von seinen Zuhörern verstanden wird. Mit der gestrichelt umrandeten Zone markieren wir jene Positionen, in denen die Sprachverständlichkeit nur mit großer Konzentration und ohne weitere Störungen möglich ist. Das Stichwort „weitere Störungen“ verweist dabei auf eine nicht unproblematische, aber durchaus realistische Annahme: Für unser Experiment haben wir bewusst ein Szenario gewählt, in dem die Bürger sich so ruhig wie möglich verhalten – wohl wissend, dass oftmals auch das Gegenteil der Fall war, da die Redner von ihren politischen Kontrahenten und Gegnern gezielt und massiv gestört wurden. Insofern charakterisieren die Diagramme idealisierte Szenarien und ermöglichen lediglich den *relativen* Vergleich der drei verschiedenen Ansprachesituationen, was zum Begriff des Plausibilitätsraums zurückführt.

Vergleichen wir nun die drei Konstellationen miteinander, so zeigt sich bei dem ältesten Standort, dass ein Redner von der Tribüne aus den gesamten Raum bis zur Curia leicht mit seiner Stimme erreichen konnte (Abb. 4A). Mit der Hinwendung zum offenen Platz der Forumsfläche, bei der zweiten Standortwahl (von der aus Cicero seine Rede einst auch sprach), konnten die Redner zwar theoretisch eine größere Zuhörerschaft erreichen als im abgegrenzten Raum des Comitiums, da die freie Forumsfläche deutlich mehr Bürger aufnehmen konnte. Allerdings bedeutete diese neue Konstellation im Vergleich zur vorangegangenen Situation keine Verbesserung, im Gegenteil: Die Fläche mit einer guten Sprachverständlichkeit ist hier aufgrund der akustischen Funktion der architektonischen Gegebenheiten kleiner als zuvor. Der Bereich mit einer befriedigenden Akustik dagegen ist größer, jedoch wirken sich hier auch Störungen gravierender aus (Abb. 4B). In der dritten Konfiguration mit der neuen Rednertribüne Caesars kann die größte Hörerschaft erreicht werden. Geht man von durchschnittlich vier Personen pro Quadratmeter aus, so können hier rund 12.000 Menschen problemlos, weitere 10.000 Personen durch angestrengtes Hinhören einer Rede folgen (Abb. 4C).

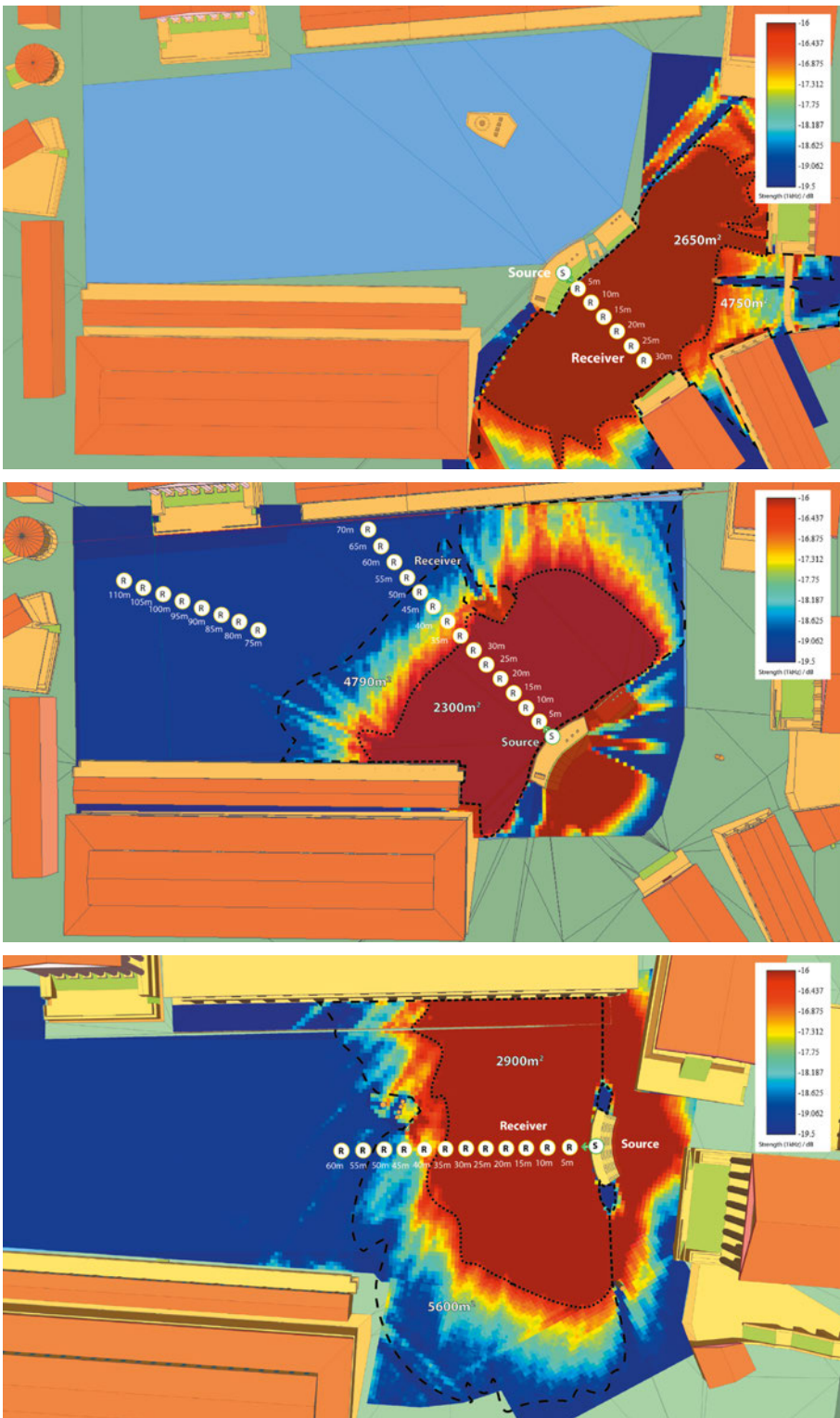


Abb. 4A–C. Auralisierung einer Ansprache auf dem Forum Romanum: (A) beim Comitium (oben); (B) zum Forumsplatz (Mitte); (C) von der neuen Tribüne Caesars (unten).

An diesen gewaltigen Zuhörerzahlen lässt sich die architektonische Funktion der verschiedenen Rednerorte ablesen. Die neue Rednertribüne Caesars bot gegenüber den älteren Standorten eindeutig bessere Rahmenbedingungen für die politische Kommunikation. Diese Beobachtungen sprechen sehr für eine Neubewertung der historischen Interpretation des caesarischen Bauprojektes – und machen plausibel, dass es auch funktionale Gründe waren, die zu diesem Eingriff führten, während die symbolisch-ideologische Funktion der Architektur in diesem Fall eher in den Hintergrund tritt.⁹ Unser Experiment erlaubt es also, neues archäologisches Wissen über die Konstruktion akustischer Möglichkeitsräume zu generieren, aber auch neue Annahmen über die Hintergründe für die Umgestaltung des Forums zu treffen. So zeigt es, wie wertvoll Simulationen multisensorieller Eigenschaften von Orten und Räumen für die Gewinnung neuer Fragen und Thesen sein können. Denn die Frage nach der akustischen Funktion von Räumen ist ein Forschungsfeld, das überhaupt erst durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Archäologie, virtueller Akustik und Kulturwissenschaft in den Blick gekommen und bearbeitbar geworden ist.

3 Audiovisuelle Konstruktion

Auf der Grundlage dieser ersten Forschungsergebnisse schließt sich die Frage an, welche weiteren Ansätze zur Experimentalisierung historischer Räume denkbar sind. Hierfür kommt zunächst die Verbindung der akustischen und der optischen Ebene in Frage, denn es bedeutet für die Sprachverständlichkeit einen großen Unterschied, ob der Zuhörer den Redner sieht oder nicht.¹⁰ Hinzu kommt die Tatsache, dass, obwohl die grafischen Visualisierungen klar umrissene Zonen unterschiedlicher Sprachverständlichkeit suggerieren, diese Grenzen in unseren eigenen Hörtests sehr viel durchlässiger waren. Abhängig von der Vertrautheit mit den Inhalten der römischen Politik und Rhetorik verschoben sich die Bereiche der Sprachverständlichkeit deutlich. Ebenso ist die Dynamik der Redeweise eines Sprechers für die Verständlichkeit entscheidend, von spezifischen Eigenschaften der gewählten Sprache ganz abgesehen. Solche Überlegungen führen zu der weiteren Frage, inwiefern überhaupt bzw. bis zu welchem Grad vollständige,

- 9 Zur Diskussion um die historische Interpretation weiterführend: Muth 2014: 303–310, Muth 2015: 39–40, Bartz/Holter/Muth 2016: 204–205, Muth/Wulf-Rheidt 2017: 22–26, Holter/Muth/Schwesinger 2018.
- 10 Untersuchungen zur Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit von (manipulierten) visuellen Eindrücken gehen auf den 1976 erstmals publizierten McGurk-Effekt zurück, hierzu McGurk/MacDonald 1976. Eine weiterführende Übertragung auf die gesamte körperliche Performanz in virtuellen Umgebungen ist bis dato noch nicht erfolgt.

wörtliche Verständlichkeit notwendige Voraussetzung für das Übermitteln politischer Botschaften ist. Vielleicht sind andere, stärker performative Formen der Kommunikation ebenso wichtig.

Um dies zu prüfen, müssen wir folglich die performative Dimension der politischen Kommunikation mit in unseren Experimenten berücksichtigen. Die Möglichkeiten einer solchen dynamischen Simulation haben wir bislang nur an einem architektonisch einfacheren antiken Versammlungsort erproben können: der Pnyx im antiken Athen.¹¹ Auf diesem Hügel im Süden der Stadt Athen lag seit Beginn des 5. Jahrhunderts v. Chr. der Ort der Volksversammlung (*ekklesia*). Dabei wurde ursprünglich die natürliche Neigung des Hügels für eine theaterähnliche Situation genutzt; im Laufe der Zeit wurden verschiedene bauliche Änderungen vorgenommen und der Versammlungsraum erweitert.¹²

Am Beispiel der Pnyx versuchten wir nun, unsere digitalen Rekonstruktionen in die Computerspieleumgebung Unity zu integrieren (Abb. 5).¹³ Dadurch wurde es möglich, neben Licht und Sound auch Bewegung zu simulieren. An die Stelle von Diagrammen und statischen Hörsituationen treten somit interaktive, begehbare Welten. Dies bedeutet wiederum, dass nun auch Prozesse abgebildet und untersucht werden können. Ein vollständiges Szenario würde beispielsweise den gesamten Prozess einer Volksversammlung vom Besteigen der Pnyx, dem Finden eines freien Platzes, dem Interagieren mit anderen Akteuren bis hin zum audiovisuellen Eindruck der Rede umfassen.

Natürlich ist die Verwendung derartiger Technologien mit spezifischen Problemen verbunden. Spieleumgebungen wurden nicht entwickelt, um historische Forschung zu betreiben. Aber die vielfältigen Hindernisse und Fragen, insbesondere aber die Produktion von Hypothesen über die vergangenen Wirklichkeiten, die im Verlauf einer solchen Implementierung auftreten, sind integraler Bestandteil des Forschungsprozesses selbst. Medien wie die Zeichnung, die Fotografie, das Modell oder das Diagramm wurden innerhalb der Archäologie bislang zumeist zur Rekonstruktion historischer Wirklichkeit verwendet. Konfrontiert man eine

11 Das der Simulation zugrundeliegende Modell der Athener Pnyx wurde im Rahmen unseres Projekts im Exzellenzcluster *Bild Wissen Gestaltung* erarbeitet. Website des Projekts: <https://www.interdisciplinary-laboratory.hu-berlin.de/de/content/politische-kommunikation-auf-der-pnyx-volksversammlungsplatz-athen> (zuletzt aufgerufen: 19.7.2018).

12 Zur Pnyx als Ort der Volksversammlung im antiken Athen und den baulichen Veränderungen der Versammlungsstätte im Laufe der Zeit: Thompson 1982, Forsén/Stanton 1996, Camp 2001: 46–47, 132, 153–154, 264–266.

13 Zum Projekt ausführlicher: <https://www.interdisciplinary-laboratory.hu-berlin.de/de/content/politische-kommunikation-auf-der-pnyx-volksversammlungsplatz-athen> (zuletzt aufgerufen: 19.7.2018); Videopräsentation der ersten Ergebnisse des Experiments: <https://www.youtube.com/watch?v=tT7VveNhio> (zuletzt aufgerufen: 19.7.2018).



Abb. 5. Virtuelle Simulation einer Ansprache auf der antiken Athener Pnyx in Unity.

Wissenschaft wie die Archäologie dagegen mit einer so jungen Medientechnologie wie der VR Game Engine Unity, so kommt man gar nicht umhin, das Verhältnis von Wissensproduktion und Medien intensiv zu diskutieren, also den konstruktiven Aspekt stärker in den Vordergrund zu stellen. Experimentieren heißt in diesem Sinne also gerade nicht, dass die Funktion der Medien quasi neutralisiert wird, um durch sie hindurch zu Aussagen zu gelangen. Mit unserer Auffassung von (Re)Konstruktion als Experiment plädieren wir vielmehr für einen offensiven, generativen und konstruktiven Umgang mit ihnen, indem die Wissensobjekte in Medien wie Unity allererst erzeugt werden. Verbunden damit ist freilich auch die Hoffnung, dass die Verwendung dieser neuen Medien zu neuen Fragestellungen und Erkenntnissen führt.

Die präsentierten Forschungsergebnisse sind im Rahmen eines interdisziplinären Projekts, das am Exzellenzcluster *Bild Wissen Gestaltung* im Verbund von Klassischer Archäologie (Susanne Muth), Virtueller Akustik (Stefan Weinzierl) und Kulturwissenschaft (Christian Kassung) durchgeführt wird, aus gemeinsamer Arbeit entstanden. Unser Dank gilt vor allem den MitarbeiterInnen, die in diesem Projekt von Anfang an auch Ideengeber, Motor und Innovatoren waren: Jana Beutler, Christoph Böhm, Felicitas Fiedler, Erika Holter, Dirk Mariaschk, Una Schäfer und Sebastian Schwesinger. Weitergehende Informationen zu unserem Forschungsprojekt finden sich unter <https://www.interdisciplinary-laboratory.hu-berlin.de/de/content/analogspeicher-ii-auralisierung-archaologischer-raume/> (zuletzt aufgerufen: 19.7.2018).

Literatur

- Ahnert, Wolfgang und Tennhardt, Hanns-Peter (2008): „Raumakustik“, in: Weinzierl, Stefan (Hg.): *Handbuch der Audioakustik*. Berlin: Springer, S. 181–266.
- Bartz, Jessica (2014a): „Comitium“. Online unter: www.digitales-forum-romanum.de/gebaeude/comitium (zuletzt aufgerufen: 19.7.2018).
- Bartz, Jessica (2014b): „Rostra Augusti“. Online unter: www.digitales-forum-romanum.de/gebaeude/rostra-augusti (zuletzt aufgerufen: 19.7.2018).
- Bartz, Jessica; Holter, Erika und Muth, Susanne (2016): „Digitales Forum Romanum – Chancen und Grenzen virtueller Rekonstruktion und Simulation“, in: Zimmer, Kathrin B. (Hg.): *Von der Reproduktion zur Rekonstruktion – Umgang mit Antike(n) II*. Rahden: Verlag Marie Leidorf, S. 193–208.
- Camp, John M. (2001): *The Archaeology of Athens*. New Haven: Yale University Press.
- Coarelli, Filippo (1983/1985): *Il Foro Romano*. 2 Bände. Rom: Edizioni Quasar.
- Dietrich, Nikolaus und Muth, Susanne (2014): „Zielsetzung“. Online unter: www.digitales-forum-romanum.de/projekt/zielsetzung (zuletzt aufgerufen: 19.7.2018)
- Forsén, Björn und Stanton, Greg (Hg.) (1996): *The Pnyx in the History of Athens*. Helsinki: Foundation of the Finnish Institute at Athens.
- Freyberger, Stefan (2009): *Das Forum Romanum. Spiegel der Stadtgeschichte des antiken Rom*. Mainz: Zabern.
- Hölscher, Tonio (2006): „Das Forum Romanum, die monumentale Geschichte Roms“, in: Stein-Hölskeskamp, Elke und Hölskeskamp, Karl Joachim (Hg.): *Erinnerungsorte der Antike. Die römische Welt*. München: Beck, S. 100–122.
- Holter, Erika (2014): „Vom Arbeiten mit digitalen Rekonstruktionen“. Online unter: www.digitales-forum-romanum.de/projekt/vom-arbeiten-mit-digitalen-rekonstruktionen (zuletzt aufgerufen: 19.7.2018).
- Holter, Erika; Muth, Susanne und Schwesinger, Sebastian (2018): „Sounding Out Public Space in Antiquity. Acoustic Simulations of Public Speeches and Assemblies in Late Republican Rome“, in: Butler, Shane; Nooter, Sarah (Hg.): *Sound and the Ancient Senses*. London: Routledge, S.44–60.
- Kassung, Christian und Schwesinger, Sebastian (2016): „How to Hear the Forum Romanum. On Historical Realities and Aural Augmentation“, in: Busch, Carsten und Sieck, Jürgen (Hg.): *Kultur und Informatik. Augmented Reality*. Glückstadt: Verlag Werner Hülsbusch, S. 41–53.
- Kassung, Christian und Schwesinger, Sebastian (2018): „Saxa Loquuntur: The Function of (Multi-)Media for Antique Architecture“, in: Jat, Dharm Singh; Sieck, Jürgen; Musingi, Hippolyte N'Sung-Nza; Winschiers-Theophilus, Heike; Peters, Anicia und Nggada, Shawulu (Hg.): *Digitisation of Culture: Namibian and International Perspectives*. Singapur: Springer, S. 171–185.
- McGurk, Harry und MacDonald, John (1976): „Hearing Lips and Seeing Voices“, in: *Nature* 264, S. 746–748.
- Muth, Susanne (2014): „Historische Dimensionen des gebauten Raumes: Das Forum Romanum als Fallbeispiel“, in: Dally, Ortwin; Hölscher, Tonio; Muth, Susanne und Schneider, Rolf (Hg.): *Medien der Geschichte: Antikes Griechenland und Rom*. Berlin: De Gruyter, S. 285–329.
- Muth, Susanne (2015): „Das Forum Romanum: Roms antikes Zentrum neu verstehen“, in: *Antike Welt* 46, Heft 6, S. 34–40.
- Muth, Susanne und Schulze, Holger (2014): „Wissensformen des Raums: die schmutzigen Details des Forum Romanum – Archäologie & Sound Studies im Dialog“, in: *Cluster-Zeitung CZ#*, Nr. 55, S. 7–11.
- Muth, Susanne und Wulf-Rheidt, Ulrike (2017): „Beeindrucken durch Wort und Bau“. In: *Spektrum des Wissens Spezial* 4. 17: Das Wissen der Antike, S. 22–27.
- Rheinberger, Hans-Jörg (2006): *Experimentalsysteme und epistemische Dinge*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Thompson, Homer A. (1982): „The Pnyx in Models“, in: *Hesperia* Suppl. 19, S. 133–147.

Proben

Ein Bericht aus der choreografischen Praxis

Interview mit Lea Moro

Lea Moro arbeitet als Choreografin und Tänzerin in Berlin und Zürich. Sie hat im November 2016 an unserer Workshopreihe „ExpertInnen des Experiments“ mit einem Vortrag teilgenommen. Für den vorliegenden Band durften wir sie zu ihrem Verständnis und ihrer Praxis des Experiments in Tanz und Choreografie befragen.

Hrsg.: Wie verstehen Sie das Experiment in der Choreografie oder im Tanz?

Lea Moro: Nach meinem Verständnis bildet das Experimentieren einen grundlegenden Teil von Tanz und Choreografie. Der ganze Ablauf ist eine Art Experiment. Ein Stück zu entwickeln bildet eigentlich schon eine Versuchsanordnung. Am Anfang steht ein Konzept: Es stammt aus Themen, zu denen ich mich verhalte und Fragestellungen aufwerfe. Wie es dann in der Praxis oder in einem Probeverlauf abläuft, ist eine ganz andere Sache, weil der Körper im Raum für mich andere Fragestellungen aufwirft als die rationale, ursprüngliche Reflexion. Für mich ist so ein ganzer Projekt- ablauf ein Experiment, weil man ja etwas kreiert, was es noch nicht gibt. Und auch etwas, was man sich eigentlich noch nicht wirklich vorstellen kann. Schritt für Schritt nähert man sich dieser Vorstellung an. Es gibt bestimmte Variablen: Wie viele Projekt- beteiligte sind in dem Projekt? Welche unterschiedliche Vorstel- lungskraft bringt jeder Einzelne in den kreativen Prozess mit ein? Was ist der zeitliche Rahmen? Was ist der finanzielle Umfang?

Wenn man ein Stück kreiert, ist das ja immer auch in dem Sinne ein Experiment, dass es eine Auswertung von gewissen Fragestel- lungen und Thesen ist. Was ist das Ergebnis am Ende? Das ist dann sicherlich sehr subjektiv. Also einerseits gibt es den oder die Choreografin, also mich als Initiatorin des Projekts, die eine andere Erfahrung hat als zum Beispiel die, die da mittanzen. Jeder hat eine andere Bezugnahme zu dem, was kreiert wird. Zudem gibt es ein Publikum, das das bewertet, oder eine kritische Masse,

wie zum Beispiel die Presse. Wie wird das, was stattgefunden hat, evaluiert? Ich habe gelernt, mich davon zu distanzieren, weil man so exponiert ist und weil es eigentlich keine Wertigkeit hat.

Sie meinen, dass man eigentlich nicht prüfen kann, ob das Experiment geklappt oder nicht geklappt hat?

Ich finde, so etwas kann man nicht sagen. Natürlich gibt es die Stücke, die sehr gehypt und von allen gut gefunden werden. Dann würde man sagen: „Es hat geklappt.“ Aber dann kann es ja auch Stücke geben, bei denen es ambivalenter ist. Die Parameter, nach denen etwas bewertet wird, sind eigentlich offen. Zum Beispiel: Es ist dein erstes Stück und du überraschst alle oder es ist dein zweites Stück und alle denken: Ah, das zweite ist jetzt aber nicht wie das erste geworden. Das sind Variablen: Was passiert gerade im Weltgeschehen oder sonst in der Kunst? Ist es politisch genug oder nicht? Es sind, wenn man es wirklich herunterbricht, eigentlich Faktoren, die auf einer subjektiven Empfindung basieren.

Könnten Sie bitte einmal möglichst detailliert einen experimentellen Ablauf beschreiben?

Zuerst wird ein Antrag geschrieben, um eine Förderung zu akquirieren. Dabei dient der Inhalt des Antrags als Grundlage für die Recherche und konkrete Projektrealisierung im Studio. Es gilt hervorzuheben, dass die Praxis sich oftmals vom Antrag nochmals abgrenzt, der Antrag selbst aber bereits ein vollumfängliches Bild des Projekts und auch seines Resultats aufzeigen sollte. Die eigentliche künstlerische Arbeit gestaltet sich im Studio mit den Projektbeteiligten, dem Projektinhalt, den Recherchefragen und den wunderbaren Herausforderungen in diesem Prozess, ein Team zu leiten.

Manchmal erscheint es mir unlogisch, im Antragstext schon vieles vorwegnehmen zu müssen. Aber natürlich wollen die Förderer anhand des Konzepts schon so genau wie möglich sehen, was sie eigentlich am Ende zu sehen bekommen.

Mit den Fördergeldern wird Probezeit finanziert. Nach der Erfahrung sind es im Tanz maximal zwölf Wochen in Probeblöcken, in denen man gemeinsam im Studio arbeitet. Neben der künstlerischen Arbeit und Projektkreation ist die Teambildung genauso wichtig. Wie funktioniert jeder Einzelne, was kann er oder sie Einzigartiges zum Projekt beitragen? Zudem ist es sehr unterschiedlich, also in meinem Falle, was die Stücke sind und welche Praxis sie verlangen. Zum Beispiel in dem Stück „The End of the Alphabet“ wollte ich ein Solo auf Rollschuhen machen und es sollte

ein Musical zu Vivaldis „Vier Jahreszeiten“ werden. Das ist ja schon wie eine Versuchsanordnung, die gewisse Parameter (Rollschuhe, Musical) voraussetzt. Ich konnte damals nicht wirklich Rollschuh fahren. Also habe ich Rollschuhfahren gelernt und vor allem gelernt, wo die Grenzen des Körpers sind. Wie weit kommt man und wohin nicht? Dann habe ich singen gelernt. Das sind eigentlich unterschiedliche Aufgabenstellungen für eine Versuchsanordnung.

Mit dem Thema haben Sie auch schon Bewegungen und Muster gedacht?

Ja, es kann sein, dass ich zum Beispiel gerne eine Sequenz am Boden hätte, bei der die Körper wie in einen kontinuierlichen Schwebestand kommen. Es kann sein, dass ich ein Bild, eine Vorstellung dazu habe oder mir eine Qualität denke, und die fließt dann ein. Aber was letztendlich passiert, ist noch völlig offen. Dann wird beobachtet. Man beobachtet stark. Es gibt auch Leute, die sehr stark mit Kamera und Dokumentation arbeiten. In der Beobachtung sieht man zum Beispiel: Dieser Körper setzt das so um, dieser Körper setzt diese Aufgabe anders um. Von dieser Beobachtung geht es weiter und dann kann es sein, dass wir zum Beispiel fünf Körper haben, die alle eine ähnliche Physikalität oder ein ähnliches Training haben und demnach möglicherweise als Gruppe in ihrer Bewegungsqualität homogener werden. Es kann aber auch sein, dass man es an gewissen Punkten gar nicht schafft, diese Wunschvorstellung zu erhalten, weil die Körper einfach unterschiedlich sind, und dies kann genauso von großem Wert sein. Es gibt immer eine große Diskrepanz oder Lücke zwischen dem, was man hineingibt, dem, was man beobachtet, und dem, wie es weitergeht.

Die Interpretation kommt für mich mit der eigenen Erfahrung: in der subjektiven, in der körperlichen Erfahrung und in der Beobachtung selbst. Bisher bin ich in allen Stücken auch selbst Performende gewesen. Es ist nicht immer einfach, mit diesem Außen/Innen umzugehen. Es ist aber extrem wichtig, weil wie sich etwas von innen anfühlt, meistens ganz anders als das Außen ist. Aber manchmal wird einem auch gesagt: „Ich verstehe jetzt überhaupt nicht, wo das hingeht. Zeig's doch mal!“ Oder es wird von außen beobachtet: „Jetzt hattest du es!“ Und dann kommt ein anderer Faktor auf: Das ist die Wiederholbarkeit. Die Wiederholbarkeit von etwas, von dem man denkt, es war hier. Um eine Wiederholbarkeit herzustellen, bedarf es einer differenzierten subjektiven Wahrnehmung und im besten Fall ihrer Artikulation.

Das Verfahren erscheint mir sehr explorativ: Man hat zwar eine Hypothese, zum Beispiel die Vorstellung von den schwebenden Körpern am Boden, aber es ist nicht klar, was entsteht. Das Experiment besteht dann darin, dass iterativ angepasst wird, zwischen Beobachtung und Reaktion, verstehe ich das richtig?

Ja genau! Man passt es immer wieder an, um die Anordnung zu finden, die wiederholbar ist. Das Experimentelle findet überwiegend während der Probe statt und bei der Aufführung nicht mehr. Dann ist es schon ein Produkt geworden. Für die Aufführung muss es wiederholbar sein. Es gibt natürlich auch Stücke, die offener bzw. mehr mit Improvisation angelegt sind. Sie sind in der Grundsubstanz vielleicht noch experimenteller angelegt, auch in der Wiederholung. Aber wenn ein Stück in diese Wiederholungsschleife der Aufführungen kommt, wird in jedem Fall das Experimentelle immer stärker: nun in Bezug auf die Reaktion des Publikums bzw. die RezipientInnenebene.

Zum Beispiel mache ich in Probeprozessen immer auch offene Proben, bei denen ein Publikum oder gewisse Personen eingeladen werden. Das ist eine Art Zwischenstadium, in dem etwas ausprobiert wird und darauf Feedback folgen kann. Ich würde es nicht Auswertung nennen, aber es ist doch etwas, bei dem schon einmal „Aktion-Reaktion“ geübt wird. Denn das Publikum ist eine relevante Instanz in der Rezeption eines Tanzstücks. Mitunter kann ein Publikum auch bestimmen, wie ein Abend verlaufen mag.

Sicherlich gibt es hier verschiedene Grade des Experimentellen. Beispielsweise wenn ein Stück von Berlin in Japan gezeigt wird, hat das noch mal einen experimentelleren Charakter, weil das Publikum dort ganz anders ist. Aber egal, wo etwas aufgeführt wird: Obwohl etwas schon fertig ist und an sich das Konstrukt nicht mehr als Experiment betrachtet werden kann, ist doch die Auseinandersetzung, die dann damit gegenüber oder mit dem Publikum geführt wird, oder die Frage, wie etwas aufgenommen wird, eigentlich ein offener Faktor.

Und wie wird diese wiederholbare Anordnung fixiert?

Das ist ganz unterschiedlich, meistens über die Erinnerung. Wir haben dann auch gewisse Beschreibungen innerhalb der Gruppe dafür. Meistens finden einzelne Sequenzen und Parts im Stück ihre eigenen Namen, die im kreativen Prozess entstehen und nur intern geteilt werden. Es gibt gewisse Abschnitte, in denen sich etwas sehr präzise entwickelt hat, dann notiere ich mir das, einfach für mich. Sonst ist es meistens so, dass man mit Videos oder mit Skizzen

arbeitet, aber letztlich macht jeder das individuell. Aber ich habe noch nie jemanden kennengelernt, der oder die dann sagt: „Ich habe jetzt mein Notizbuch hervorgehoben“, sondern man arbeitet dann mit dem Körper und der Erinnerung, mit physischer Erinnerung. Wenn ein Stück länger nicht performt wurde, dann entwickelt man auch eine gewisse Distanz zum choreografischen Material. Das kann durchaus spannend sein. Etwas Festes wird nochmals fragil und kann sich möglicherweise weiterentwickeln. Dabei gilt es das Essenzielle einzelner Abschnitte im Stück nicht zu verlieren und doch nicht in eine bloße Wiederholbarkeit zu geraten.

Sehen Sie darin den Unterschied zwischen künstlerischem und wissenschaftlichem Experiment, in der Rolle der Subjektivität?

Ich habe schon das Gefühl, dass es einen Unterschied macht, wenn man sagt, ein choreografischer Entwicklungsprozess sei ein Experiment. Ich verstehe das als einen Unterbau für eine Aufgabenebene. Die Methoden sind eigentlich experimentell angelegt und es geht genau um diesen Prozess, von dem wir gesprochen haben – man weiß nie, was passiert. Aber um eins klar zu machen: Vielleicht gibt es TanzwissenschaftlerInnen, die in ihrer Analyse diesen experimentellen Charakter herausrecherchiert haben, aber ich habe vorher noch nie über das Experiment an sich nachgedacht, ich bin ihm im Studium nie begegnet. Aber wenn man es so herunterbricht, ist das natürlich das Gerüst jedes Prozesses.

Welche Begriffe werden denn in der Praxis bevorzugt, wenn nicht „experimentieren“?

Recherche. Ich setze Hypothesen, ich setze Fragestellungen, ich recherchiere, es kann ergebnisoffen sein und dann wird geprobt. Auf Englisch – das ist oft die Sprache in der Probe – sage ich selten oder ich habe auch selten gehört: „Wir experimentieren jetzt damit“, sondern dann sagt man „investigate“, was für mich mehr mit dem Körper zu tun hat als „experimentieren“, was für mich mehr mit Objekten zu tun hat.

Vieles im Tanz läuft über die kinästhetische und somatische Ebene. Dabei geht es um das Erleben von Wahrnehmung(en). Dadurch wird es sehr persönlich und individuell und es verliert für mich den Experimentcharakter. Die Recherchefragen oder Aufgabenstellungen können geschlossener oder offener formuliert sein. Sie setzen die Investigation voraus und haben oftmals durch zeitliche Komponente einen Anfang und ein Ende. Jedoch ist die Wahrnehmung ein infiniten Prozess, bedingt durch verschiedenste Faktoren.

Diese Spannung zwischen erfahrungsbasiert und wiederholbar ist sehr interessant. Das bedeutet auch, dass eine Performance übertragbar sein soll, oder? Ich nehme an, dass Ihre Stücke nicht unbedingt an einer bestimmten Truppe von TänzerInnen haften, oder?

Na doch. Das ist jetzt ein spannender Punkt. Wenn wir touren, sind das die gleichen Leute. Ich hatte schon mal den Fall, dass für ein Stück jemand neu eingearbeitet werden musste. Damals habe ich gedacht: Es gibt jetzt das ganze Material, das können wir kurz an einem Tag gemeinsam im Studio einarbeiten. Und ich bin richtig unruhig geworden, weil das nicht geklappt hat. Bis ich verstanden habe: Der Ersatztänzer hat nicht am künstlerischen Kurationsprozess teilgenommen. Gemeinsam durch den Prozess zu gehen und diesen zu gestalten, sich zu beobachten ist ein großer Teil der Arbeit. So, wie der Gruppenprozess auch Teil des künstlerischen Prozesses und Teil des Experimentes ist.

Das bedeutet, es besteht ein Unterschied zwischen Wiederholbarkeit und Übertragbarkeit?

Ja. Man kann sagen: Es ist natürlich nicht alles neu, wenn man es überträgt, aber es sind ja wieder andere Personen und es ist wieder eine andere subjektive Erfahrung vorhanden, auch innerhalb eines bestehenden Materials. Ein neuer Körper fordert andere Beziehungen zum Material und wirft andere Fragen auf. Zum Beispiel kann man zu viert im Studio proben und dann kommt eine andere Person dazu. Diese Person ist „nur“ im Raum anwesend, verändert aber doch die gefühlte räumliche Versuchsanordnung und Gruppenkonstellation. Jede Präsenz bringt ihre eigenen Energien mit in den physischen und sozialen Raum.

Würden Sie sagen, dass diese Art und Weise zu produzieren verbreitet ist im Tanzbereich? Und ist es spezifisch im Tanzbereich im Vergleich zu anderen künstlerischen Sparten?

Im zeitgenössischen Tanz, so wie ich ihn kenne, ist das schon verbreitet. Ich denke, im Ballett geht man ganz anders vor, da geht es mehr um die Technik, da ist das Vokabular, da ist das, was entsteht, vielleicht auch weniger prozessoffen. Es ist in dem Sinne nicht experimentell.

Der zeitgenössische Tanz ist ein sehr spezifisches Feld, in dem die Regeln für Beteiligte von außen nicht sofort klar sind. Deshalb glaube ich, dass es teilweise gar nicht so einfach ist, interdisziplinär zu arbeiten, weil jede künstlerische Richtung ihre eigenen Arbeitsweisen und Kurationsrhythmen hat. Beispielsweise haben Projekte



Abb. 1. (oben) *FUN!*
Abb. 2. (unten) *The End of the Alphabet.*

der Freien Szene einen anderen Produktionsapparat als Arbeiten, die am Stadttheater entstehen. Jeder Künstler, jede Künstlerin bringt auch individuelle Arbeitsweisen mit, die einen mögen es, früh Material festzulegen, andere möchten für längere Zeit prozess-offener proben und widmen Zeit dem Ausprobieren.

Und jetzt kommen wir zu der letzten Frage: Haben Sie bereits interdisziplinäre Experimente gemacht?

Diese Frage lässt sich mit Ja und Nein beantworten. Ich glaube, dass ich durch die verschiedenen Projektbeteiligten (Tanz, Musik, Kostüm, Bühne, Grafik) in jedem Stück einen interdisziplinären Ansatz pflege. Jedoch habe ich noch nie explizit ein interdisziplinäres Projekt initiiert. Denn in meinen Arbeiten ist doch klar – so war es jedenfalls bisher –, dass es ein Tanzstück, eine Performance wird. Meistens, je nach Thema, ziehe ich ExpertInnen hinzu – zum Beispiel hat uns mal eine Zauberin *Magical Tricks* gezeigt und beigebracht und ich habe sie punktuell in den Prozess einbezogen. Zurück zur Frage: Ich glaube, ich habe noch nie an etwas teilgenommen, bei dem unterschiedliche Disziplinen eine gemeinsame Investigation durchgeführt haben.

Aber was ich gerne mache und was schon etwas in die Richtung geht, ist, dass ich bei Proben nicht nur Tanzleute, sondern auch andere Leute einlade. Ich sage dann schon auch: „Bringst du jetzt mal deine Musikfreunde mit oder jemanden von der bildenden Kunst?“ Damit man unterschiedliche Sichtweisen hat, weil der zeitgenössische Tanz sehr gefärbt ist von seiner eigenen Sprache. Interdisziplinarität ist zu einem wichtigen Begriff herangewachsen. Dabei gilt es herauszufinden, auf welcher Ebene ein Projekt interdisziplinäre Komponenten enthält. Meiner Meinung nach wird es sonst oft sehr diffus, denn vieles kann interdisziplinär ausgelegt werden.

Programmieren

Zwischen Mensch und Technik. Das Experiment in der Informatik

Claudia Müller-Birn und Jesse Josua Benjamin

Experimente stehen traditionell im Mittelpunkt eines naturwissenschaftlich geprägten Weltbilds, in welchem wissenschaftliches Arbeiten auf der Bildung von Hypothesen basiert, welche durch Experimente getestet werden. Erfolgreich bestätigte Hypothesen werden dann zu Modellen, die es erlauben, Phänomene in der Welt zu erklären oder vorherzusagen. Die Rolle und Bedeutung des Experiments in der Informatik ist damit eng verknüpft mit dem Selbstverständnis der Informatik als Disziplin. Im Zuge des technologischen Fortschritts hat sich dieses Selbstverständnis seit den Anfängen der Informatik im 20. Jahrhundert immer wieder gewandelt. In diesem Beitrag beleuchten wir die unterschiedlichen Ausprägungen des Selbstverständnisses, indem wir sie als informatische Wissenschaftskonzepte beschreiben (vgl. Hellige 2014). Anschließend wird die Auswirkung dieses sich wandelnden Selbstverständnisses auf den Experimentbegriff im Kontext von sozio-technischen Systemen und damit im Forschungsgebiet Mensch-Computer-Interaktion (abgekürzt HCI, nach engl. *Human-Computer Interaction*) präzisiert. Besonders in diesem Gebiet zeigt sich, dass sich heutige experimentelle Ansätze vermehrt von kontrolliert-naturwissenschaftlichen zu performativ-gestalterischen Paradigmen bewegen, um der zunehmenden Komplexität informatischer Systeme und ihrer immer stärkeren Einbettung in die Lebenswirklichkeit gerecht werden zu können.

Experimente in den Wissenschaftskonzepten der Informatik

Die Entwicklung der Informatik als Disziplin lässt sich in Phasen einteilen, die durch unterschiedliche Wissenschaftskonzepte geprägt sind. Diese Konzepte schließen einander jedoch nicht aus, sondern sie ergänzen sich gegenseitig. Noch heute ist jedes dieser Konzepte in der einen oder anderen Form in der Informatik präsent. Daher kann auch kein einheitliches Bild des Experiments in der Informatik erstellt werden, vielmehr soll die Identifikation verschiedener Wissenschaftskonzepte helfen, die unterschiedlichen Perspektiven auf den Experimentalbegriff einzuordnen.

Experimente im formal-logischen und ingenieurwissenschaftlichen Wissenschaftskonzept

Die Informatik als eigenes Fach entwickelte sich Mitte der 1950er Jahre aus der Mathematik. Aus diesem disziplinären Ursprung resultierte das zu diesem Zeitpunkt dominierende formal-logische Wissenschaftskonzept, in welchem Fragen nach dem effizienten Einsatz von Algorithmen und der Korrektheit von Quellcodes im Mittelpunkt standen. Letzteres wurde auch als „a guiding principle for program construction“ angesehen (Dijkstra 1970). Die Informatik wurde ähnlich der Mathematik als Universaldisziplin verstanden. In dieser formal-logischen Perspektive sind Experimente eher deplatziert, da das erklärte Ziel die Entwicklung möglichst fehlerfreier Softwaresysteme ist. Da die Systeme als in sich geschlossen wahrgenommen werden, überprüft man ihre Korrektheit stattdessen mit den Mitteln der Logik. In welchem Kontext Softwaresysteme Anwendung finden, wird nicht betrachtet und auch nicht als wichtig angesehen.

Mit dem zunehmenden Einsatz von Computern vor allem im privaten Bereich wurde das mathematisch ausgerichtete Selbstverständnis um eine Perspektive erweitert, die man als ingenieurwissenschaftlich kennzeichnen kann (Hellige 2014). In diesem ingenieurwissenschaftlichen Wissenschaftskonzept stehen die technischen Eigenschaften der Hard- und Softwaresysteme sowie die Methoden und Vorgehensweisen für optimale Problemlösungen im Fokus. Diese optimalen Problemlösungen werden durch die Abstraktion und durch die Reduktion von Komplexität innerhalb bestehender Anwendungskontexte erreicht. Aus der Ingenieursperspektive wird Informatik gar nicht als Wissenschaft verstanden. Im Mittelpunkt steht eher das „making things“, also die Entwicklung von Computern (Hardware) und Algorithmen (Software), die spezifische Aufgaben lösen sollen (Brooks 1996).

Die Herausforderung war aber, dass diese Ingenieursperspektive häufig den Erkenntnisgewinn innerhalb der Informatik in Frage stellte. So zeigte Tichy, dass eine Vielzahl von Forschungsarbeiten, die Modelle oder Hypothesen basierend auf der entwickelten Hard- oder Software vorschlagen, diese aber gar nicht auf ihre experimentelle Validität untersuchten (Tichy et al. 1995). Er beschreibt das als ernste Schwäche der Informatikforschung. Auch wenn die entwickelten Computer und Programme selbst keine naturwissenschaftlichen Phänomene darstellen, so helfen sie doch, Informationsprozesse zu modellieren und zu studieren (Tichy 1998). In der Informatik ist der Gegenstand der Untersuchung Information, im Gegensatz zu Energie oder Materie in den Naturwissenschaften.

Um nun die Natur von Informationsprozessen zu verstehen, müssen, so Tichy, auch in der Informatik Phänomene beobachtet, Erklärungen formuliert und Theorien mit Hilfe von Experimenten getestet werden (Tichy 1998). Bereits Brooks führte dazu aus: „the scientist builds in order to study; the engineer studies in order to build“ (Brooks 1996). Er fordert, dass der Nutzungskontext der Anwendung stärker in den Mittelpunkt gerückt wird. Denning (2005) unterstützt diese Sichtweise. Indem er unter anderem auf den Bereich HCI verweist, in welchem Experimente genutzt werden, um die Integration von menschlichen mit automatischen Informationsprozessen zu untersuchen, spricht er bereits eine neue Perspektive auf die Informatik an: Im Gegensatz zu dem formal-logischen und dem ingenieurwissenschaftlichen Konzept stehe im Bereich HCI genau der Kontext der Computer- und Softwarenutzung im Mittelpunkt der Betrachtung. Der technische Systembegriff wird erweitert und die sozio-technische Sichtweise favorisiert.

Experimente im inter- und proaktiven Wissenschaftskonzept

Die zunehmende Bedeutung des Bereichs HCI schlägt sich in einem Wissenschaftskonzept der Informatik nieder, das sich als interaktiv bezeichnen lässt (Hellige 2014). Darin werden Hard- und Softwaresysteme nicht als geschlossene Systeme betrachtet, sondern es wird ein offener, nutzungs-, zugleich aber auch anwendungsbezogener Gestaltungsansatz verfolgt. Hellige beschreibt dieses Konzept als „hermeneutischen Blick“, also einen deutenden Zugang zum Anwendungskontext, in welchem in „agilen“ Aushandlungsprozessen Hard- und Softwaresysteme entwickelt werden. Die zunehmende Nutzung von Experimenten im Bereich HCI kann dabei auf die starken disziplinären Einflüsse der Kognitionspsychologie zurückgeführt werden – ihrerseits Resultat der neuen Blickrichtung, die neben dem Funktionieren der Maschine das Verhalten des Menschen untersucht. Die entwickelte Soft- oder Hardware dient in diesen Experimenten als Werkzeug, um Hypothesen zum Informationstransfer zwischen Mensch und Maschine zu bewerten. Während das interaktive Wissenschaftskonzept noch stark von dem Ansatz der direkten Steuerung des Systems durch menschliche Akteure (Shneidermann 1993) geprägt ist, erlangt heutzutage das proaktive Informatikkonzept eine zunehmende Bedeutung (Hellige 2014).

Innerhalb des proaktiven Informatikkonzepts werden durch die systematische Erfassung von Nutzungsdaten und deren Kontextualisierung intelligente Softwaresysteme geschaffen, in welchen

Softwareagenten (bzw. Avatare, Assistenten, Empfehlungssysteme etc.) selbstorganisiert tätig werden. Die menschlichen Akteure sollen nur noch in Ausnahmefällen in den Interaktionsprozess eingreifen. Das Experiment als Mittel der Analyse der Mensch-Maschine-Beziehung wird um die Möglichkeiten der datengetriebenen Analyse ergänzt. Durch die fortlaufende Erfassung von Nutzungsdaten werden Nutzungsmodelle bis hin zu selbstlernenden maschinellen Lernverfahren entwickelt, die dann von Softwareagenten verwendet werden. Das Laborexperiment als wohldefinierter hypothesengetriebener Forschungsrahmen wird ergänzt durch die vielfältig gesammelten Daten der menschlichen Akteure (z. B. Klickverhalten, Mobilitäts- und Sensordaten), die dazu genutzt werden, Wahrscheinlichkeiten für die Interaktion zwischen Mensch und Computer zu ermitteln. Die klassischen Laborstudien werden zunehmend durch Onlineexperimente in realen Umgebungen,¹ etwa durch den Einsatz von Instrumenten wie Amazon Mechanical Turk² ersetzt. Diese zunehmende automatische Beobachtung und auch Modellierung der menschlichen Akteure und ihrer Aktivitäten scheint interessanterweise zu einer Rückkehr der eher mathematisch getriebenen Sichtweise in der Informatik zu führen. Menschliche Akteure werden zwar in ihrer Pluralität berücksichtigt, da die unterschiedlichen Perspektiven in den Modellen abgebildet werden, aber es handelt sich letztlich doch um durch Aggregationen verursachte Vereinfachungen, da der individuelle Nutzungs- und Anwendungskontext fehlt.

Auch wenn ein gewisser Trend sichtbar ist, der darauf hindeutet, dass wieder abstraktere Modelle zur Beschreibung der Mensch-Maschine-Interaktion favorisiert werden, möchten wir in diesem Beitrag eine gegensätzliche Sichtweise einnehmen, indem wir das aktuell vorherrschende Wissenschaftskonzept einer proaktiven Informatik erweitern um die Perspektive des „Human-Centered Computing“, in welchem der Mensch mit seinen Bedürfnissen und in seinem Kontext im Mittelpunkt der Betrachtung steht. Wir stellen daher nachfolgend Ansätze vor, die die Mensch-Maschine-Interaktion als phänomenologisch situiert interpretieren. Für diese Betrachtungsweise spielen Experimente eine besondere Rolle, wobei sie nicht dem klassischen naturwissenschaftlich geprägten Ansatz folgen.

- 1 Onlineexperimente in realen Umgebungen sind beispielsweise Tests, in welchen bestimmten NutzerInnen ohne ihr Wissen unterschiedliche Versionen einer Software zur Verfügung gestellt werden. Ein bekanntes Beispiel (Kramer et al. 2014), welches sehr viel Kritik hervorgerufen hat, ist das Facebook-Experiment, in welchem Emotionen von NutzerInnen unwissentlich beeinflusst wurden.
- 2 Immer häufiger werden sogenannte Crowdexperimente durchgeführt (Kittur et al. 2008), wobei Experimente in viele kleinere Aufgaben zerlegt und als Mikroaufgaben an NutzerInnen einer Plattform verteilt werden.

Infragestellung des Experimentbegriffs

Bei der Anwendung von Experimenten in Verbindung mit der Betrachtung von Hard- und Softwaresystemen als situierte technologische Artefakt tritt das Experiment als formal-kontrollierte Methode in den Hintergrund und die Gestaltung gewinnt mehr an Bedeutung. Besonders in der aktuellen HCI-Forschung finden sich für diese Entwicklung reichhaltige Belege, um den Gegensatz zwischen formal-kontrollierter Überprüfung und phänomenologisch-situierter Anwendung zu überbrücken (Oulasvirta 2009) und mit der Theorie der Quasi-Experimentierung eine alternative Konzeptualisierung von Kausalität, Kontrolle und Validität zur Verfügung zu stellen.

Experimente mit phänomenologisch-situierter Interaktionen

Als inzwischen weitverbreitetes Fundament für diese aktuellen Ansätze gilt *Research through Design* (RtD), welches von Frayling als besondere Art der künstlerisch-gestalterischen Wissensschaffung entworfen wurde (Frayling 1994). Dieser Ansatz ist im Unterschied zu Forschung *für* Design (z. B. über die Verwendbarkeit neuer Materialien) bzw. *über* Design (z. B. über die Entwicklung bestimmter Gestaltungspraktiken) zu verstehen, vielmehr wird das Design selbst als Mittel der Forschung verstanden. In RtD werden gestaltete Artefakte daher nur sekundär bezüglich ihrer Nutzbarkeit untersucht, in erster Linie dienen sie vielmehr als implizite Wissensträger, welche in ihrer Materialität Hypothesen oder zuvor nicht artikulierbare Forschungsfragen repräsentieren können. Gaver und seine Kollegen beispielsweise entwickelten den *Drift Table* – einen interaktiven Tisch, der ihnen als Untersuchungsgegenstand half, nicht-routinemäßige Haushaltsaktivitäten und „ludische“ Emotionen wie Neugier und Reflexion zu untersuchen (Gaver et al. 2004).

Die Anwendung von RtD-Ansätzen in HCI wurde auch durch theoretische Erweiterungen des Feldes begleitet. So übten im weiteren Verlauf der neunziger Jahre Theorien wie *Situated Cognition* oder *Embodied Interaction* sowie Methoden aus der Ethnografie, prominent vertreten durch Forscher wie Suchman (Suchman 1987) oder Dourish (Dourish/Bellotti 1992, Dourish 2001), Einfluss auf den HCI-Diskurs aus. Diese kognitionspsychologischen und sozialwissenschaftlichen Konzepte ermöglichten es der HCI-Forschung, sich auch theoretisch mit der situierten Praxis technologischer Artefakte auseinanderzusetzen (Bardzell et al. 2015). Durch diese Sichtweise von RtD auf die Gestaltung von technologischen Artefakten in der Informatik (Zimmermann/Forlizzi 2014) sind

neue experimentelle Ansätze entstanden. Ein Beispiel liefern hier die Breaching Experiments von Crabtree, welche genutzt werden, um prototypische Technologien in Quasi-Experimenten zu testen (Crabtree 2004). Ein Beispiel ist die Forschung von Mann, welcher unter Einsatz von Wearables und Überwachungstechnologien aktiv Situationen von Unsicherheit, Verwirrung und Angst schafft, um alltägliche Strukturen von Überwachung, Governance und Kontrolle in Frage zu stellen (Mann et al. 2003). In der methodischen Kodierung der Reflexionen und Diskussionen von Probanden in Breaching Experiments werden die unterschiedlichen Beziehungen der Teilnehmenden zur Technologie, zu ihrer Umwelt und zueinander untersucht (Schwartz et al. 2013). Diese Form der experimentellen Praxis ist auch von der Notwendigkeit getrieben, dass sich für viele neuartige Technologien wie beispielsweise Mixed Reality oder Ubiquitous Computing noch keine oder nur hochspezialisierte Nutzungspraktiken entwickelt haben. Im Gegensatz zu der Unanständigkeit von formal-kontrollierten Bedingungen von Experimenten in vormaligen Wissenschaftskonzepten werden in diesem Ansatz die experimentellen Bedingungen, Phänomene und Situationen durch die Nutzung der Technologien generiert.

Experimente mit Experimenten

Die Erweiterung der quasi-experimentellen Praxis des RtD erstreckt sich nicht nur auf situierte Nutzungsstudien konkreter Artefakte, sondern es finden auch Methoden wie Speculative Design und Design-Fictions zunehmend Anwendung. Design-Fictions werden in der HCI-Forschung eingesetzt, um einerseits basierend auf möglichen technologischen Artefakten fiktionale Szenarien für einen zukünftigen Alltag zu simulieren (Bosch/Wolff 2012, Wong et al. 2018), andererseits werden auch fiktive Experimente selbst in Design-Fictions verwendet, um die Ergebnisse als Impulse für die Entwicklung von neuen Prototypen zu nutzen (Blythe 2014). Ähnlich ist auch Speculative Design motiviert, wobei hier zu Beginn des Forschungsprozesses die Schaffung von konkreten technologischen Artefakten steht. Diese verkörpern zukünftige Szenarien, welche situiert untersucht werden können, um Aussagen über jetzt schon mögliche Zukünfte treffen zu können (Dunne/Raby 2013, Wakkary et al. 2015). Gemeinsamkeiten finden sich in beiden Methoden in der Auflösung des klassischen Experimentalbegriffs, an dessen Stelle das Quasi-Experiment als gestalterisches Element tritt.

Durch die anhaltende Diversifikation innerhalb der HCI entwickelt dieser Bereich der Informatik mehr und mehr interdisziplinäre

Schnittstellen. Diese Reichhaltigkeit der aktuellen Forschungspraxis erschwert gleichzeitig deutlich eine methodologische Schematisierung. Einig sind sich die meisten Akteure in der HCI-Forschung aber mittlerweile, dass neue Technologien nicht – nach einem ingenieurwissenschaftlichen Verständnis – am „Reißbrett“ experimentell erfasst werden können, sondern nur in einem konkreten, situierten Nutzungs- und Anwendungskontext. Nur so können die Phänomene der tatsächlichen Wirkung und Aneignung von Technologien erfasst werden.

Das Experiment im Wandel

Im Bereich HCI liefern Experimente empirische Erkenntnisse, die für die (Weiter-)Entwicklung von technologischen Artefakten genutzt werden können oder um bestimmte Konzepte bzw. Theorien zu substantiieren. Gleichzeitig können Experimente auch eingesetzt werden, um noch nicht existierende Nutzungspraktiken anhand konkreter Artefakte fundiert zu skizzieren. Vor diesem Hintergrund lassen sich drei zentrale Eigenschaften dieser Form der Experimentalumgebung ableiten: (1) Jedes Experiment basiert auf einer nichtneutralen Perspektive auf das menschliche Handeln. Beispielsweise kann eine einzige nicht erfasste Teilnehmeraussage gleichbedeutend mit dem Ausschluss einer gesamten Weltsicht sein. Infolgedessen ist die Anzahl an Teilnehmenden an einem Experiment weniger entscheidend als die Reichhaltigkeit der Erfassung der Informationen während des Experiments. (2) Die Ausführung eines Experiments ist immer performativ aufgrund des Nutzungs- und Anwendungskontexts, allerdings nicht im Sinne eines abschließenden Akts. Stattdessen sollte der (agile) Entwicklungs- mit dem Evaluationsprozess (Experiment) verschränkt werden. Durch die Analyse spezifischer Attribute des Softwaresystems können unter anderem Impulse für den Entwicklungsprozess generiert werden. (3) Dementsprechend sollte die Planung von Methoden der Erhebung, der Dokumentation und des analytischen Vorgehens von Anfang an unter der Erwartung von mehrdeutigen Daten stehen. Beispielsweise können bei der Evaluierung einer Mixed-Reality-Anwendung die quantitativen Daten (z. B. erhoben durch Eye-Tracking) den qualitativen Daten (z. B. einer ethnografischen Beobachtung) widersprechen.

Aus der sich wandelnden Rolle und Bedeutung des Experiments wird das Spannungsfeld sichtbar, in welchem sich die Informatik befindet. Technologische Artefakte (Hard- und Software) sind epistemische Objekte, das heißt Objekte der Erkenntnis, welche die (ggf. widersprüchlichen) rationalen Überlegungen der Forschung

repräsentieren. Aufgrund der zunehmenden Einbettung von Hard- und Software in die Gesellschaft ist das Testen dieser epistemischen Objekte basierend auf dem klassischen Experimentbegriff nicht mehr ausreichend, um den performativen Eigenschaften des Nutzungs- und Anwendungskontexts gerecht zu werden. Das Forschungsgebiet Human-Centered Computing nimmt daher eine wichtige Mittlerrolle zwischen Design, Kunst und Informatik ein, um den Experimentalbegriff für das Gebiet der Mensch-Maschine-Interaktion neu zu definieren.

Literatur

- Bardzell, Jeffrey; Bardzell, Shaowen und Hansen, Lone Koefoed (2015): „Immodest Proposals: Research Through Design and Knowledge“, in: Bengole, Bo; Kim, Jinwoo; Inkpen, Kori und Woo, Woontack (Hg.): *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York: ACM, S. 2093–2102.
- Blythe, Mark (2014): Research through Design Fiction: Narrative in Real and Imaginary Abstracts, in: Jones, Matt; Palanque, Philippe; Schmidt, Albrecht und Grossman, Tovi (Hg.): *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York: ACM, S. 703–712.
- Bosch, Torie und Wolff, Josephine (2012): „Sci-Fi Writer Bruce Sterling Explains the Intriguing New Concept of Design Fiction“, in: *Slate*, 2. März. Online unter: http://www.slate.com/blogs/future_tense/2012/03/02/bruce_sterling_on_design_fictions_.html?via=gdpr-consent (zuletzt aufgerufen: 21.6.2018).
- Brooks, Jr., Frederick P. (1996): „The Computer Scientist as Toolsmith II“, in: *Communications of the ACM*, Jg. 39, Nr. 3, S. 61–68.
- Crabtree, Andy (2004): „Design in the Absence of Practice: Breaching Experiments“, in: Benyon, David; Moody, Paul; Gruen, Daniel und McArthur-McWilliam (Hg.): *Proceedings of the 5th Conference on Designing Interactive Systems: Processes, Practices, Methods, and Techniques*. New York: ACM, S. 59–68.
- Denning, Peter J. (2005): „Is Computer Science Science?“, in: *Communications of the ACM – Transforming China*, Jg. 48, Nr. 4, S. 27–31.
- Dijkstra, Edsger W. (1970): „Concern for Correctness as a Guiding Principle for Program Composition“, Eindhoven, July 1970. Department of Mathematics/Technological University Eindhoven. Online unter: <https://www.cs.utexas.edu/users/EWD/ewd02xx/EWD288.PDF> (zuletzt aufgerufen 21.6.2018).
- Dourish, Paul (2001): „Seeking a Foundation for Context-Aware Computing“, in: *Human-Computer Interaction*, Jg. 16, S. 229–241.
- Dourish, Paul und Bellotti, Victoria (1992): „Awareness and coordination in shared workspaces“. In: Mantel, Marilyn und Baecker, Ron (Hg.): *Proceedings of the 1992 ACM conference on Computer-supported cooperative work*. New York: ACM, S. 107–114.

- Dunne, Anthony und Raby, Fiona (2013): *Speculative Everything: Design, Fiction, and Social Dreaming*. Cambridge, Massachusetts/London: The MIT Press.
- Frayling, Christopher (1994): „Research in Art and Design“, in: *Royal College of Art Research Papers*, Jg. 1, Nr. 1. London: Royal College of Art. Online unter: <http://researchonline.rca.ac.uk/384/> (zuletzt aufgerufen 21.6.2018).
- Gaver, William W.; Bowers, John; Boucher, Andrew; Gellerson, Hans; Pennington, Sarah; Schmidt, Albrecht; Steed, Anthony; Villars, Nicholas und Walker, Brendan (2004): „The Drift Table: Designing for Ludic Engagement“, in: Dykstra-Erickson, Elizabeth und Tscheligi, Manfred (Hg.): *CHI'04 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. New York: ACM, S. 885–900.
- Hellige, Hans D. (2014). „Die Informatisierung der Lebenswelt. Der Strategiewandel algorithmischer Alltagsbewältigung“, in: Zeising, Anja; Draude, Claude; Schelhowe, Heidi und Maass, Susanne (Hg.): *Vielfalt der Informatik: Ein Beitrag zu Selbstverständnis und Außenwirkung*. Bremen: Staats- und Universitätsbibliothek Bremen, S. 27–61. Online unter: <https://elib.suub.uni-bremen.de/edocs/00104194-1.pdf> (zuletzt aufgerufen: 29.8.2018).
- Kittur, Aniket; Chi, Ed H. und Suh, Bongwon (2008): „Crowdsourcing user studies with Mechanical Turk“. In: Czerwinski, Mary; Lund, Arnie und Tan, Desney (Hg.): *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*. New York: ACM, S. 453–456.
- Kramer, Adam D. I.; Guillory, Jamie E. und Hancock, Jeffrey T. (2014): „Experimental evidence of massive-scale emotional contagion through social networks“, in: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Jg. 111, Nr. 24, S. 8788–8790.
- Mann, Steve; Nolan, Jason und Wellman, Barry (2003): „Sousveillance: Inventing and Using Wearable Computing Devices for Data Collection in Surveillance Environments“, in: *Surveillance & Society*, Jg. 1, Nr. 3, S. 331–355.
- Oulasvirta, Antti (2009): „Field Experiments in HCI: Promises and Challenges“, in: Isomäki, Hannakaisa und Saarluoma, Pertti (Hg.): *Future Interaction Design II*. London: Springer, S. 87–116.
- Schwartz, Tobias; Stevens, Gunnar; Ramirez, Leonardo und Wulf, Volker (2013): „Uncovering Practices of Making Energy Consumption Accountable: A Phenomenological Inquiry“, in: *ACM ToCHI*, Jg. 20, Nr. 2, Artikel Nr. 12.
- Shneiderman, Ben (1993): „Direct Manipulation: A Step Beyond Programming Languages“, in: Shneiderman, Ben (Hg.): *Sparks of innovation in human-computer interaction*. Norwood: Ablex Publishing Corporation, S. 17–37.
- Suchman, Lucy A. (1987): *Plans and Situated Actions: The Problem of Human Machine Communication*. New York/Cambridge: Cambridge University Press.
- Tichy, Walter F.; Lukowicz, Paul und Prechelt, Ernst A. Heinz (1995): „Experimental Evaluation in Computer Science: A Quantitative Study“, in: *Journal of Systems and Software*, Jg. 28, Nr. 1, S. 9–18.
- Tichy, Walter F. (1998): „Should Computer Scientists Experiment More?“, in: *Computer*, Jg. 31, Nr. 5, S. 32–40.
- Wakkary, Ron; Odom, William; Hauser, Sabrina; Hertz, Garnet und Lin, Henry. (2015): „Material Speculation: Actual Artifacts for Critical Inquiry“, in: Bertelsen, Olav; Halskov, Kim; Bardzell, Shaowen und Iversen, Ole (Hg.): *Proceedings of The Fifth Decennial Aarhus Conference on Critical Alternatives* (CA '15). Aarhus: Aarhus University Press, S. 97–108.
- Wong, Richmond Y.; Merrill, Nick und Chuang, John (2018): „When BCIs Have APIs: Design Fictions of Everyday Brain-Computer Interface Adoption“, in: Koskinen, Ilpo; Lim, Younkyung; Cerratto-Pargman, Teresa; Chow, Kenny und Odom, William (Hg.): *Proceedings of the 2018 Designing Interactive Systems Conference*. New York: ACM, S. 1359–1371.
- Zimmerman, John und Forlizzi, Jodi (2014): „Research Through Design in HCI“, in: Olson, Judith S. und Kellogg, Wendy A. (Hg.): *Ways of Knowing in HCI*. New York: Springer New York, S. 167–189.

Prototyping

Von Grund auf. Einige Bemerkungen zum Experimentieren im Design

Jörg Petruschat

So wie es eine Vielfalt von Arten im Design gibt, so gibt es auch eine Vielfalt von Arten, wie im Design experimentiert wird. Ich werde in diesem Beitrag drei Arten vorstellen. Zunächst jedoch muss ich eine grundlegende Unterscheidung einführen, nämlich die zwischen Gestaltung und Design. Diese Begriffe sind inhaltlich nicht so klar umrissen, wie es ihre häufige Verwendung vielleicht glauben macht. Ihre begriffliche und konzeptuelle Abgrenzung und Bestimmung ist aber auch erforderlich, weil der Kontext und der Bezugsrahmen, innerhalb derer Experimente aufgesetzt und durchgeführt werden, den Charakter und die Art dieser Experimente beeinflussen.

Gestaltung?

Unter Gestaltung verstehe ich einen Vorgang, der auf dem Vermögen beruht, Routinen zu verändern (Petruschat 2017). Wird der Erfolg einer veränderten Routine überindividuell abgestimmt und bestätigt, etwa durch Prozesse der Imitation oder Kommunikation, dann entstehen für das Verhalten Muster, die für mehr als den individuellen Fall gelten. Derartige Erfahrungen nenne ich Wissen. Dieses Wissen wird explizit gemacht in den Formen seiner Darstellung und seiner Weitergabe oder in gegenständlichen Vermittlungen entfaltet: in Werkzeugen, Artefakten, Architekturen. Im Austausch dieses Wissens und durch ihn werden den Individuen die Vorstellungskräfte entwickelt, und zwar in enger Verbindung zum eigenen, oft unbewusst bleibenden Erfahrungstransfer (Petruschat 2017).

In diesem Wissen stecken die Keimformen der Künste, der bedeutungsvollen Sprachen, der logisch und symbolisch organisierten Wissenschaften.

Jedem Organismus erscheint die Mitwelt als ein Potenzial, das entweder in gewohnten Interaktionsmustern erschlossen oder in von ihnen abweichenden Formen erstmalig entfaltet werden kann. Für die Tatsache der Erstmaligkeit in diesen Prozessen setze ich den Begriff der „Gestaltung“ ein.

In den Prozessen der Gestaltbildung, wie sie bisher vor allem im psychologischen Verständnis thematisiert worden sind, werden

von den Akteuren bereits auf der Ebene der Wahrnehmung die ihnen eigenen Wirklichkeiten erzeugt: Eindrücke der Mitwelt werden strukturiert, in Fokus und Hintergrund differenziert, in mentale Karten übertragen oder mit ihnen abgeglichen, in Interaktionen interpretiert. Umgekehrt stellt diese Mitwelt den Akteuren das Material ihrer Wirklichkeiten bereit: Der Begriff der Gestalt ist nur in diesen Verhältnissen zu entfalten. Er ist ein Verhältnisbegriff. In diesem Sinne sind Gestalten konstitutiv für alle Prozesse der Erkenntnis und der Wissenserzeugung, auch wenn allenthalben zu beobachten ist, dass sie bisher in vielen Untersuchungen zur Wissensproduktion nicht *als Gestalten* erkannt und thematisiert worden sind. Gestaltung ist die Basis allen Wissens.

Suchen und Finden

Wenn menschliche Individuen Verhaltensfiguren ausführen, dann sind sie sich auf eine intuitive Weise gewiss, dass dieses Tun sie auf Bedeutungen führen wird. Dazu eine Beobachtung: Die Kinder von Schimpansen ahmen Verhaltensweisen nach, wenn das Ziel der Handlung Teil ihrer Beobachtung ist, etwa wenn sie sehen, dass ein Umwenden von Steinen zu Insekten führt (Tomasello 2006: 45 f.). Menschenkinder hingegen ahmen Verhaltensweisen auch dann nach, wenn ihnen das Ziel dieser Bewegungsfiguren zunächst unverständlich bleibt: Sie ziehen Ordner aus Regalen, obwohl sie nicht lesen können, oder sie tippen auf Touchscreens, obwohl oder gerade weil ihnen die Konsequenzen unbekannt sind – allein das Gelingen im Nachvollzug einer Handlung, die Freude am Sozialen, ist ihnen Befriedigung genug. In dieser Trennung von Handlung und Ziel liegt ein evolutionäres Potenzial: Menschen können darauf vertrauen, dass sie im Erfolg ihrer Handlungen Ziele und mit der Aufklärung der Ziele auch Bedeutungen erst hervorbringen.

Ein solches Konkretisieren von Bedeutungen in einem an sich zieloffenen Verhalten deutet auf einen Unterschied hin zwischen dem, was wir ein Suchen, und dem, was wir ein Finden nennen. Während das Finden auf das Elaborieren von Verfahren gerichtet ist, deren Durchführung das Ziel im eben angedeuteten Sinne erst hervorbringt, ist das Suchen von der Spekulation überblendet, Ziele zu erreichen, die vorher bereits bestimmt sind. Deshalb sind die Vorgehensweisen im Design für die Wissenschaften so interessant. Denn in den Wissenschaften wird – simpel formuliert – vor allem *gesucht*, nämlich nach Bestätigungen für Hypothesen, Erklärungen und Resultaten beim und zum Ausbau ihrer logischen und symbolischen Ordnungen.

Im Design geht es vor allem um das *Finden* (Petruschat et al. 2012), nämlich von Gestalten, die das Zueinander von Faktoren fassen, deren bisher bestehende und aktuell versagende Logik im Design gerade überwunden werden soll (Petruschat 2017). Im Design geht es nicht um Referenz zu einer Wirklichkeit, sondern um das Herstellen dieser Wirklichkeiten selbst. Das Herstellen von Wirklichkeiten wird zwar auch den Wissenschaften zugesprochen, aber sie tun dies immer im Anschluss an einen geordneten Wissensbestand. Im Design, solange es nicht bloß technisch motiviert ist, werden Formen gefunden jenseits einer bloß logischen Fortsetzung dessen, was ist und war. Einer solchen Kühnheit stehen in den Wissenschaften in aller Regel methodische Hürden entgegen.

Erstmaligkeit?

Auf welche Weise wird nun im Design und, tiefer darunter, in der Gestaltung, eine Erstmaligkeit hergestellt? Wie werden neue Hypothesen erzeugt, die mit dem Bestehenden nicht unbedingt korrespondieren, in denen vielmehr eine neue Wirklichkeit entfaltet wird?

Der Schlüssel zur Aufklärung dieser wirklich großen Fragen liegt meiner Ansicht nach in den Situationen, in denen bisherige Routinen, Zugänge zu und Fabrikationsweisen von mentalen oder realen Wirklichkeiten versagen, Frustrationen entstehen (Winnicott 1971) und die Gestalten, in denen diese Wirklichkeiten bisher gefasst waren, problematisch werden. In derartigen Situationen erscheint der bisherige Wirklichkeitszusammenhang kritisch; er wird in Frage gestellt und die Gestalten, in die er gefasst war, dissoziieren. Bereits in diesem Zerfall steckt eine Erkenntnis; er kann durch Elementarisierung, Zergliederung, Analyse auch methodisch herbeigeführt werden.

Für eine Neufassung derart dissoziierter Elemente werden nun Formen herangezogen, die bereits in anderen Kontexten ihre gestalterische Kraft, ihre Wirksamkeit bei der Zusammenfassung disparater Faktoren erwiesen haben. Diese Formen müssen jedoch, damit sie für die neue Gestaltung zur Verfügung stehen, von den vergangenen Erfahrungen abstrahiert, semantisch freigestellt werden (Petruschat 2006, Petruschat 2016). Die Durchgangsphasen, in denen Formen aus alten semantischen Kontexten abstrahiert und für neuartige, erstmalige Verwendungen bereitet werden, nenne ich „transsemantische Zustände“. Darin ist die kantische Idee der „Zweckfreiheit“ und deren Bindung an ästhetische Erfahrungen aufgehoben. Das Vermögen zur Reduktion und Abstraktion von Semantik, das Vermögen, die Form *als Form* zu sehen, frei von

bisherigen funktionalen Zuweisungen und Einbindungen, betrachte ich als die Grundvoraussetzung aller gestalterischen Aktivität (Petruschat 2003). Implizit ist dieses Vermögen jedem Individuum bereits in den Prinzipien seiner Wahrnehmung, in den Organen seiner Handlungen und Interaktionen sowie dem daraus hervorgehenden Vermögen zur Konzeption einer eigenen Wirklichkeit gegeben; in diesem Sinne ist jedes Individuum ein gestaltendes.

Design?

Nach einer alten Definition von John Christopher Jones besteht die Wirkung von Design darin, „to initiate the change of man-made things“ (Jones 1981: 4). Die Frage ist: Auf welche Weise werden diese Veränderungen initiiert? Meine Antwort lautet: Durch den Entwurf von Modellen, die anders sind als die Wirklichkeiten, in denen die Individuen bisher agierten.

Unter Modellen verstehe ich hier der Einfachheit halber *Strukturen mit dem Anspruch auf Wirklichkeit*. In dieser Bestimmung steckt ein wichtiger Unterschied zur klassischen Modelltheorie: Modelle im Design bilden nicht, wie das Herbert Stachowiak klassisch formulierte, bloß ab oder verkürzen eine Realität, für die sie stehen sollen (Stachowiak 1965, Stachowiak 1973). Bei ihnen handelt es sich auch nicht, wie Stachowiak meinte, allein um „Voraussagen“ (Stachowiak 1973: 101 ff., 132 ff.). Modelle im Design bilden Wirklichkeiten vor, die individuell entfaltet, bereichert, *realisiert* werden. Deshalb stehen am Beginn von Designprojekten in der Regel Analysen von Verhaltensweisen und deshalb werden die Ergebnisse von Designprojekten in der Regel an den Ausführungsmöglichkeiten und Ausführungsqualitäten von Verhaltensweisen, am *Sense-Making*, evaluiert.

Drei Faktorenbündel spielen in Designmodellen zusammen:

- 1) technische Faktoren, die auf einer Umstellung von Naturprozessen beruhen, etwa indem sie Entropieressourcen erschließen oder die Effizienz einer Struktur erhöhen;
- 2) ästhetische Faktoren, in denen das Potenzial an sinnlichen Erfahrungen thematisiert wird, die Akteure an der Gestalt der Dinge und in den Verhaltensweisen machen können mit Rückbezug auf die eigene Biografie (Dewey 1988);
- 3) kulturelle Faktoren, die das Individualisierungspotenzial thematisieren, das allem menschlichen Verhalten implizit ist

und das im Entwurf der Dinge – zustimmend oder ablehnend – antizipiert wird (Petruschat 2017).

Diese Faktoren stehen in der Regel nicht logisch zueinander. Es ist die Gestaltung, die das Disparate dieser Faktoren überwindet und sie im Erlebnis eines Wirklichkeitszusammenhangs zusammenfasst. Darin gründet die Kunst des Designs (vgl. Petruschat 2017: 21 ff.) und der Effekt der Gestaltung, die aller Wirklichkeit zugrunde liegt.

Experimente? Im Design?

Ich unterscheide im Begriff des Experiments und seiner Konzeption grundsätzlich zwei Bedeutungen: zum einen das *Prüfen einer Hypothese auf Wirksamkeit* und zweitens das *Erkunden der Wirksamkeit einer Hypothese*. Während das Prüfen der Wirksamkeit einer Hypothese eher das klassische Normal von Experimenten in den Naturwissenschaften umschreibt, sehe ich im Erkunden von Wirksamkeit zuerst das Engagement von Gestaltung.

Im gestalterischen Erkunden werden Vermutungen in für sie neue, *erstmalige* Arrangements, Wirkprozesse gestellt; dabei werden Erfahrungen gesammelt, Gegenstände und Wissen überhaupt erst konstituiert. Das klassische Vorgehen der Naturwissenschaften, das Prüfen von Hypothesen, beruht auf dem Erkunden und ist ohne Gestaltung nicht zu haben (Merz/Petruschat 2012: 153 ff.).

In diesem Sinne kann Gestaltung in ihrem Grundgestus als experimentell begriffen werden und als die Grundlage von allem, was Menschen wissen. Dabei handelt es sich oft um ein *Spiel*, das auch in Phasen stattfindet, die nicht bewusstseinspflichtig, die dunkel und spontan sein können. Mit dem Begriff „Design“ fasse ich alles Bemühen, das über diese dunklen und spontanen Phasen hinausgeht, das die konzeptionelle Dimension von Gestaltungsprozessen ins Licht des Bewusstseins rückt, sie medial formuliert, heraus- und darstellt.

Ich werde – jeweils nur anhand eines einzigen Projekts – drei Arten von Experimenten vorstellen: resonanzgetriebene, faszinationsgetriebene, explorationsgetriebene. Mit dieser Darstellung soll nicht behauptet werden, dass es nur diese drei Arten von Experimenten im Design gibt. Auch schließen die Motive der Resonanz, der Faszination und der Exploration einander nicht aus, sondern hängen mit je wechselnder Gewichtung ineinander und gehen auseinander hervor. Die folgende Darstellung ist angelegt, unterschiedliche Herangehensweisen zu akzentuieren.

Resonanz?

Experimente mit dem Motiv der Resonanz sind ausgerichtet auf die Stimmigkeit von Produkten und Prozessen zu den Erwartungen und Wünschen von Nutzern. Mit jedem Gebrauch setzen Akteure die Produkte in Bewegung und zugleich sich selbst. Passt die Form der Produkte zu den Verhaltensweisen der Akteure, entstehen ästhetische Beziehungen, die ich hier mit dem Begriff der Resonanz benenne (vgl. auch Kühne 1981, Petruschat 2016).

Das Projekt *Celvin*: Das Masterprojekt von Manuel Milde, das ich 2012 betreut habe, ist der Entwurf eines kleinen Handgeräts für Laien zur Messung von Wärmeverlusten in Wohnungen.

Auftakt war eine kritische Auseinandersetzung mit teuren Wärmebildkameras gleichen Zwecks. Diese werden hauptsächlich von professionellen Akteuren angeschafft, da sich die hohe Investition nur im professionellen Betrieb rentiert. Die Anschaffungskosten des Geräts treiben aber auch die Kosten für die Dienstleistung insgesamt in die Höhe, wodurch nur wenige sich überhaupt eine Analyse der Wärmeverluste ihres Gebäudes leisten möchten.

In kritischer Absetzung von dieser Praxis wollte Manuel Milde ein Gerät entwerfen, mit dem auch Laien die Wärmedurchlässigkeit ihrer Wände bestimmen können, kostengünstig. Zur Temperaturmessung griff er auf einen billigen Punktsensor zurück. Da dieser Punktsensor die Form eines Stiftes aufwies, bestand eine schnelle Idee darin, ihn tatsächlich wie einen Stift zu behandeln. Die gleitenden Bewegungen des Punktsensor-„Stiftes“ sollten – wie beim Ausmalen einer Fläche – Messpunkte an der Wand erfassen. Auf einem beigeordneten Display wurden die erhobenen Messwerte zeitgleich angezeigt (Abb. 1).

Da dieses Messen in der Geste des Ausmalens in einiger Entfernung zur Wand stattfand, musste für das Gerät noch eine Technologie gefunden werden, die es während der „Zeichenbewegung“ in hoher Präzision im Raum ortete und die gemessenen Werte möglichst ohne merkbare Latenz in die Darstellung auf dem Display eintrug.

Spontan kam für die Ortung des Gerätes im Raum die Orientierung von Fledermäusen per Ultraschall ins Spiel. Kurzerhand wurden zwei Ultraschallsensoren orthogonal am Gerät angebracht und mit einem Entfernungsmesser im Frontbereich gekoppelt (Abb. 2, 3). Statt das Gerät durch eine übergreifende Kartografie im Raum zu orten, erzeugte es damit selbst seine Raumpunkte relativ zu den Wänden im Innenraum: eine ptolemäische Wende.

Verbunden mit dem Display eines Smartphones ergaben die Entwürfe schließlich ein handliches Gerät, das seine Funktionalität in



Abb. 1. Manuel Milde, *Celvin*, 2012, kunsthochschule berlin weißensee.

der Form selbst erklärt und tatsächlich zum Mittelpunkt des gesamten Messvorganges avancierte. Das entworfene Gerät kostet in der Herstellung deutlich unter 100 Euro.

Technologisch ist hier keine Neuentwicklung erkennbar. Alle Funktionsmodule (Wärmepunktsensor, Ultraschallsensoren usw.) waren als Zukaufteile bereits auf dem Markt. Die Leistung des Designs bestand darin, sich für kostengünstige Technikmodule zu entscheiden, diese funktionell in einen Handhabungszusammenhang zu integrieren und für diese Erstmaligkeit im Arrangement eine Form zu finden. Obwohl die Bewältigung dieser Aufgaben wie reines *Engineering* aussieht, war für diesen Entwurf nicht technische Effizienz, sondern die Absicht leitend, die Übersicht über die Wärmeverluste im Haushalt in die Hände der Bewohner zu legen.

Kulturell bestand das Ziel darin, die Anwender dieses Gerätes zu Souveränen ihrer Wohnbedingungen, zu Subjekten einer auf Nachhaltigkeit fokussierten Lebensweise zu machen. Die Experimente im Entwurf beruhten auf einer Stellvertretung: Manuel Milde simulierte das Verhaltensmodell der Personen, denen dieses Gerät zgedacht war, an sich selbst.

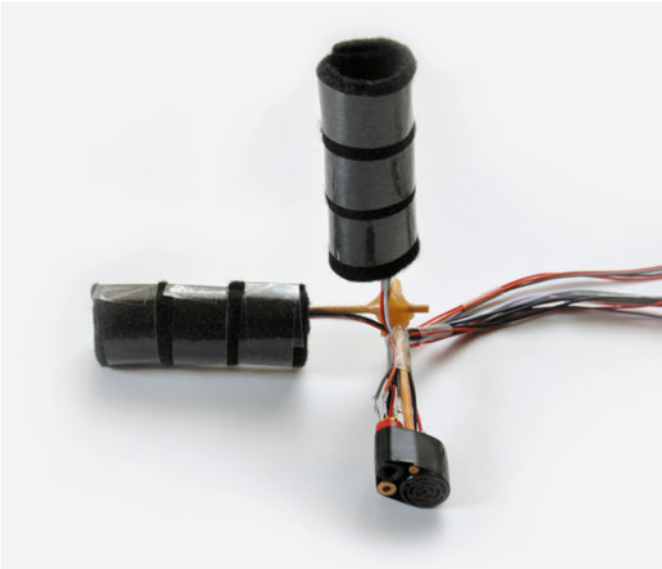


Abb. 2, 3. Manuel Milde, *Celvin*, 2012, kunsthochschule berlin weißensee.

Faszination?

Der Begriff und das Konzept der Faszination sollen hier für einen sinnlichen Aneignungsmodus stehen, der mit seiner Unerschöpflichkeit spielt, der ästhetischen Phänomenen nachgeht nicht, um sie in Rationalität aufzulösen, sondern um an ihnen das Ungefähre, das Nichteindeutige zu erleben, der Lust an der Neugier, sich auszuliefern.

Das Projekt *Double Standard*: Jiajia Song, die ich zwischen 2015 und 2016 gemeinsam mit Christiane Sauer betreut habe, war von einer simplen Irritation fasziniert: der Lichtbrechung an und in transparenten Medien. In ihrem Projekt ging es nicht um eine Weiterentwicklung des physikalisch-optischen Modells dieses Phänomens, sondern um das Herausarbeiten subjektiver Effekte, um die Erlebnisqualität dieses Geschehens, weitgehend jenseits irgendeiner Anwendung oder gestalterischen Formulierung. Die Startbahn für die Faszination war die gebrochene Figur eines Trinkhalms in einem Wasserglas (Abb. 4).

Die Experimente bestanden nun darin, die Effekte und Attraktionen, die von diesem Phänomen ausgehen, von ihren materiellen Grundlagen her zu provozieren. Dazu hat Jiajia Song eine Experimentalanordnung (Abb. 5, 6) entwickelt, die sie parametrisch bespielen konnte: In einem Kubus ließen sich das Grundmuster am Boden, das Medium, in dem das Licht gebrochen wird, und der Abstand zwischen Medium und Grundfläche gut kontrollieren und variieren.

Die Hypothese in diesem Projekt bestand darin, dass die ästhetische Faszination im Wahrnehmungseindruck entsteht und andauert, wenn und solange die Signale, die Auge und Hirn aufnehmen, nicht eindeutig interpretiert werden können: Im Kopf werden zwei Bilder aufgerufen, die um Deutungshoheit kämpfen – das aktuelle Bild eines gebrochenen Trinkhalms „kämpft“ mit dem Erfahrungswissen, dass dieser Trinkhalm „in Wirklichkeit“ nicht gebrochen ist. Die Experimente sollten Grenzbereiche erkunden, in denen die Irritation gerade noch wirksam ist, und Maximalbereiche, in denen sie die größten Wirkungen entfaltet (Abb. 7, 8). Dabei sollten die Experimentalbedingungen genau kontrolliert werden. Nur so ließen sich diese Effekte in der Konstruktion von Materialien wiederholen und auf serieller Stufenleiter von Modulen oder Geweben repetieren (Abb. 9). Breiten Raum nahmen die Relativbewegungen von transparentem Material und gemusterter Grundfläche ein, da die Bewegungseindrücke den Effekt des doppelten Wahrnehmungsstandards am prägnantesten erzeugten.



Abb. 4. Jiajia Song, *Double Standard*, 2015–2016, kunsthochschule berlin weißensee.

Für das hier unter der Überschrift „Faszination“ dargestellte Experimentalprojekt sind selbstverständlich Anwendungen denkbar, beispielsweise im Bereich textiler Bekleidung, bei der Gestaltung von Fassaden oder der Raumteilung. Aber bei der Experimentalreihe war gerade nicht eine Anwendung das ausschlaggebende Motiv, sondern die Entfaltung von Wirkungen, die physikalische Phänomene auf die Physiologie und Psychologie menschlicher Sinne haben können. Diese Experimente können als das genaue Gegenteil von wissenschaftlichen Experimenten angesehen werden, die das Phänomen der Lichtbrechung in transparenten Medien prinzipiell und allgemein gültig untersuchen und theoretisch modellieren.

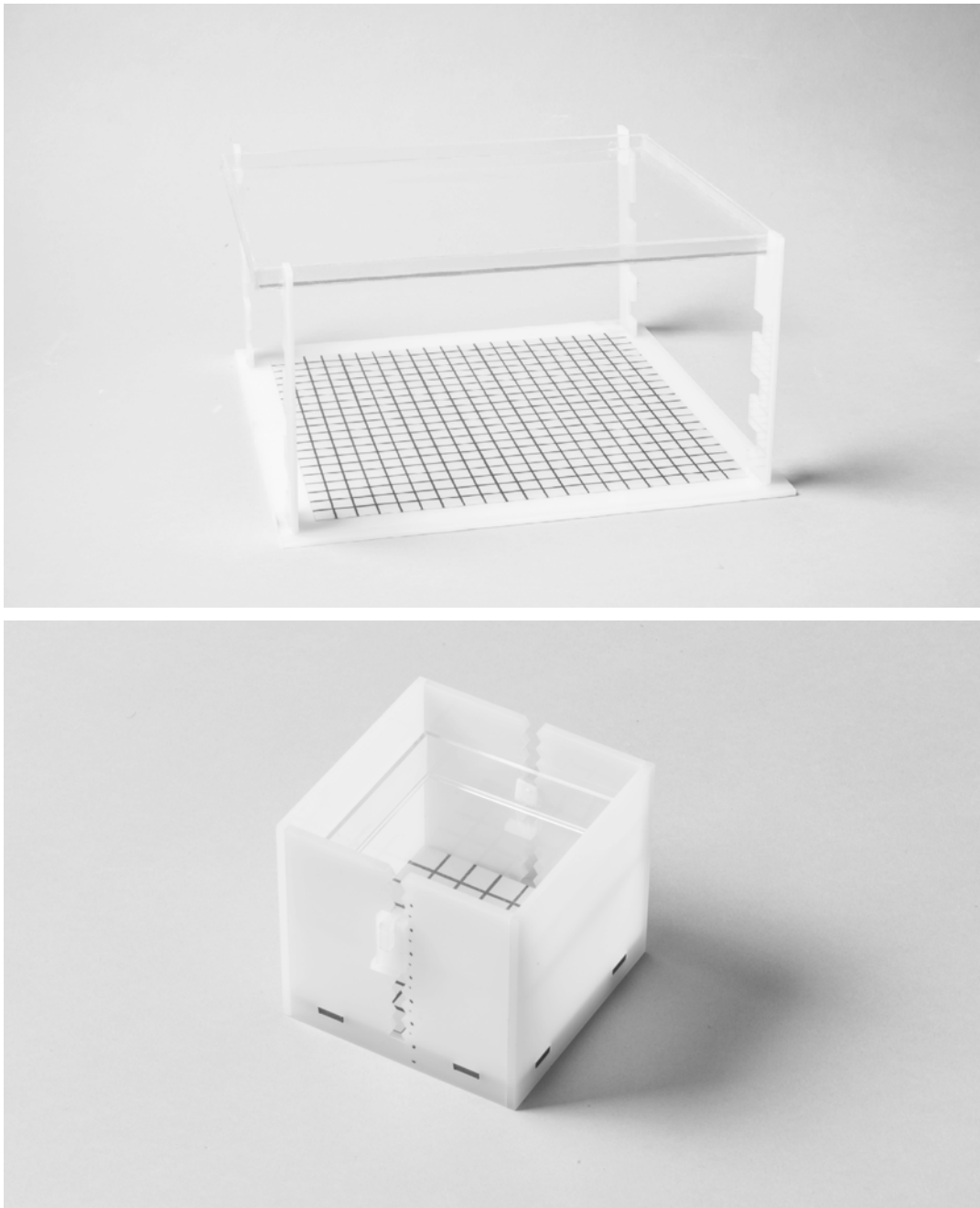


Abb. 5, 6. Jiajia Song, *Double Standard*, 2015–2016, kunsthochschule berlin weißensee.

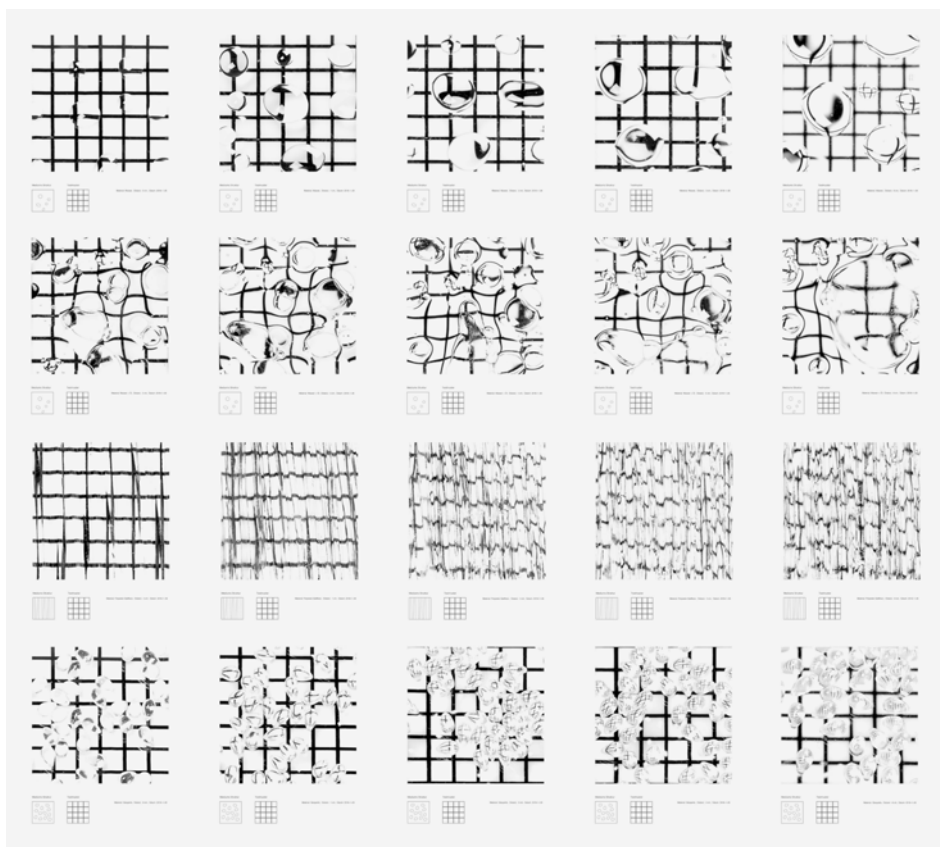
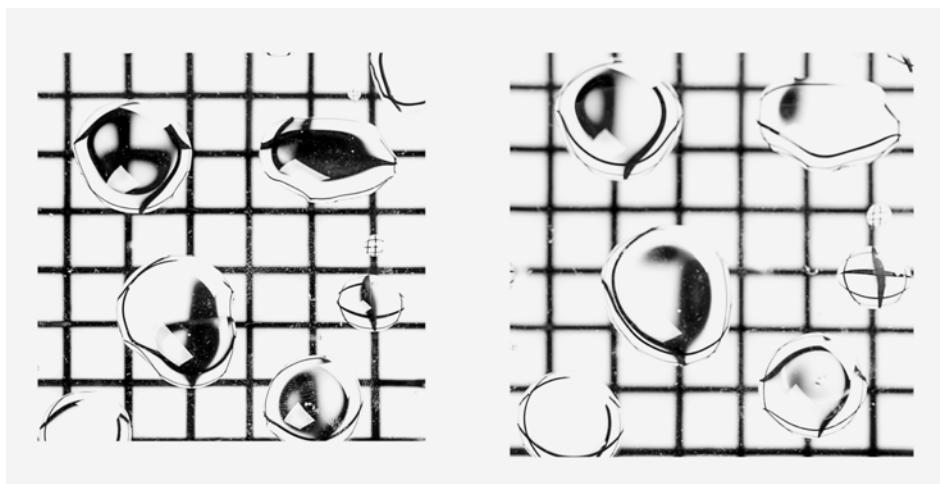


Abb. 7, 8, 9. Jiajia Song, *Double Standard*, 2015–2016, kunsthochschule berlin weißensee.

Erkundung?

Die dritte Art von Designexperimenten wird angetrieben vom Motiv der Exploration. Sie sind Experimenten in den Wissenschaften insofern ähnlich, als ihnen ebenfalls mentale Modelle vorangehen, nämlich mentale Modelle von Wirkprinzipien. Im direkten Wortsinne sind es Experimente zur Reichweitenerhöhung bereits bekannter Prinzipien.

Das Projekt *Rückgekoppelter 3D-Druck*: Dieses Projekt ist eine Arbeit von Babette Wiezorek, die ich gemeinsam mit Barbara Schmidt 2016 betreut habe (Wiezorek 2016). Bei diesem Experiment ging es um das Erkunden eines Modells zur Formbildung in den hybriden, digital-analogen Settings des keramischen 3D-Drucks.

Am Beginn stand eine einfach anmutende Frage: Wie entstehen Formen? Seit Plato ist in der europäischen Entwurfsgeschichte die Denkfigur verbreitet, Formen fußten auf Ideen und beides gehe einer materialen Wirklichkeit voran. Wer je in 3D gedruckt hat, weiß jedoch, wie stark das Material den Prozess der Formbildung mitbestimmt, mehr als bei vielen anderen Druckverfahren. In Absetzung vom platonischen Konzept fragte Babette Wiezorek, welche Einflüsse das *Hervorbringen* von Formen auf die Form haben kann, etwa in Fällen, in denen Formen mit dem Prozess ihrer Hervorbringung rückgekoppelt sind, wie es, dieser Vergleich interessierte sie besonders, auch beim Wachstum von Lebewesen der Fall ist (Petruschat 2006).

Die Experimente, die Babette Wiezorek ausführte, kehrten die unter dem Begriff *Engineering* bekannte Motivation um: Statt den Eigensinn des Materials zugunsten einer technisch perfekt reproduzierbaren Idealform zu überwinden, erschien Babette Wiezorek der analoge, so schwer steuerbare Teil im Verfahren – das Extrudieren der keramischen Masse beim Aufbau der Form – nicht kritisch, sondern einer besonderen, eigenständigen Erkundung wert.

Wie sehen Formen aus, deren Entstehen mit den Eigenheiten des Materials rückgekoppelt ist? Kann ein Formwachstum, wie es in jeder Kreatur abläuft, im keramischen 3D-Druck simuliert werden? Können wir über die Simulation derart rückgekoppelter Formentwicklungen etwas über die Ästhetik des Lebendigen erfahren? Haben rückgekoppelte Formbildungsprozesse eine grundsätzlich andere Qualität als Zufälle, die leicht zu erzeugen sind oder die sich in handwerklicher Produktion oft von selbst ergeben?

Die Basis für die Experimente wurde von Babette Wiezorek im Entwurf eines Arrangements geschaffen, das für den keramischen 3D-Druck Rückkopplungsschleifen instanziierte, materiale Feedbacks, die in Formbildungen kumulierten (Abb. 10, 11).

Für den Entwurf dieses Arrangements wurden mentale Modelle von Homöostase und Homöodynamik in eine Konstruktion von keramischem 3D-Drucker und zusätzlichen elektronischen und mechanischen Bauteilen übersetzt.

Erste Ergebnisse dieser rückgekoppelten Formbildungen im keramischen Material gehen weit über Formevolutionen hinaus, wie sie seit vielen Jahren mit evolutionären Algorithmen unternommen werden (vgl. Sims 1994). Statt auf die Selektion von Zufallsfunktionen zu setzen, explorierte Babette Wiezorek Rückkopplungen im physisch ziemlich komplexen keramischen Material (Abb. 12 bis 27). Eine direkte Anwendung dieser Experimente ist völlig ungewiss. Vielleicht können sie Aufschlüsse geben über die Bildung von Formen, wenn Maschinen im Prozess der Herstellung von Formen Potenziale ihres Selbstmodells entfalten.

Diskussion

In den drei Arten von Experimenten, die ich aus der professionellen Entwurfspraxis und der Designforschung gezeigt habe, sollte deutlich geworden sein, dass Design den experimentellen Grundgestus aufnimmt und explizit macht, der aller Gestaltung inhärent ist. Sollten zwischen diesen Experimenten im Design und Experimenten in den Wissenschaften Analogien deutlich werden, so würden diese die Grundthese stützen, dass Gestaltung aller Erkenntnis, auch der wissenschaftlichen, zugrunde liegt; dass die Wissenschaften ebenso wie das Design und die Künste als disziplinierte Formen von Gestaltung aufgefasst werden können – diszipliniert entweder durch einen Bestand von Theorien und Modellen oder durch die Medien, in denen die mentalen Modelle anderen Akteuren dargestellt, das heißt Wissen explizit gemacht wird.

Stark gekürzte Fassung eines Beitrages aus Jörg Petruschat:
„Arbeit am Eisberg“, in: *form + zweck*, 2019. Die Kürzung wurde als freundliche Unterstützung von Sarah Etz und Felicia Haidl lektoriert.

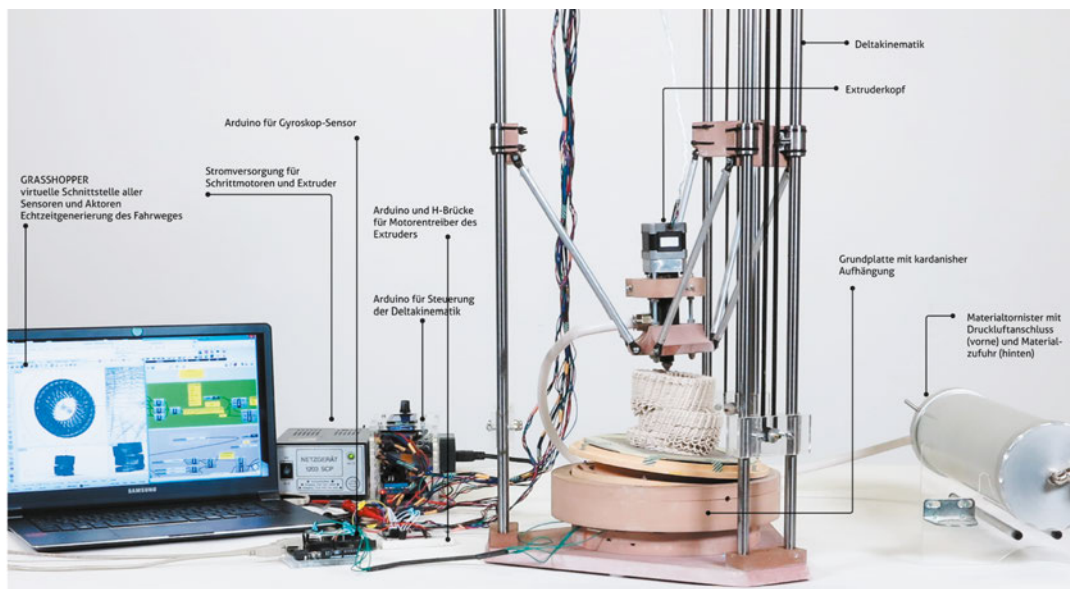
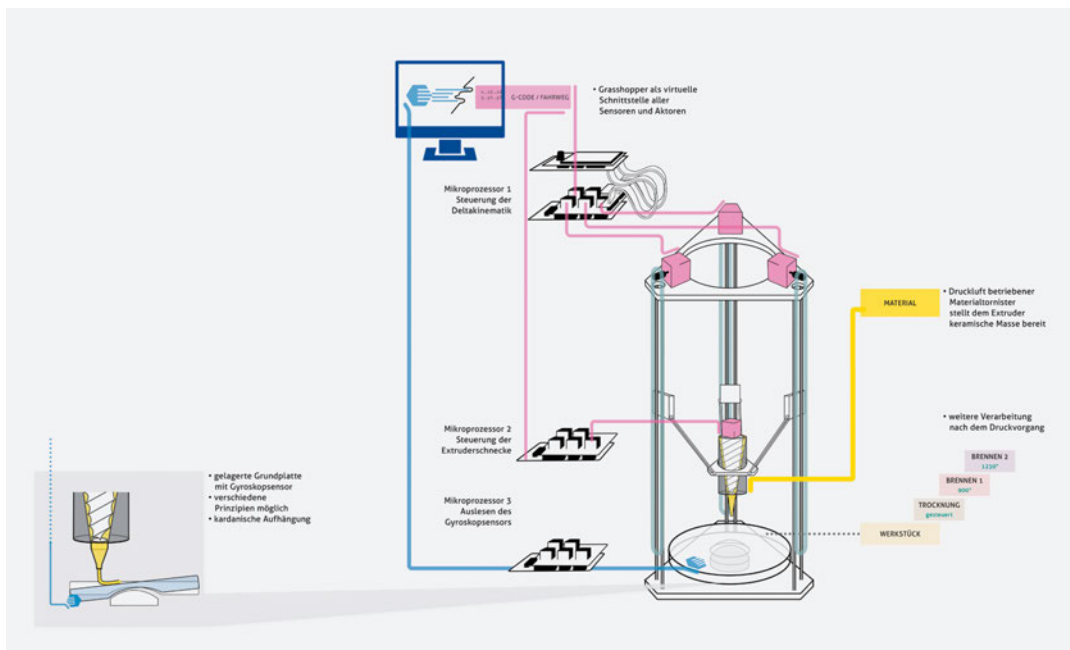


Abb. 10, 11. Babette Wiezorek, *Rückgekoppelter 3D-Druck*, 2016, kunsthochschule berlin weißensee.



Abb. 12–27. Babette Wieszorek, *Rückgekoppelter 3D-Druck*, 2016, kunsthochschule berlin weißensee.

Literatur

- Dewey, John (1988): *Kunst als Erfahrung*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Jones, John Christopher (1981): *Design Methods. Seeds Of Human Futures*. (1980 edition with a review of new topics). New York et al.: Wiley.
- Kühne, Lothar (1981): *Gegenstand und Raum*. Dresden: Fundus-Bücher.
- Merz, Martina und Petruschat, Jörg (2012): „Theorien, Modelle, multiplexe Konstellationen“, in: Adenauer, Julian und Petruschat, Jörg (Hg.): *Prototype! Physical, virtual, hybrid, smart. Tackling new challenges in design and engineering*. Berlin: *form + zweck*.
- Petruschat, Jörg (2003): „Befreit die Technik und Ihr befreit die Form“, in: *form + zweck. Zeitschrift für Gestaltung* 20/2003.
- Petruschat, Jörg (2006): „Transsemantische Zustände. Einige Bemerkungen zu einer Form von Walter Zeischegg“. Vortrag 2006; Online unter: http://www.redesign.cc/Petruschat/Transsemantische_Zustande.html (zuletzt aufgerufen: 15.5.2018).
- Petruschat, Jörg; Zwick, Carola und Zwick, Roland (2012): „Let's grow the chair together“, in: Adenauer, Julia und Petruschat, Jörg (Hg.): *Prototype! – physical, virtual, hybrid, smart. tackling new challenges in design and engineering*. Berlin: *form + zweck*.
- Petruschat, Jörg (2016): „Good Vibrations? Some Remarks on the Resonance Between Human Beings and Objects“, in: Mäkelä, Maarit (Hg.): *Ceramics and its Dimensions: Shaping the Future*, Helsinki: Aalto University, S. 136–154.
- Petruschat, Jörg (2017): „Das Leben ist bunt. Einige Bemerkungen zum Entwerfen“ (2005), in: Ders.: *Ungehorsam der Probleme*, Denken im Design 1, Berlin: *form + zweck*. S. 30–51.
- Petruschat, Jörg (2017): „Wicked Problems. Einige Bemerkungen zum Design als Forschung“ (2011), in: Ders.: *Ungehorsam der Probleme*, Denken im Design 1, Berlin: *form + zweck*, S. 10–29.
- Petruschat, Jörg (2017): „Routinen und ihre Überwindung. Einige Bemerkungen zur Evolution von Formen“ (2016); in: Ders.: *Ungehorsam der Probleme*, Denken im Design 1, Berlin: *form + zweck*, S. 52–94.
- Sims, Karl (1994): „Evolved Virtual Creatures“. Online unter: https://www.youtube.com/watch?v=JBgG_VSP7f8 (zuletzt aufgerufen: 15.5.2018).
- Stachowiak, Herbert (1965): „Gedanken zu einer allgemeinen Theorie der Modelle“ = *Studium Generale* 18. 432.
- Stachowiak, Herbert (1973): *Allgemeine Modelltheorie*. Wien/New York: Springer.
- Tomasello, Michael (2006): *Die kulturelle Entwicklung des menschlichen Denkens. Zur Evolution der Kognition*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Wiezorek, Babette (2016): *Zirkuläre Prozesse und Rückkopplungen in additiven Fertigungsverfahren*. Masterarbeit an der Weißensee Kunsthochschule berlin. Berlin.
- Winnicott, Donald Woods (1971): *Playing and Reality*. London: Tavistock.

Provozieren

Unwiederholbare Experimente. Entwerfen zwischen Grenzziehung und Überschreitung

Carolin Höfler

Seit den radikalen Architektur- und Designbewegungen der 1960er und siebziger Jahre ist nicht mehr in solcher Intensität über Formen und Praktiken des gestalterischen Experimentierens nachgedacht worden wie in den vergangenen Jahren. Vordergründig geht dieser Boom auf eine nie dagewesene Dominanz computerbasierter Entwurfs- und Fertigungsverfahren zurück, die experimentell erforscht werden und an denen das Verhältnis von Gestaltung und Wissenschaft neu ausgerichtet wird. Hinter der Intensivierung der Debatte um das Experiment verbirgt sich noch ein tieferliegendes Problem: In den sechziger und siebziger Jahren wurde der Begriff der experimentellen Architektur geprägt, um den visionären Gehalt von Projekten zu betonen (vgl. Thomsen 1991: 12). Die experimentellen Entwürfe verfolgten ihre Ziele außerhalb der Industrie- und Marktlogik. Sie waren vor allem als kritische Auseinandersetzungen mit den herrschenden Planungsvorstellungen und Produktionsbedingungen gedacht und weniger als Vorstufen des Bauens. Seit dem Einsatz des Computers in Entwurfs- und Fertigungsprozessen werden hingegen experimentelle Ansätze zunehmend in die technisch-ökonomische Architekturproduktion eingebunden, wodurch sie in neue Wahrnehmungs- und Wirkungszusammenhänge rücken. Ehemalige Gegenkulturen und Kritikformen, die sich in den bisherigen gestalterischen Experimenten manifestierten, scheinen durch ihre Übernahme in die ästhetische Ökonomie an Wirkmacht zu verlieren. Experimentelle, grenzüberschreitende Gestaltungspraktiken zielen dann weniger auf „eine kritisch-selbstreflexive Öffnung für andere Weisen der Weltwahrnehmung“ ab (Reckwitz 2015: 29), sondern werden vielmehr zur permanenten „Kreation von Objekten oder Atmosphären“ eingesetzt, „die die Sinne und Gefühle reizen“, wie der Kulturologe Andreas Reckwitz in seiner Studie *Die Erfindung der Kreativität* diagnostiziert (Reckwitz 2012: 46).

Angesichts solcher Diskussionen um die Entgrenzung des Ästhetischen in vormals nichtästhetische Bereiche untersucht dieser Beitrag, wie das Experimentieren als eine Form des kritisch-reflexiven Entwerfens neu bestimmt werden kann. Zunächst wird der Begriff der experimentellen Architektur der 1960er und siebziger

Jahre betrachtet, um das Experimentieren als ein Verfahren der Umwelt- und Medienkritik zu positionieren. Anschließend wird erörtert, wie sich Praktiken und Funktionen des kreativen Erprobens unter den Bedingungen einer fortschreitenden Digitalisierung der Architektur- und Designproduktion entwickelt haben. Der letzte Abschnitt verweist auf die jüngsten Bestrebungen der Gestaltungsdisziplinen, experimentelles Entwerfen als soziale Praxis zu fassen, und skizziert eine produktive Verschränkung von bisher getrennt wahrgenommenen Konzepten des Experimentierens.

Eklektische Bastelei

Es war der britische Architekt Peter Cook, der 1970 ein Buch mit dem Titel *Experimental Architecture* veröffentlichte und den Begriff in den Gestaltungsdisziplinen popularisierte. Cook verglich die experimentelle Architektur mit einer „eklektischen“ Bastelei, die sich gegen einen reinen Funktionalismus, gegen Purismus und den Internationalen Stil wendet (Cook 1970: 14). Experimentieren bedeutete für ihn ein systematisches Öffnen der Architektur für neue Entwicklungen und ein gleichberechtigtes Einbeziehen vielfältiger Einflüsse im Entwurfsprozess. In den sechziger Jahren waren es vor allem die Hervorbringung neuer Konstruktionsmaterialien und Kommunikationstechnologien, aber auch der Aufstieg der Ökologie zum neuen Weltbild, welche als noch unbekannte Dinge mit verschwommenen Konturen Eingang in die Architektur fanden.

Ausgehend von Cooks Vorstellung des „return to eclecticism“ wurden in den sechziger Jahren höchst unterschiedliche Medien, Formen und Praktiken unter dem Begriff der experimentellen Architektur versammelt (ebd.). Dazu gehörten Architekturen „ohne Zweck“ (Hollein 1962), die ihre Verwendung erst finden mussten; performative Aktionen im öffentlichen Raum, die gesellschaftliche und ökologische Untergangsszenarien medial dramatisierten; hypothetische Gegenentwürfe zum Status quo, die Missstände aufzeigten; räumliche Analysen, die Krisen der Gegenwart offenlegten. Was die verschiedenen Ansätze miteinander verband, waren die skeptische Haltung gegenüber behaupteten Verhältnissen, der Versuch ihrer Destabilisierung und die Entwicklung alternativer Perspektiven.

Die Protestprojekte einer archaisierenden Architektur von Hans Hollein, die pneumatischen Minimalumwelten von Haus-Rucker-Co, die biologistisch anmutenden Überdachungen ganzer Städte von Frei Otto, die anpassungsfähigen Megainfrastrukturen von Superstudio oder die sozialutopischen Raumstadtkonstruktionen von Yona Friedman und Eckhard Schulze-Fielitz – all diese Projekte



Abb. 1. Superstudio, *Quaderna Tables*, Company Zanotta, Nova Milanese, 1971.

reagierten auf die als gescheitert wahrgenommenen Gesellschafts- und Stadtvisionen einer vereinseitigten Moderne und verdammt den „Bauwirtschaftsfunktionalismus“ der Nachkriegszeit, der vor allem auf hohe Renditen zielte (Klotz 1987: 24). In dieser Situation geriet das Experiment zum Instrument gegen die Planungskultur der Moderne und ihre dogmatischen Verfestigungen. Gruppen und Arbeitskollektive des italienischen *Radical Design* wie Superstudio, Archizoom, Studio65, 9999 oder Zziggurat erhoben hierbei das Spiel mit der Ironie zum Charakteristikum experimenteller Gestaltung, um geltende Formkonventionen zu relativieren und einen Perspektivwechsel zu erzielen: Wo eben noch die Rasterstruktur als Inbegriff der Anpassungsfähigkeit galt und der Modulbau für seine flexiblen Variationsmöglichkeiten gepriesen wurde, herrschte nun starres Einheitsdesign vor, das Körper, Möbel und Architekturen unterschiedslos mit einem Muster aus Quadraten überzog und alle Differenzen einebnete (Abb. 1).

Angesichts alarmierender Endzeitbilder von schwindenden Naturressourcen, wie sie der Bericht *Limits of Growth* des Club of Rome im Jahr 1972 zeichnete, artikulierten die radikalen



Abb. 2. Haus-Rucker-Co, *Environment Transformer*, Wien, 1968.

Bewegungen eine zunehmend kämpferische Skepsis gegenüber der technischen Entwicklung und ihren Auswirkungen. Experimentieren in der Gestaltung zielte nunmehr auf das Bewusstmachen einer gefährdeten Umwelt und das Erproben einer vom Bauen befreiten Architektur, die mobil, anpassungsfähig, situativ, prozessual, ansatzweise partizipativ und insgesamt gesellschaftlich relevant sein sollte. Der Umwelt als Gesamtheit und allen Medien, die sie bestimmen, galt das gesteigerte Entwurfsinteresse, wobei das Experiment zum Medium der Umweltkritik erhoben wurde.

Obgleich experimentelle Prototypen für alternative Umweltkonzepte aus neuen Materialien und mit Hilfe neuer Technologien entwickelt wurden, bestand das Experimentieren weniger in einem technischen Handeln als in einem Arbeiten an den Grenzen der eigenen Möglichkeiten. Als eine solche Grenzarbeit lässt sich auch die Beschäftigung der österreichischen Architekten-Künstlergemeinschaft Haus-Rucker-Co mit Formen der Wahrnehmung verstehen. Ihr Begriff der experimentellen Architektur gründete sich auf die Doppelbedeutung des französischen *expérience* als Experiment und Erfahrung. Für ihr Projekt *Environment Transformer* (1968)

entwickelte die Gruppe individuelle Gesichtsapparate, die lustvoll erlebte Wahrnehmungsveränderungen und Bewusstseinserweiterungen versprachen (Abb. 2). Mit technoiden Helmen und Masken schränkten sie die Möglichkeiten des Sehens und Hörens ein, um sinnliche Wahrnehmungen der Umwelt als mediale Praktiken erfahr- und gestaltbar zu machen. Ihr Umgang mit Materialien zeichnet sich durch einen tastenden, versuchenden Charakter wie auch durch eine hohe Anfälligkeit für Rückschläge, Abschweifungen und unerwartete Entdeckungen aus. Verwendete Materialien und Technologien werden nicht als angemessene Mittel zur Lösung eines scharf umrissenen Problems aufgefasst, sondern als bestehende Ressourcen, die, ihres ursprünglichen Bestimmungszwecks enthoben, für den Entwurfsprozess aktiviert und genutzt werden können. Die eingesetzten Mittel sind damit nur teilweise zweckbestimmt. Entbunden von einem genauen und klar definierten Gebrauch, stellen sie vielmehr ein System von konkreten und zugleich möglichen Beziehungen dar.

Dieses offene Verhältnis von Mittel und Zweck verweist auf die Ausführungen zur *Bricolage* von Claude Lévi-Strauss, die in den 1960er und siebziger Jahren breit rezipiert wurden. In seiner Monografie *La Pensée sauvage* von 1962 beschrieb der französische Ethnologe die Mittel des Bastlers als vielfach verwendbare „Werkzeuge“ und unterschied sie von den funktional fixierten Mitteln des planenden Ingenieurs (Lévi-Strauss 1973: 30–31). In den Vordergrund dieser Bestimmungen rückte er auch das unterschiedliche Verhältnis von Prozess und Produkt: Während sich die Arbeit des Ingenieurs in langwierigen Planungs- und Organisationsprozessen entwickelt, konkretisiert sich die Bastelei unmittelbar. Die Vorstellungen des Bastlers entfalten sich im Moment ihrer Materialisierung. Erzeugung und Verwendung der gestalteten Dinge fallen so in eins. Daher lässt sich die experimentelle Bastelei im Sinne Lévi-Strauss' mit nichts anderem vergleichen und auch nicht mit gängigen Normen, Regeln und Vorschriften einer planenden Tätigkeit beurteilen.

Bedeutungsverschiebung und Differenzerzeugung

Wie natur- und ingenieurwissenschaftliche Experimente bearbeiten auch gestalterische Experimente ihr eigenes Bezugssystem und zielen auf die Umgestaltung ihrer „Welt“. Doch zwischen der Umgestaltung der wissenschaftlichen Welt und der der gestalterischen Welt scheint ein wesentlicher Unterschied zu bestehen, den die ArchitektInnen in den 1960er und siebziger Jahren programmatisch aufgriffen: Die Umgestaltung der wissenschaftlichen Welt

kann notwendig werden, wenn immer mehr Erkenntnisse gegen eine bestehende Theorie sprechen. Die Umgestaltung der gestalterischen Welt bleibt hingegen von strengen widerspruchslogischen Überlegungen unberührt. Eine Sichtweise wird durch Entwurfsexperimente nicht widerlegt, sondern verliert höchstens an Bedeutung. Gestalterische Versuche kreisen um die Verschiebung von Bedeutungen, nicht um den Nachweis der Gültigkeit oder Ungültigkeit einer Aussage, Methode, These oder Theorie. In der Gestaltung geht es nicht darum, Widersprüche logisch aufzulösen, sondern darum, sie aufzudecken und zu verhandeln, ohne sie aufheben zu wollen.

In der experimentellen Architektur der frühen Postmoderne machten Widersprüche den richtungsweisenden Sinn der Gestaltung aus. Die Auseinandersetzung mit widerstreitenden Auffassungen und Phänomenen erschien als Möglichkeit, die orthodoxe Moderne und ihre Tradition des Entweder-Oder zu überwinden. In seinem „behutsamen Manifest für eine beziehungsreiche Architektur“ von 1966 erhob Robert Venturi eine widerspruchreiche Gestaltung, die zahlreiche Bedeutungsebenen und Zusammenhänge anspricht, zum experimentellen Programm (Venturi 1978: 23–24). Unter Berufung auf Lévi-Strauss propagierten auch Colin Rowe und Fred Koetter in ihrem 1973 gemeinsam verfassten Hauptwerk *Collage City* das Zusammenfügen verschiedenartiger baulicher Ideen und Fragmente als geeignetes Verfahren, um der Widersprüchlichkeit und konstitutiven Offenheit der Stadt methodisch gerecht zu werden (Rowe/Koetter 1997: 202).

Zur Arbeit an einer experimentellen Gestaltung des Widerspruchs gründete der New Yorker Architekt und Visionär Lebbeus Woods im Jahr 1988 das Research Institute for Experimental Architecture (RIEA). Ein wichtiges Anliegen des Instituts war die Entwicklung spezifischer Entwurfspraktiken, mit denen die gebaute Umwelt im Hinblick auf ein mögliches Anderssein erkundet werden sollte (Cook et al. 1990). Hierbei gelangte vor allem das prozesshafte Zeichnen als Imaginationstechnik und Kontingenz-generator in den Blick (Abb. 3). Absichtsvoll bezog Woods seine Entwurfsexperimente auf Orte, an denen Widersprüche der Realität krisenhaft und gewalttätig aufgebrochen waren. In *Radical Reconstructions* (1997) bildete er aus den Überresten kriegsbeschädigter und von Katastrophen heimgesuchter Städte bricolageartige Gefüge als integrale Bestandteile der Rekonstruktion. Weit entfernt von konkreten Bauvorhaben zielten Woods' zeichnerische Versuchsreihen darauf, die klassische Architektonik im Sinne Kantscher Systembaukunst – die nach Jacques Derrida „letzte Festung der

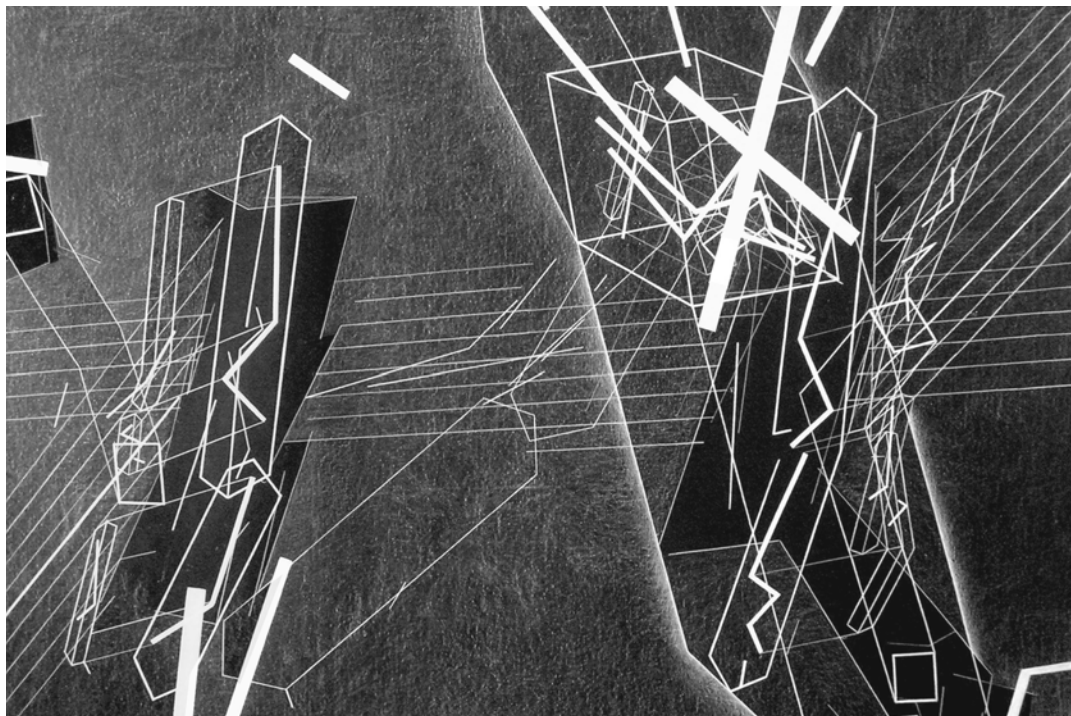


Abb. 3. Lebbeus Woods, *Conflict Space 4*, 2006. Crayon and acrylic on linen, 217,17 cm x 276,23 cm.

Metaphysik“ – zu schleifen und durch eine widerständige Logik der Zerstreuung, Differenz und Zerstückelung zu ersetzen (Derrida 1988: 221).

Indem Theoretiker und Architekten der Postmoderne den Gestaltungsprozess mit der Rückgewinnung widersprüchlicher Inhalte verknüpften, formulierten sie unausgesprochen einen erweiterten Experimentbegriff. Die Experimente der „Experten“ des Neuen Bauens, die auf wissenschaftliche Stadtplanung, Systemdenken und Technik gesetzt hatten, standen unter Generalverdacht und wurden für die inhaltliche Entleerung der Architektur verantwortlich gemacht. Insofern war ein Experiment im Sinne der Postmoderne kein regelbehafteter, kontrollierter Ablauf von Ereignissen, der zuvor festgelegten Parametern folgt, sondern ein heterogener, auf Sinnproduktion und Bedeutungserzeugung zielender Handlungszusammenhang, dessen Ergebnis offen ist.

Nach dieser Lesart enthüllt das Experiment in der Gestaltung keine Fakten, die bisherige Hypothesen bestärken oder entkräften, sondern setzt dem vermeintlich Faktischen alternative Perspektiven entgegen. Das Gelingen eines Experiments hängt davon ab, ob es neue Sichtweisen und Möglichkeitsräume für andere Entwick-

lungen in Architektur und Design eröffnet. Die Wiederholbarkeit im Sinne identischen Replizierens eines Sachverhaltes, das oftmals als vorrangige Eigenschaft des wissenschaftlichen Experiments angeführt wird, ist damit weder Gegenstand noch Ziel des gestalterischen Experiments. Vielmehr geht es um die Bildung von Differenzen, durch die ein Zustand prinzipieller Offenheit, Unbestimmbarkeit und Bewegung der Gestaltung erreicht werden soll. Dieses Differenzverständnis wendet sich gegen Verallgemeinerung und universale Strukturen, gegen Wahrheitspathos und Absolutheitsanspruch und führt zu einer grundsätzlichen Kritik an den Ordnungsvorstellungen technischer Rationalität und logozentrischer Vernunft. Mit dieser Zielsetzung erhält das gestalterische Experimentieren eine politische Bedeutung.

Be experimental!

Die Erinnerung an die gegensinnstiftende und widerständige Funktion des Experiments in der Architektur der 1960er und siebziger Jahre erscheint heute umso dringlicher, als Experimentalisierung und Ökonomisierung immer enger miteinander verschränkt werden. Der ästhetische Kapitalismus der Gegenwart, wie er von Andreas Reckwitz in *Die Erfindung der Kreativität* dargestellt wird, zeichnet sich durch eine kontinuierliche Hervorbringung von Neuem aus, dessen Wert in seinem temporären ästhetischen Reiz besteht. Das Neue zeigt sich hier also nicht als grundlegende Erfindung, die eine alte durch eine neue, fortschrittlichere Kreation ersetzt, sondern als Gestaltung von Artefakten und Atmosphären, welche affektiv wirksam sind und die Sinne herausfordern.

Diesem Regime des immerzu Neuen sind vor allem Architektur und Design als Generaldisziplinen der Kreativökonomie unterworfen. Es scheint offensichtlich, dass die Forderung nach permanenter Erschaffung von ästhetisch Neuem auch die Funktion des Experiments in der Gestaltung verändert: Das Experiment dient nunmehr vordringlich der formalästhetischen Differenzierung zu allem bisher Dagewesenen. Dabei wird der Drang nach bisher ungesehenen Formen durch die Digitalisierung der Produktionsprozesse zusätzlich verstärkt. Begriffe wie Experiment und Improvisation stellen zentrale Handlungsanleitungen für den Einsatz des Computers in Architektur und Design bereit. In selbstkritischem Rückblick auf seine frühen rechnerbasierten Entwürfe beschreibt der Architekt Greg Lynn den inflationären Gebrauch des Experimentbegriffs für die „autorlose“ algorithmische Gestaltung von Neuem: „The term ‚experiment‘ that was so popular in the nineties [...] was shorthand for handing over of responsibility of design

control and vision to software and hardware, and hoping that something good would come from it“ (Lynn 2014: 59).

Angesichts dessen stellt sich die Frage nach den Wirkungen des gestalterischen Experimentierens. Wenn Kreativindustrien zu Leitbranchen aufsteigen und das Experimentieren zu einem universell anwendbaren Problemlösungsverfahren für die Entwicklung nutzernaher Innovationen erklärt wird (Seitz 2017: 10–11), haben experimentelle Gegenkulturen keinen Ort mehr. Das Verständnis von Architektur als Gegenstand der Auseinandersetzung um Gesellschafts- und Lebensentwürfe, die Idee der widerständigen Gestaltung, die sich der bloßen Ästhetisierung verweigert – all das sind Vorstellungen, die von einer postindustriellen Kreativpolitik zurückgedrängt werden. Da es keinen Antagonismus zwischen Dominanz- und Subkulturen mehr gibt, vollzieht sich – so Reckwitz’ entscheidende These – ein Umkippen von Ideen und Praktiken ehemaliger Gegenbewegungen in die Hegemonie (Reckwitz 2012: 14). Die auf strukturelle Veränderung zielende Kritik der radikalen Architektur- und Designgruppen der 1960er und siebziger Jahre ist von der postmodernen Konsumgesellschaft normativ neutralisiert worden. In Anbetracht dieser Absorption experimenteller Ansätze drängt sich die Frage auf, welchen Unterschied Gestaltung machen kann, wenn sie nicht länger als ästhetische Gegenkraft, als das kulturell Andere in einer rationalisierten Gesellschaft wirkt, sondern zu einem integralen Bestandteil in einer überästhetisierten Lebenswelt geworden ist? Kann Gestaltung dann überhaupt noch experimentell sein?

Engagierte Experimente

Die Frage nach der Möglichkeit experimenteller Distanznahme von herrschenden Kräfteverhältnissen und Wertvorstellungen ist insofern von übergreifender Bedeutung, als „experimentelle“ Formen in Architektur und Design seit der Wende zum digitalen Zeitalter gemeinhin aus kalkulierten Prozessen resultieren und mit der ökonomischen Produktion konstitutiv verbunden sind. Die Ausrichtung digitaler Gestaltungsexperimente auf die Entwicklung ästhetisch-technischer Innovationen prägte von Beginn an das computerbasierte Entwerfen und spiegelt sich bis heute in einem Paradoxon: Unter Zuhilfenahme technischer Systeme der Reproduzierbarkeit, Kontrolle und Messbarkeit werden gezielt unvorhersagbare, unwiederholbare und vergängliche Formen erzeugt, um die Neuentwicklung von Gestaltsystemen und Produktionsprozessen zu unterstützen. Hierbei wirken etwa Kraftfeldsimulationen, evolutionäre Algorithmen oder Verknüpfungen mit materiellen

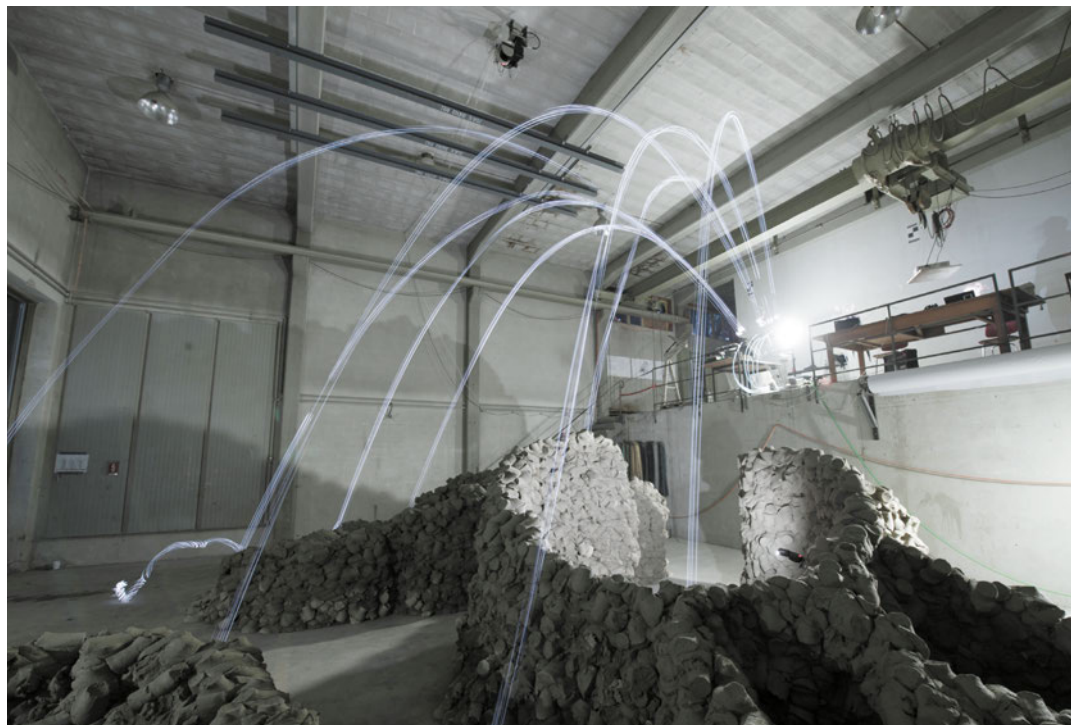


Abb. 4. Gramazio Kohler Research, ETH Zürich, *Remote Material Deposition Installation*, Sitterwerk, St. Gallen, 2014. Oben: Langzeitbelichtete Aufnahme, die Flugbahnen von mehreren Lichtprojektilen zeigt; unten: Finale Struktur.

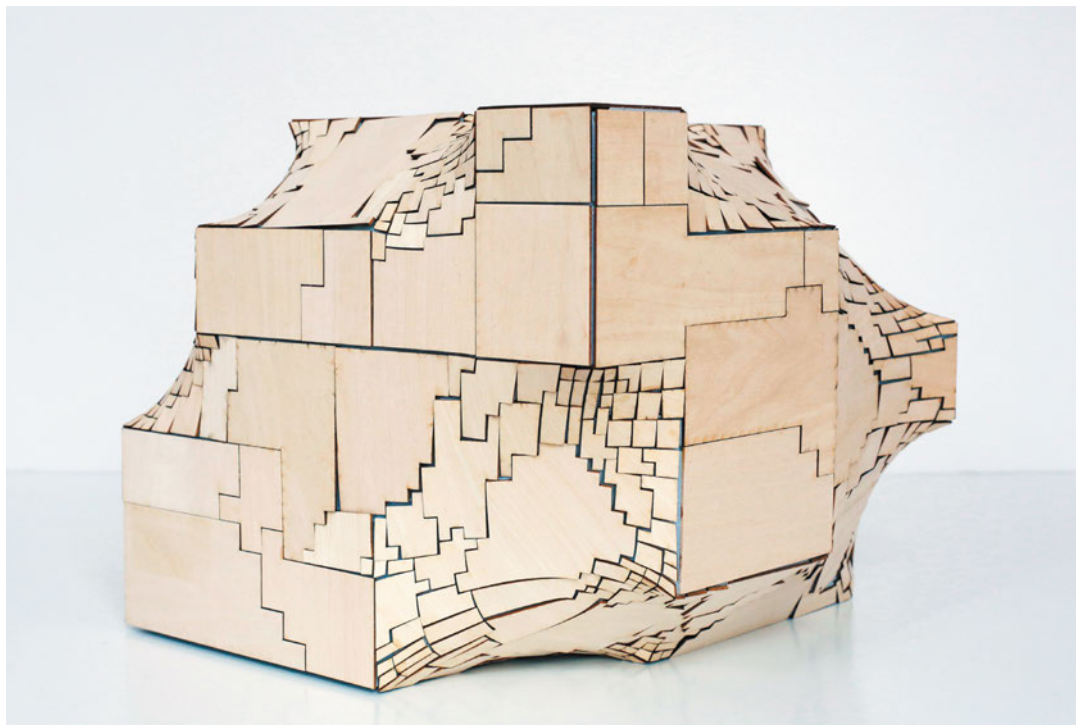


Abb. 5. Certain Measures, *Mine the Scrap Installation*, Berlin, 2016.

Verfahren als Generatoren von Momenten prinzipieller Unwägbarkeit. Die Architekten Fabio Gramazio und Matthias Kohler experimentierten jüngst mit präzise operierenden Robotern, um flexible Materialien zu schäumen, zu schütten oder in Form von Projektilen zu schießen (Abb. 4). Diese Prozesse und ihre Resultate lassen sich nur schwer simulieren. Auch die Gruppe Certain Measures erkundet in digital-experimentellen Studien materielle Unberechenbarkeiten: Mit Hilfe eigens verfasster Programme werden aus beliebigem, unsortiertem Materialabfall neue Strukturen generiert (Abb. 5). Eine Software scannt im ersten Schritt das Material, erstellt eine Inventarliste verschiedener Formen und errechnet anschließend, wie jede Einzelform die beste Verwendungsmöglichkeit innerhalb einer neuen, aufgrund ihrer Komplexität nicht vorhersehbaren Struktur erhalten kann.

Die Vorstellung des experimentell Neuen dominiert die computerbasierte Architektur ähnlich stark wie die Architektur der Moderne – mit dem Unterschied, dass sie in der Moderne von dem Versprechen einer hierarchiefreien Gesellschaft bestimmt wurde, welche sich in neuen selbstbildenden Formen und Stoffen symbolisch materialisiert (vgl. z. B. Gaß/Otto 1990). In der avancierten computerbasierten Architektur wird die Orientierung am Neuen hingegen ästhetisch, technisch und ökonomisch begründet: durch den affirmativ behaupteten Bruch mit der euklidischen Geometrie, durch neue Raumvorstellungen des „freien Schnitts“, durch neue Fertigungstechnologien und Materialien. Die so bestimmten Innovationen entfalten auch gesellschaftliche und soziale Wirkungen: Die technologisch angeregte Individualisierung der Massenfertigung sowie die Entwicklung adaptiver Materialien und Environments fördern nicht nur eine Überproduktion von Einmaligem und Vergänglichem, sondern formen auch neue kollektive Werthaltungen wie die Pluralisierung der Lebensformen oder das Umweltbewusstsein der Gesellschaft. Doch für das Experimentieren in der computerbasierten Gestaltung ist die Entwicklung einer Vorstellung, was die Gesellschaft zusammenhält oder wie sie solidarischer gestaltet werden kann, nicht konstitutiv.

Die einseitige Fokussierung auf ästhetisch-technische Experimente ist in den vergangenen Jahren zunehmend in die Kritik geraten. Die Erfahrungen globaler ökonomischer Krisen und die Ansätze neuer sozialer Bewegungen haben auch in den Gestaltungsdisziplinen einen „Social Turn“ eingeleitet (vgl. Fuksas/Mandrelli 2000). Die erneuten Debatten um eine Ethik der Architektur werden seitdem von Forderungen nach einer theoretischen Neubegründung der experimentellen Gestaltung und einem

mutigen Zugeständnis an ihr kritisches, gesellschaftsveränderndes Potenzial begleitet. Ein prominenter, vielfach rezipierter Ausdruck dieses Paradigmenwechsels ist der Begriff der „critical spatial practice“, womit die Architekturhistorikerin Jane Rendell eine experimentelle Entwurfspraxis beschrieben hat, welche die sozialen Bedingungen der Orte und Lebenswelten, in die sie eingreift, in Frage stellt und transformiert (Rendell 2003: 222). Zugleich nehmen Praktiken, Konzepte und Medien in Architektur und Design eine besondere Bedeutung als Gegenstände des Experimentierens ein. Dem Experimentieren kommt dabei die Aufgabe zu, die Bedingungen und Möglichkeiten von Gestaltung zu reflektieren, ihre Vorannahmen und Festlegungen zu überprüfen, ihre Zusammenhänge sichtbar zu machen, neue Probleme zu erkennen und die ihnen zugrunde liegenden herrschenden Verhältnisse zu thematisieren und letztlich zu transformieren (Fezer 2012: 41).

Aktuelle Diskussionen um Ziele und Methoden der Gestaltungsdisziplinen im Hinblick auf die Anforderungen der Gegenwart sind überwiegend durch eine einfache Frontstellung zwischen einem technologiegeleiteten und einem gesellschaftsbezogenen Begriff des Experimentierens gekennzeichnet. Dabei birgt gerade deren Verschränkung ein großes Potenzial für eine weitreichende experimentelle Gestaltungspraxis: Protagonisten des computerbasierten parametrischen Entwerfens würden mit der Frage konfrontiert, welche Einflussgrößen eine gesellschaftskritische Auseinandersetzung mit der gebauten Umwelt erlauben würden. Verfechter eines engagierten Designs erhielten durch den Umgang mit parametrischen Verfahren die Möglichkeit, ihre informellen, lokal begrenzten Projekte in großmaßstäbliche, politische Szenarien zu verwandeln und hierfür methodische Ansätze zu entwickeln. Ein integrativer und interdisziplinärer Experimentbegriff würde die Grundlage für solche Formen des gemeinsamen Nachdenkens und Arbeitens bilden.

Literatur

- Cook, Peter (1970): *Experimental Architecture*. New York: Universe Books.
- Cook, Peter et al. (1990): *RIEA/Research Institute for Experimental Architecture: The First Conference*. Emmons Farm, Oneonta, NY, 4. bis 8. August 1989. New York/Berlin: Princeton Architectural Press/Aedes.
- Derrida, Jacques (1988): „Am Nullpunkt der Ver-rücktheit – Jetzt die Architektur“, in: Welsch, Wolfgang (Hg.): *Wege aus der Moderne. Schlüsseltexte der Postmoderne-Diskussion*. Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft 1988, S. 215–232.
- Fezer, Jesko (2012): „Was ist Experimentelles Design?“, in: *Lerchenfeld*, Nr. 13, S. 39–41. Online unter: http://www.design.hfbk-hamburg.de/upload/Lerchenfeld_13_201111_01.pdf (zuletzt aufgerufen: 1.7.2018).
- Fuksas, Massimiliano und Mandrelli, Doriana O. (Hg.) (2000): *Città: Less Aesthetics More Ethics. 7th International Architecture Exhibition. La Biennale di Venezia*. Ausstellungskatalog Giardini della Biennale/Arsenale Venezia, 2 Bde. Venezia: Marsilio.
- Gaß, Siegfried und Otto, Frei (Hg.) (1990): *IL 25, Experimente/Experiments – Form Kraft Masse 5/ Form – Force – Mass 5* (Mitteilungen des Instituts für leichte Flächentragwerke [IL], Universität Stuttgart, Nr. 25). Stuttgart: Karl Krämer.
- Hollein, Hans (1962): „Zurück zur Architektur“. Vortrag, Galerie St. Stephan, Wien, 1. Februar. Online unter: <http://www.hollein.com/ger/Schriften/Texte/Zurueck-zur-Architektur> (zuletzt aufgerufen: 1.7.2018).
- Klotz, Heinrich (1987): *Moderne und Postmoderne. Architektur der Gegenwart 1960–1980*. 3., durchges. Aufl. Braunschweig/Wiesbaden: Friedrich Vieweg & Sohn.
- Lévi-Strauss, Claude (1973): *Das wilde Denken*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Lynn, Greg (2014): „On Experimentation, Corporate Partnerships, and Making Mistakes“. Interview with Paul Harrison, Roya Mottahedeh & Mark Ross, in: *Place-Holder*, Nr. 1/2, S. 59–63.
- Reckwitz, Andreas (2012): *Die Erfindung der Kreativität – Zum Prozess gesellschaftlicher Ästhetisierung*. Berlin: Suhrkamp.
- Reckwitz, Andreas (2015): „Ästhetik und Gesellschaft – ein analytischer Bezugsrahmen“, in: Ders.; Prinz, Sophia und Schäfer, Hilmar (Hg.): *Ästhetik und Gesellschaft. Grundlagentexte aus Soziologie und Kulturwissenschaften*. Berlin: Suhrkamp, S. 13–52.
- Rendell, Jane (2003): „A Place Between, Art, Architecture and Critical Theory“, in: Sarapik, Virve und Tüür, Kadri (Hg.): *Koht ja Paik/Place and Location: Studies in Environmental Aesthetics and Semiotics III* (Proceedings of the Estonian Academy of Arts, Nr. 14). Tallinn: Estonian Academy of Arts, S. 221–232.
- Rowe, Colin und Koetter, Fred (1997): *Collage City* (Schriftenreihe des Instituts für Geschichte und Theorie der Architektur an der ETH Zürich, Bd. 27). 5., erw. Aufl. Basel/Boston/Berlin: Birkhäuser.
- Seitz, Tim (2017): *Design Thinking und der neue Geist des Kapitalismus. Soziologische Betrachtungen einer Innovationskultur*. Bielefeld: transcript.
- Thomsen, Christian W. (1991): *Experimentelle Architekten der Gegenwart*. Köln: DuMont.
- Venturi, Robert (1978): *Komplexität und Widerspruch in der Architektur* (Bauwelt Fundamente, Bd. 50). Braunschweig: Vieweg.

Publizieren

Ein Bericht aus der interdisziplinären Wissensvermittlung

Interview mit Kerstin Germer

Kerstin Germer ist Literaturwissenschaftlerin und hat als Editorische Koordinatorin des Exzellenzclusters *Bild Wissen Gestaltung* zahlreiche Publikationen unterstützt sowie die Entwicklung neuer Formate an der Schnittstelle zwischen analog und digital vorangetrieben. Wir haben mit ihr über die Zusammenhänge von Experimentieren und Publizieren sowie über die Herausforderungen interdisziplinärer Veröffentlichungen gesprochen.

Hrsg.: Was hat Experimentieren mit dem wissenschaftlichen Publikationswesen zu tun?

Kerstin Germer: Sehr viel, denn Ergebnissicherung und Reflexion sind unabdingbare Bestandteile des Forschens und Experimentierens. Ich würde sogar sagen, dass das experimentelle Forschen einen Teil seines Erfolgs daraus zieht, dass es einen gewissen Zwang zur Niederschrift des Geschehenen, Gedachten und Gesagten gibt. Erst die wissenschaftliche Veröffentlichung macht das Experiment für andere Forschende nachvollziehbar und verbreitet die gewonnenen Erkenntnisse weiter. Auf der anderen Seite besteht jedoch ein grundsätzlicher Unterschied zwischen der experimentellen Herstellung des Wissens, die durch Theorien und Methoden streng kontrolliert und reglementiert wird, und ihrer Darstellung, die ganz eigenen, wissenschaftsexternen Grundsätzen folgt.¹ Das Publizieren ist in der Funktionsweise der akademischen Gemeinschaft ja nicht nur elementar für die Kommunikation neuen Wissens, sondern auch hinsichtlich Reputationsaufbau und Leistungsmessung. Deshalb kommt den Orten der Veröffentlichung – wissenschaftlichen Fachzeitschriften, Reihen namhafter HerausgeberInnen oder renommierten Verlagen – so eine zentrale Bedeutung zu. Diese oft disziplinspezifischen Veröffentlichungsorgane haben sich jedoch aus verschiedenen Publikationstraditionen heraus entwickelt und können je nach Format vollkommen unterschiedliche Selektionsmechanismen und Qualitätskontrollen beinhalten. Für eine gelungene Kooperation zwischen Forschung und Verlagswesen

1 Siehe zu diesem Phänomen das Themenheft Esposito, Elena (2005) (Hg.): „Wissenschaftliches Publizieren: Stand und Perspektiven“. *Soziale Systeme. Zeitschrift für soziologische Theorie*, Jg. 11, H. 1. Stuttgart: Lucius & Lucius.

gilt es außerdem nicht nur Wissenschaftlichkeit und Wirtschaftlichkeit in Einklang zu bringen, sondern auch Ergebnisse möglichst öffentlichkeitswirksam zu präsentieren. Wissenschaftliches Publizieren und Experimentieren stehen sich deshalb sowohl diametral als auch einander bedingend gegenüber. Sie lassen sich jedoch auch direkt aufeinander beziehen, denn das Publizieren kann ebenfalls experimentell erfolgen.

**Was genau verstehen Sie unter experimentellem Publizieren?
Ist es wirklich möglich, in der aktuellen wissenschaftlichen
Publikationslandschaft experimentell vorzugehen?**

Experimente sind beim wissenschaftlichen Publizieren tatsächlich keineswegs selbstverständlich, da es in erster Linie auf das Funktionieren in der sozialen Gemeinschaft abzielt und nicht unbedingt permanent auf neue Innovationsschritte gerichtet werden kann. Im Vordergrund stehen für die meisten Forschenden ja wie gesagt Qualitätssicherung, Kreditierung und Steigerung des Renommées – alles Aspekte, die auf Seriosität angewiesen und damit naturgemäß eher konservativ sind. Experimentelles Publizieren bedeutet dagegen, das Darstellungsformat selbst zum Forschungsgegenstand werden zu lassen. Das heißt, Experimente werden nicht nur beschrieben und abgebildet, sondern finden sich im Format selbst wieder. Da man sich dabei jedoch meist jenseits der etablierten Organe bewegt, erfordert es von Seiten der Forschenden einen gewissen Mut und Risikobereitschaft. Es ist aber definitiv möglich. Faktoren wie die Ökonomisierung und Monopolisierung des Verlagswesens, die dadurch bedingte Medialisierung von Forschungsinhalten, aber auch die steigende Bedeutung wissenschaftlicher Selbststeuerungsmechanismen durch formale Leistungsbeurteilung und Evaluation werden ja gerade in jüngster Zeit heftig kritisiert.² Es treten immer mehr Universitäts- und alternative Klein- sowie Open-Access-Verlage in Erscheinung, die Veröffentlichungswege jenseits von High-Impact-Journals und Großverlagen bieten. Nicht zuletzt ist es die Wissenschaft selbst, die sich ihre Kommunikationskanäle mehr und mehr zurückerobert und eigene Strukturen entwickelt. Besonders mit der Forderung nach offener Wissenschaft und dem Übergang zum elektronischen Publizieren gehen außerdem verschiedene Veränderungsprozesse des wissenschaftlichen Kommunikationssystems einher, die experimentelle Wissenschaft fördern und verbessern können. Eingeleitet wird eine Fokusverschiebung vom wissenschaftlichen *Ergebnis* hin zu den

2 Vgl. dazu ausführlich Weingart, Peter und Taubert, Nils (2016): *Wissenschaftliches Publizieren. Zwischen Digitalisierung, Leistungsmessung, Ökonomisierung und medialer Beobachtung*. Berlin: de Gruyter.

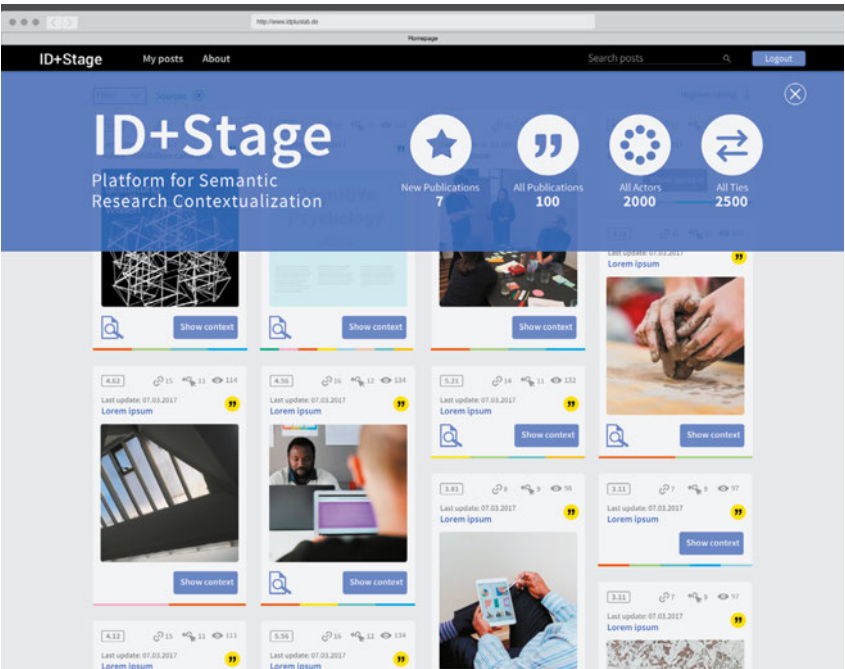


Abb. 1. ID+Stage/ID+Publication/ID+Backstage, ID+Lab, Bild Wissen Gestaltung 2018.

Prozessen der Forschungsarbeit und ihren unterschiedlichen Stadien während des Publikationskreislaufs. Vor diesem Hintergrund wird zum Beispiel die steigende Bedeutung von Forschungsdaten beim Publizieren gerade im natur- und sozialwissenschaftlichen Bereich verständlich. Aber auch die Geisteswissenschaften profitieren von neuen Kommunikationsformen wie Bloggen und Twittern. Das unter experimentellen Gesichtspunkten interessante Stichwort Prozesspublikation lässt sich also doppelt verstehen – einerseits als den Ergebnissen zeitlich vorgeschalteter Zwischenschritt, andererseits als Schritt der Nachvollziehbarkeit zu Dokumentationszwecken. Wichtig ist, dass sich die Wissenschaft ihre Formate selbst sucht und die Form nicht über den Inhalt gestellt wird. Deshalb lassen sich Publikationswege auch nicht vorschreiben, sondern sie müssen einen bestimmten Bedarf erfüllen. Und der ist in einigen wissenschaftlichen Bereichen experimenteller ausgerichtet als in

anderen, beispielsweise wenn es um das Annotieren, also die digitale Auszeichnung von Texten und Objekten geht oder um 3D-Simulationen von Artefakten.³

Welche Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang dem interdisziplinären Publizieren zu?

Das interdisziplinäre Publizieren nimmt innerhalb der aktuellen Veränderungsprozesse in der Tat eine besondere Stellung ein. Es steht nicht nur vor der Herausforderung, Publikationskanäle zu finden, die zwischen Fachrichtungen und Methoden vermitteln, sondern die Beteiligten müssen letztlich auch die oft gänzlich unterschiedlichen Wege des wissenschaftlichen Austausches neu aushandeln. Nehmen wir diesen Band: Indem er den Versuch unternimmt, einen interdisziplinären Dialog über unterschiedliche Formen des Experimentierens anzuregen – und damit in gewisser Hinsicht schon selbst zum Experiment wird –, zeichnet er sich durch eine besondere Reflexivität, aber auch Zirkularität aus. Zum einen handelt es sich um Texte, die über die Praxis disziplinären Experimentierens für eine interdisziplinäre Zielgruppe berichten und dabei vergleichend nebeneinandergestellt werden; zum anderen wird das interdisziplinäre Experiment selbst thematisch, das jedoch auf allgemeine Fragestellungen und Probleme einzelner Disziplinen rückbezogen werden muss, um methodische Anschlussfähigkeit zu gewährleisten. In einer Wissenschaftslandschaft, die zunehmend international und kollaborativ ausgerichtet ist, sind interdisziplinäre Fragestellungen zwar längst keine Seltenheit mehr und gelten sogar als richtungsweisend für zukünftige gesellschaftliche Herausforderungen. Dennoch ist Forschung, die sich jenseits gängiger Fächerzuschreibungen bewegt, mit verschiedenen Herausforderungen konfrontiert, die insbesondere auch die Ergebnisveröffentlichung betreffen. Stark disziplinär ausgerichtete Verlagsrubriken und Formate führen dazu, dass Resultate interdisziplinärer Zusammenarbeit mitunter nur schwer in althergebrachte Raster eingeordnet werden können. Angesicht dieser vornehmlich fachspezifisch ausgerichteten Publikationslandschaft ist es nicht umsonst gängige Empfehlung, zwar interdisziplinär zu forschen, aber disziplinär zu publizieren, um Fördermaßnahmen und individuelle Karriereplanungen nicht zu gefährden.⁴

3 Interessant sind in diesem Kontext die Ergebnisse des DFG-Projektes *Future Publications in den Humanities* (Fu-PuSH). Kaden, Ben; Kleineberg, Michael und Walk, Martin (2016): „Digitales Publizieren in den Geisteswissenschaften. Abschlussbericht und Handlungsempfehlungen des DFG-Projektes Fu-PuSH.“ Online: <http://doi.org/10.5281/zenodo.47091> (zuletzt aufgerufen: 13.11.2018).



Abb. 2. ID+Stage: Homepage, ID+Lab, Bild Wissen Gestaltung 2018.

Im Interdisziplinären Labor *Bild Wissen Gestaltung* haben wir uns bemüht, sowohl diese konservativen Regeln des Publizierens zu befolgen als auch innovative Strategien zu entwickeln. Die daraus entstandenen Formate und Medien sind entsprechend divers und variieren nicht nur zwischen Fachgebieten: Der Bandbreite an Resultaten folgend gehören gedruckte Monografien und Kataloge ebenso zu unserem Repertoire wie Onlineartikel, Datenbanken, Internetplattformen, Websites, Software und Ausstellungsinstallationen. Besonders spannend ist es jedoch, wenn dieses Vorgehen des Nebeneinanders aufgebrochen wird – denn nur durch das konkrete Miteinander lässt sich Neuland betreten und gleichzeitig auch konkrete Wissenschaftsforschung betreiben.

4 Vgl. Arnold, Markus; Gaube, Veronika und Wieser, Bernhard (2014): „Interdisziplinär forschen“, in: Dressel, Gert; Berger, Wilhelm; Heimerl, Katharin und Winiwarter, Verena (Hg.): *Interdisziplinär und transdisziplinär forschen. Praktiken und Methoden*. Bielefeld: transcript, S. 105–119.

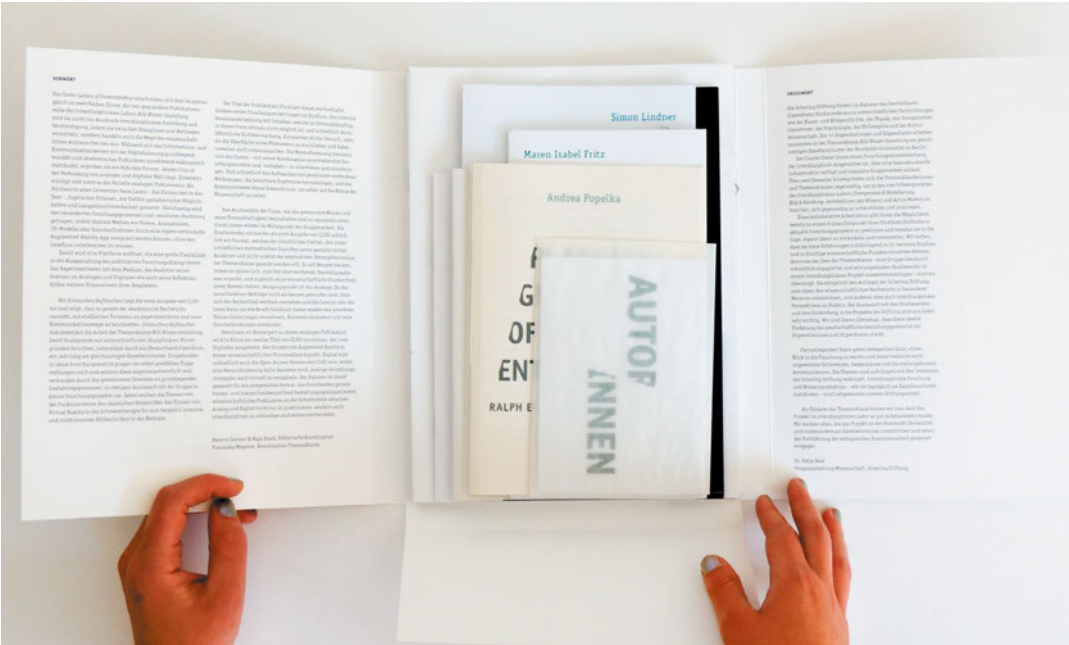


Abb. 3. Erste Ausgabe der Publikationsreihe *CLOU* des Interdisziplinären Labors *Bild Wissen Gestaltung*, 2018.

Sehen Sie also eine Beziehung zwischen interdisziplinärer Forschung und experimentellen Veröffentlichungsformaten?

Nicht zwangsläufig, auch wenn dies meine Anfangserwartung war, als ich 2015 meine Tätigkeit als Editorische Koordinatorin aufgenommen habe. Stattdessen musste ich jedoch erfahren, dass gerade die vielschichtige und komplexe Ausgangslage bei interdisziplinärer Forschung zu einer Präferenz für bereits fest etablierte Publikationswege führen kann. Dennoch bietet sie aber natürlich auch die Chance, dem Status quo entgegenzutreten. Insbesondere die Einbindung der Gestaltungsdisziplinen kann dabei bedeuten, einen radikalen Perspektivwechsel zu vollziehen, denn DesignerInnen richten ihren Fokus nur bedingt auf die sprachliche Vermittlung ihrer Arbeit. Während das Schreiben von Texten ja quasi disziplinübergreifend zum wissenschaftlichen Alltag gehört und somit den kleinsten gemeinsamen Nenner im breiten Feld der Wissenschaftskommunikation darstellt, betrifft der kreativ-experimentelle Schaffensprozess hier unmittelbar sinnlich wahrnehmbare Phänomene (wie Räume, Objekte, Handlungen, Bewegung usw.) und wird keineswegs selbstverständlich auch schriftlich reflektiert. Insofern ist ein erster Schritt sicherlich, den Publikationsbegriff

weiter zu fassen und auch andere Medien jenseits der Schrift zu integrieren. Das kann an die Grundfesten der verschiedenen Wissenschaftskulturen rühren. Für die Naturwissenschaften steht beim Publizieren das Dokumentieren im Vordergrund. Bei diesem Aufschreiben und Interpretieren zuvor erhobener Daten bleiben historische und ästhetische Aspekte bewusst außen vor. Für die Geisteswissenschaften wiederum gehören Schreib- und Erkenntnisprozess oft zusammen, so dass ein gemeinsam verfasster wissenschaftlicher Text selbst zum experimentellen Versuch werden kann. Allerdings spielen auch hier textuelle Gestaltungselemente kaum eine Rolle und es ist ein interessanter Schritt, diese Aspekte in die Arbeit zu integrieren. Das Entwickeln neuer Formate gehört deshalb ebenso zu meinem Berufsalltag am Interdisziplinären Labor wie die Koordination scheinbar traditioneller Publikationsvorhaben.

Könnten Sie einmal konkret beschreiben, wie Sie so ein experimentelles Veröffentlichungsformat entwickeln? Und sind das aus Ihrer Sicht explorative oder hypothesengeleitete Experimente?

Am Anfang der Formatentwicklung steht eigentlich immer ein konkreter Bedarf, also die Nachfrage nach etwas, das es in dieser Form bisher noch nicht gibt, aber gewünscht ist. Im Anschluss geht es dann um die Erstellung eines Konzepts. Was soll das Format leisten? Insofern stehen bestimmte Hypothesen, auch aufgrund von Vorerfahrungen, zweifellos am Anfang des Prozesses. Dabei geht es in erster Linie um die Vermittlung des Forschungsgegenstands, der natürlich im Zentrum des Vorhabens stehen sollte, und zugleich um die Bedürfnisse der AutorInnen sowie der potenziellen Zielgruppe. Die praktische Umsetzung erfolgt jedoch rein explorativ als Zusammenarbeit von KünstlerInnen, GrafikerInnen, DesignerInnen, RedakteurInnen, HerausgeberInnen und AutorInnen. Ein Projekt, das sich konkret mit interdisziplinärer Zusammenarbeit beschäftigt, ist beispielsweise das ID+Lab.⁵ Es analysiert, modelliert und gestaltet interdisziplinäre Kollaborationen basierend auf einer Semantic-Web-Technologie. Derzeit in der Entwicklung befindet sich die interdisziplinäre Publikationsplattform ID+Stage, die eine neuartige Form von Enhanced Publications ermöglichen soll (Abb. 1). Alle Publikationen werden mit Metadaten zu den Prozessen ihrer Entstehung angereichert, so dass nicht nur die Ergebnisse, sondern mit Hilfe der ID+Backstage als eines zugehörigen Modellierungswerkzeugs auch die interdisziplinäre Projektarbeit selbst sichtbar gemacht wird. Die so entstehende ID+Publication

5 Siehe die Homepage des Projekts <http://www.idpluslab.de/> sowie den Grundlagentext zum Modell unter <http://www.idpluslab.de/idplusmodell.html> (zuletzt aufgerufen: 13.11.2018).



Abb. 4. CLOU App, Forschungsgruppe INKA, HTW Berlin 2018.

verbindet also die Veröffentlichung mit der Modellierung ihres Produktionsraums (Abb. 2).⁶ Dadurch wird einerseits das Netzwerk interdisziplinärer Forschung und ihrer Daten mit der Publikation selbst sichtbar gemacht und zum anderen die technische Integration alternativer, nicht textbasierter Formate unterstützt. Gerade die Formatvielfalt an der Schnittstelle von analog und digital ist eine zentrale Herausforderung interdisziplinären Publizierens, zumal sie oft entlang der Grenzen der unterschiedlichen Wissenschaftskulturen verläuft. Die Publikationsreihe *Cluster Letters of Understanding* erprobt deshalb ein hybrides Format, dessen Clou in der Verbindung beider Welten liegt. Einerseits sollen die Vorteile analoger Gestaltungsmöglichkeiten gewürdigt – als Stichworte seien Immersion beim Lesen, haptisches Erfassen und Langzeitarchivierbarkeit genannt – und durch alternative Darstellungsformen jenseits der traditionellen Buchform neu entdeckt werden (Abb. 3). Gleichzeitig möchten wir den veränderten Forschungsprozessen und -resultaten Rechnung tragen, indem digitale Medien wie Videos, Animationen, 3D-Modelle oder Soundaufnahmen durch eine eigens entwickelte Augmented-Reality-App integriert werden können, ohne den Lesefluss unterbrechen zu müssen (Abb. 4).⁷ Damit soll eine

6 Zur ID+Stage vgl. Dürfeld, Michael; Schultz, Anika; Stein, Christian; Thomack, Benjamin und Zeissig, Nadia (2018): „ID+Lab – Analyzing, Modeling and Designing Interdisciplinarity“, in: Rodríguez-Ortega, Nuria (coord.): *Digital Humanities: societies, politics and knowledge. Artnodes*. Nr. 22. Online: <http://dx.doi.org/10.7238/a.voi22.3214> (zuletzt aufgerufen: 13.11.2018).

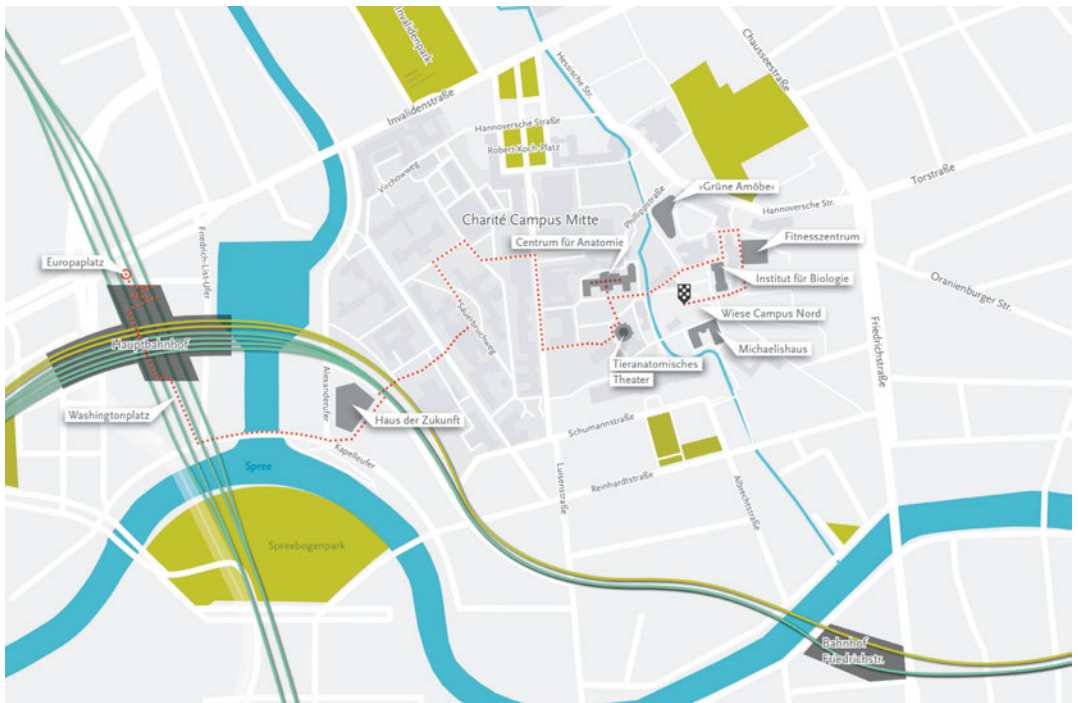


Abb. 5. Route des AudioWalks *Körper, Zeit, Bewegung*, Julia Meer, Johanna Steindorf und Claudia Lamas Cornejo, *Bild Wissen Gestaltung* 2018.

Plattform für die Darstellung wissenschaftlicher Ergebnisse eröffnet werden, die eine große Flexibilität in der Ausgestaltung des publizierten Forschungsdialogs bietet. Das Experimentieren mit dem Medium, das Ausloten seiner Grenzen im Analogen und Digitalen wie auch seine Reflexion bilden weitere Dimensionen für neue Produktionsbedingungen der Forschungspräsentation. Die am Cluster entwickelten interdisziplinären AudioWalks richten sich dagegen an eine interessierte Öffentlichkeit und regen rezeptiv zu Reflexion und genauerer Betrachtung der eigenen Umgebung an: Ausgehend von alltäglichen Erfahrungen wie Gehen, U-Bahn-Fahren oder Einkaufen laden sie dazu ein, mit den Stimmen von WissenschaftlerInnen unterschiedlichster Disziplinen im Ohr neue Perspektiven zu entdecken und die Stadt audiovisuell neu zu erleben (Abb. 5). Dabei sind deren AutorInnen ausdrücklich an Feedback zu Timing, Inhalten und Erfahrungen interessiert. Die Walks machen damit nicht nur die Stadt, sondern auch die Forschung des Interdisziplinären Labors und die spezifische

7 Vgl. Germer, Kerstin; Stark, Maja; Costa e Silva, Tiago da und Remes, Kerstin: „What’s the CLOU? Prototypes for a New Journal Format by the Interdisciplinary Laboratory *Image Knowledge Gestaltung*“, in: Busch, Carsten; Kassung, Christian und Sieck, Jürgen (Hg.): *Hybrid Systems*. Glückstadt: Verlag Werner Hülsbusch 2018, S. 147–158.

Atmosphäre dieses einzigartigen, diskursiven Zusammenschlusses erfahrbar.⁸

Sind diese Experimente in der Veröffentlichungspraxis reproduzierbar bzw. sollen sie es überhaupt sein?

Das kommt darauf an, was man unter Reproduzierbarkeit versteht. Da experimentelle Formate stark auf den jeweiligen Forschungsgegenstand zugeschnitten sind, lassen sie sich nur bedingt eins zu eins wiederholen. Sie sind aber natürlich übertragbar. Obwohl Experimente beim Publizieren prinzipiell ergebnisoffen sind, könnte man Reproduzierbarkeit sogar als Erfolgskriterium ansehen, und zwar in dem Sinne, dass sich eine bestimmte Art der Wissenschaftskommunikation erfolgreich etabliert hat. Nehmen wir zum Beispiel das Bloggen – hier hat sich mit Hypotheses.org nach und nach eine Blogplattform konstituiert, die durchaus eine ernstzunehmende Veröffentlichungsvariante darstellt und sich ein gewisses Renommee aufgebaut hat. Den ursprünglich experimentellen Charakter hat das Format dadurch aber in gewisser Hinsicht eingebüßt. Insofern muss man berücksichtigen, dass ungewöhnliche Formen der Wissensvermittlung auch ein willkommenes Alleinstellungsmerkmal sein können.

8 Eine Dokumentation mit Anleitung für die von Claudia Lamas Cornejo, Julia Meer und Johanna Steindorf realisierten AudioWalks findet sich unter: „AudioWalks – Konzept eines neuen interdisziplinären Formats der Wissensvermittlung“. Online: <http://doi.org/10.5281/zenodo.1466739> (zuletzt aufgerufen: 13.11.2018).

Rechnen

Mathematische Physik von Raum, Zeit und Materie

Matthias Staudacher

Von außen betrachtet mag die mathematische Physik als dasjenige Teilgebiet der physikalischen Wissenschaft gelten, das per definitionem am weitesten vom Experiment als Tätigkeit entfernt ist. Aber ist das so? Der vorliegende Beitrag soll dies widerlegen.

Da sind zunächst die Gedankenexperimente, ohne die die moderne Physik nicht hätte entwickelt werden können. Galileo Galilei legt in seinem berühmten Dialog *Über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme* seinem Alter Ego Salviati ein solches in den Mund. Man solle sich demnach eine geschlossene Schiffskabine vorstellen, in der Rauch geradlinig aufsteigt, Schmetterlinge ungestört umherfliegen und Fische ruhig in Gläsern schwimmen. Durch keine Beobachtung könne man feststellen, ob das Schiff ruht oder sich mit gleichmäßiger Geschwindigkeit fortbewegt. Aus diesem gedanklichen Versuch abstrahiert Galilei seine Invarianzformeln für die Raum-Zeit. Einstein schloss direkt an dieses Experimentieren an und ersetzte lediglich das Schiff durch einen Zug und den Rauch, die Schmetterlinge und die Fische durch Lichtstrahlen. Er konnte damit die Lorentzschen Invarianzformeln der relativistischen Raum-Zeit mathematisch herleiten. Auch seine allgemeine Relativitätstheorie schuf er nicht etwa aus der Not unerklärter physikalischer Experimente heraus – die gab es in diesem Zusammenhang praktisch nicht –, sondern als Schlussfolgerungen aus auf einfachen Prinzipien beruhenden und konsequent durchgeführten gedanklichen Experimenten. Einsteins Vorgehensweise wurde zum Goldstandard der mathematischen Physik und inspiriert immer noch die Suche nach der oder den Weltformeln und damit der Theorie von Allem.

Die Aufdeckung der endgültigen mathematischen Struktur von Raum, Zeit und Materie gestaltet sich jedoch sehr schwierig. Die existierenden Theorien, also insbesondere die Quantenfeldtheorie und die Allgemeine Relativitätstheorie, sind einfach zu erfolgreich und erklären die durchgeführten – und leider mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auch die in naher Zukunft durchführbaren – physikalischen Experimente zu gut. Und dennoch stimmt etwas nicht in diesem eindrucksvollen Theoriengebäude. So gibt es

keine besonders überzeugende Erklärung für den experimentellen Befund, dass die Natur von etwa 95 Prozent der im Universum vorhandenen Energie und Materie bisher im Dunkeln bleibt. Dies ist eine wichtige Triebfeder für die Weiterentwicklung der mathematischen Physik. Einen noch größeren Impetus liefert aber wieder das Gedankenexperiment: Führt man die Quantenfeldtheorie und die Allgemeine Relativitätstheorie zusammen, so ergeben sich bisher unbezähmbare mathematische Infinitäten und logische Widersprüche. Dies ist umso unerquicklicher, als es bisher keine Möglichkeiten gibt, zur Aufklärung die Gedankenexperimente in reelle Experimente zu verwandeln.

Aus der beschriebenen Situation bildete sich in den letzten Jahren eine neue wissenschaftliche Kultur der Modellbildung in der mathematischen Physik heraus. Um Quantenfeld- und Allgemeine Relativitätstheorie besser zu verstehen, beide für sich, aber insbesondere ihre schwierige Zusammenführung, arbeitet man mit Modelltheorien, die beabsichtigterweise signifikante Unterschiede gegenüber den für die Naturbeschreibung nötigen Versionen aufweisen: Die Modelle sind entweder stark vereinfacht oder auf nicht nachprüfbarer Weise verallgemeinert oder sogar explizite Gegenentwürfe zu den „echten“ Theorien. Mit diesen Modellen wird dann im Sinne möglicher Welten gedanklich und mathematisch frei experimentiert. Die sich ergebenden strukturellen Eigenschaften all dieser möglichen, aber vermutlich in der Natur nicht realisierten Welten werden in der Folge den zur Naturbeschreibung erwünschten dennoch gegenübergestellt, um so Rückschlüsse auf die gesuchten, eigentlichen, „richtigen“ Theorien zu erlauben. Es geht also darum, sich durch geschicktes Umherlaufen im Raum aller Theorien dem richtigen Ort zu nähern.

Auch in der Praxis der Konstruktion und Untersuchung von Modellen spielt neben mathematischer und physikalischer Konsistenz – wobei sowohl Erstere als auch Zweitere oft flexibel gehandhabt werden – das Experimentieren eine zentrale Rolle. Virtuelle physikalische Welten werden durch intuitive Veränderung der Modellparameter je nach Wunsch gestaltet. Auftretende modellinterne Paradoxa ziehen oft weitere Untersuchungen und Debatten nach sich, mittels derer sie entweder beseitigt oder verstärkt werden. Dabei ist es nur selten möglich, die Modelle exakt zu lösen, so dass die Modelleigenschaften oft in empirischer Fleißarbeit zusammengetragen werden. Und auch im glücklicheren Fall der exakten Lösbarkeit ist es meist so, dass sich diese nur schwierig beweisen lässt und die exakten Formeln durch Trial and Error erst gefunden und danach überprüft werden.

Besonders interessant sind diejenigen Modelle, die die Eigenschaft der Dualität besitzen. Typischerweise erlaubt diese zwei vollständig unterschiedliche Formulierungen des Modells, nennen wir sie A und B, die sich jedoch nach der Erstellung eines sogenannten Wörterbuches (*Dictionary*; es schlüsselt die Bestandteile der Formulierungen auf) als äquivalent erweisen. Diese Übereinstimmung kann allerdings typischerweise nicht streng bewiesen werden. Daher wird sie in aufwendiger – und der Natur nach nie ganz abgeschlossener – Arbeit „experimentell“ überprüft, indem man Berechnungen in sowohl A als auch B anstellt und die Ergebnisse vergleicht. An die Stelle des klassischen Theorie-Experiment-Paares tritt also ein Theorie-Theorie-Paar, dessen tatsächliche Existenz ironischerweise oft nur empirisch etabliert werden kann. Ein berühmtes Beispiel der jüngeren Zeit ist die *Anti-de Sitter/Conformal Field Theory* (AdS/CFT)-Dualität, die Ende 1997 durch den Argentinier Juan Maldacena per Vermutung vorgeschlagen wurde und deren „experimentelle“ Überprüfung immer noch andauert. Die Arbeit wurde bis Mitte 2018 über 13.500 Mal zitiert und ist damit die meistzitierte Forschungsarbeit der mathematischen Physik aller Zeiten – und dies, obwohl es kein einziges physikalisches Laborexperiment gibt, das man mit der Arbeit quantitativ erklären könnte. Was sind also die Gründe, warum sich die mathematischen PhysikerInnen diese enorme Fleißarbeit der – im obigen Sinne experimentellen – Überprüfung aufbürdeten?

Der gewichtigste Punkt ist ein konzeptioneller und hängt mit dem oben erwähnten Spannungsfeld zwischen Allgemeiner Relativitäts- und Quantenfeldtheorie zusammen. Im genaueren besagt die AdS/CFT-Dualität, dass eine Quantenfeldtheorie in $D+1$ Raum-Zeit-Dimensionen exakt dual sei zu einer Stringtheorie in $D+2$ Raum-Zeit-Dimensionen. Und letztere ist eine konsistente quantenmechanische Erweiterung der Allgemeinen Relativitätstheorie. Man kann also die Gravitation gewissermaßen „in einer höheren Dimension verstecken“. Die Quantenfeldtheorie befindet sich dabei auf dem Rand der $D+2$ -dimensionalen Raum-Zeit, in Analogie mit einem Hologramm, das dreidimensionale Informationen in exakt reproduzierbarer Weise auf einer zweidimensionalen Oberfläche speichert. Man sagt daher auch, dass AdS/CFT nur ein Beispiel für ein noch viel allgemeineres *holografisches Prinzip* sei.

Diese Idee erscheint so revolutionär und reizvoll, dass die daran arbeitenden PhysikerInnen überzeugt sind, dass sie auf die eine oder andere Weise in der Natur realisiert sein sollte, auch wenn es bisher kein konkretes Szenario gibt. So ist in der ursprünglichen Formulierung von AdS/CFT die Raum-Dimension $D=3$, so dass sich

die Stringtheorie und damit die Gravitation in fünf (statt der erforderlichen vier) Dimensionen manifestiert. Dennoch, als eine Art *Proof of Principle* induzierte die Maldacenasche Vermutung ihre enorm aufwendige, im obigen Sinne experimentelle und immer noch nicht abgeschlossene Überprüfung.

Die AdS/CFT-Korrespondenz ist allerdings, wie sich zeigen lässt, nur ein – wenn auch besonders drastisches – Beispiel für ein viel allgemeineres Phänomen in der theoretischen Physik. So kann man etwa für die seit 1968 entstandene Stringtheorie als Ganzes beobachten, dass noch nie in der Geschichte der Menschheit eine so große Anzahl von WissenschaftlerInnen (grob geschätzt mindestens 10.000) über einen so langen Zeitraum (fünfzig Jahre) an einer Theorie gearbeitet haben, für die bisher keine einzige im engeren Sinne experimentelle Überprüfung möglich war. Dennoch fordert zumindest das Selbstverständnis der daran arbeitenden WissenschaftlerInnen, dass es sich bei der Stringtheorie um „echte“ Physik handelt. Die Qualitätssicherung findet in einem weltweit einzigartigen räumlich und zeitlich delokalisierten Laborraum statt, dem arXiv (gesprochen engl. *Archive*), einem Dokumentenserver für Preprints, der Anfang der 1990er Jahre, sogar noch kurz vor der Expansion des Internets, innerhalb der String-Community entstand und sich inzwischen auf viele weitere Teilgebiete der Physik und Mathematik ausgedehnt hat. Es gestattet es, theoretische Szenarien gewissermaßen instantan weltweit zu präsentieren und sich damit unmittelbar einer kritischen Überprüfung durch die gesamte Community auszusetzen. Ein derartiges theoretisches Experiment scheitert also etwa dann, wenn ihm in der Folge in „Gegenpublikationen“ mathematische oder konzeptionelle Fehler nachgewiesen werden. Es scheitert aber auch in einem zweiten Szenario, nämlich der völligen Nichtbeachtung der Community. Andersherum ist das „Experiment“ umso mehr von Erfolg gekrönt, wenn eine möglichst große Anzahl von Folgearbeiten die Selbstkonsistenz und Tiefe des Vorschlags herausarbeiten. Die AdS/CFT-Korrespondenz ist vermutlich das bisher wichtigste Beispiel eines derartigen Erfolgsszenarios.

Ein solcher scheinbar von der Realität abgekoppelter und sich zunächst nur selbst genügender Laborraum mag von außen betrachtet wie der unbestimmte Ort eines bloßen Glasperlenspiels wirken. Dem entgegensetzen ist einerseits, dass die fundamentale theoretische Physik eben nach den dramatischen Einsichten des letzten Jahrhunderts ein Opfer ihres Erfolgs geworden ist, indem nur noch wenige experimentelle Schwachstellen im Theoriegebäude zu finden sind. Dennoch gibt es sie, so etwa das

eingangs erwähnte Problem von dunkler Energie und Materie. Der zweite Einwand ist, dass die wichtigste Schwachstelle der oben betonte mathematische Konflikt zwischen zwei jeweils für sich mit ungeheurer Präzision überprüften Theoriegebäuden (Allgemeine Relativitätstheorie und Quantenfeldtheorie) ist und dies eine neue Kultur des Experimentierens mit Theorien geradezu erfordert.

Simulieren

Experimente in der Büroraumgestaltung. Konzepte, Herausforderungen und praktische Beispiele aus Sicht der Architektur

Kerstin Sailer

Der Beruf des Architekten ist eine abenteuerliche Tätigkeit: ein Grenzbereich in der Schwebe zwischen Kunst und Wissenschaft, auf dem Grat zwischen Erfindung und Gedächtnis, zwischen Mut zur Modernität und der Achtung der Tradition. Der Architekt [...] arbeitet mit allen Arten von Rohstoffen, womit ich nicht allein Beton, Holz und Metall meine, sondern ebenso Geschichte und Geographie, Mathematik und Naturwissenschaften, Anthropologie und Ökologie, Ästhetik und Technologie, Klima und Gesellschaft. (Piano 1997: 10)

Die Architektur ist eine überwiegend praxisorientierte Disziplin, die jedoch zunehmend auch als Wissenschaft und Forschungsbereich beschrieben wird (Penn 2008). Architektonisches Entwerfen ist gekennzeichnet durch eine intuitive und iterative Herangehensweise, die nötig ist aufgrund der hohen Komplexität nahezu jeder Entwurfsaufgabe. Wie schon das kurze Eingangszitat von Renzo Piano eindrücklich werden lässt, müssen vielfältige Anforderungen beispielsweise struktureller, materieller, technologischer, ökonomischer, funktionaler, sozialer und kultureller Art in einem einzelnen Gebäude vereinbart werden. Der Entwurfsprozess wurde unter anderem als Schaffensprozess dargestellt („a process of making“) (Schön 1991), aber auch als „learning by doing“-Phänomen (Lawson 2006) sowie als Prozess, der sich durch einen experimentellen Charakter auszeichnet (van Schaik 2005).

Die Architektur kann also als experimentelle Praxis bezeichnet werden. Jedoch gibt es diesbezüglich verschiedene Ansatzpunkte und Vorgehensweisen: In der Architekturpraxis überwiegt die Vorstellung, dass jeder Entwurf auf gewisse Weise ein Experiment darstellt, da jeweils etwas Neues, bisher nicht Dagewesenes geschaffen wird. Eine andere Sichtweise, die sich auf wissenschaftstheoretische Ansätze bezieht, versteht das architektonische Experiment als einen Prozess, in dem Phänomene erschaffen werden, die daraufhin strukturiert beobachtet werden können und zum Erkenntnisgewinn über Architektur und ihre Wirkungen beitragen. Eine dritte Interpretation des Experiments in der Architektur kombiniert Praxis und Theorie, indem Gebäude als ungetestete Hypothesen begriffen werden können.

Diese drei unterschiedlichen und teils widersprüchlichen Interpretationen des Begriffs des Experiments in der Architektur sollen im Folgenden näher erläutert werden. Darauf aufbauend werde ich mich dann mit einer konkreten Bauaufgabe in der Architektur auseinandersetzen: der architektonischen Gestaltung von Büroräumen. Ich werde aufzeigen, welche Vorteile strukturierte Experimente in der Büroraumgestaltung haben können, welche Hindernisse es zu bewältigen gilt und welche Ansätze bereits existieren, das Experiment als Teil der architektonischen Entwurfspraxis zu begreifen. Dies werde ich anhand von verschiedenen Fallbeispielen diskutieren, die sich den drei verschiedenen Experimentbegriffen in der Architektur lose zuordnen lassen. Am Ende dieses Beitrags werde ich einen Ausblick auf eine neue Architekturforschung skizzieren, die sich stärker am naturwissenschaftlichen Experimentverständnis orientiert.

Das Experiment als Produktion des Neuen

Im weitesten Sinne ist jede Architektur ein Experiment, da neue Welten erschaffen, neue Materialien getestet, neue Produkte und Bauelemente verwendet und neue Formen erzeugt werden. Besonders auffällige Beispiele sind Gebäude, deren mit computergestützten, parametrischen Designansätzen geschaffene Formensprachen das bisher Denkbare in Frage zu stellen scheinen, wie etwa die Architektur von Zaha Hadid oder die Elbphilharmonie in Hamburg, entworfen vom Architekturbüro Herzog & De Meuron. Neues, bisher Unerprobtes kann aber auch in ungewöhnlichen Nutzungskonzepten von Gebäuden bestehen. Die von Colin St. John Wilson und MJ Long entworfene British Library in London beispielsweise dient nicht nur als Nationalbibliothek, sondern fungiert auch als Raum für unterschiedliche Events, als Museum, Konferenzraum, Coworking-Space und touristische Attraktion.

Sind es letztlich nur einige herausragende Bauwerke, die viel Aufmerksamkeit erhalten, muss doch ganz grundsätzlich konstatiert werden, dass jede architektonische Intervention einzigartig ist. Raumsituationen und Grundrisse, Nutzungsprofile und Funktionen, aber auch Größe und Form von Gebäuden sowie Umfeld und Außenbeziehungen sind nie gleich. Auch wenn sich viele Faktoren ähneln und ein Wolkenkratzer in Manhattan wie der andere erscheinen mag, unterscheiden sich Gebäude bei näherer Betrachtung doch wesentlich. Das ständige Neuerfinden von Raumstrukturen basierend auf der Vorstellungskraft von praktizierenden ArchitektInnen ist demnach jedes Mal aufs Neue ein Experiment, da Gebäude als neue Realitäten in die Welt gesetzt

werden und das Funktionieren ihrer verschiedenen Aspekte erst erprobt werden muss.

Das experimentelle Erschaffen von Phänomenen

Im Gegensatz zu dem soeben beschriebenen Experimentbegriff der Architekturpraxis können Experimente in Anlehnung an gängige Vorgehensweisen in den Naturwissenschaften begriffen werden. Nach Ian Hacking (1983) lässt sich das Experiment in der Wissenschaft als Intervention verstehen, welche es ermöglicht, unsere Welt zu manipulieren, um ihre Funktionsweise zu verstehen. Für Hacking nimmt das Experiment eine zentrale Rolle unter den wissenschaftlichen Arbeitsweisen ein, entgegen der oft vertretenen historischen Auffassung, die Experimente als nachrangig gegenüber Theorien betrachtete. Hacking legt dar, dass Experimente Phänomene erschaffen, die beobachtbar, erkennbar, nennenswert und regelhaft sind. Damit meint Hacking nicht nur bewusst von WissenschaftlerInnen geplante Experimente, sondern auch Beobachtungen, Zufälle und ungeplante Messungen. Bill Hillier und Alan Penn (1991) fügen Hackings Analyse eine räumliche Komponente hinzu, indem sie erörtern, dass Phänomene lokal entstünden. Zwar seien sie zunächst flüchtiger als Theorien, jedoch seien es ebendiese erschaffenen Phänomene, die letztlich Theorien zerstörten und neu entstehen ließen.

Aufbauend auf Hacking, Hillier und Penn kann das Experiment demnach als strukturierte Beobachtung lokalen Geschehens aufgefasst werden. In welchem Maße Experimente geplant und strukturiert sind oder wie sehr sie als Phänomene aus einer explorativen Vorgehensweise heraus mehr oder weniger zufällig entstehen, ist abhängig von Wissenschaftstraditionen, Disziplinen und favorisierten Methoden in verschiedenen Schulen. Die von Hillier und Penn vertretene Vorgehensweise, auch bekannt als *Space Syntax*, widmet sich dem Schaffen und Verstehen von lokalen sozialräumlichen Phänomenen und ist somit ein architektursoziologischer Forschungsansatz.

Gebäude als ungetestete Hypothesen: Experimente und deren Überprüfung

Eine dritte Haltung zum Experiment kombiniert Praxis und Theorie, das heißt sowohl Entwurfs- und Bauprozess, aber auch Nutzungsprozesse werden zum Gegenstand der Untersuchung und des Experimentierens. Dieser Ansatz geht über das traditionelle, künstlerisch geprägte architektonische Entwerfen hinaus und begreift jedes Gebäude als zu testende Hypothese: „Get involved

in design so that hypotheses can be tested by that marvellous available instrument, the real building“ (Hillier 1969: 29).

Damit wird das Gebäude zum Experiment und zur Vorhersage, wie Menschen sich Räume erschließen, sie wahrnehmen, sie benutzen und sich aneignen. Mit dem Entwurf eines Gebäudes wird eine Wirklichkeit erschaffen, basierend auf Annahmen darüber, wie die Menschen, die das Bauwerk benutzen werden, leben wollen – wie sie arbeiten, wie sie wohnen, wen sie sehen und treffen werden, wie sie sich bewegen und fühlen werden.

Führt man diesen Gedankengang weiter – ein Gebäude als Experiment und ungetestete Hypothese –, stellt sich unmittelbar die Frage nach dem tatsächlichen Testen der einer Architektur zugrundeliegenden Annahmen.

Welchen Eindruck ArchitektInnen häufig bei denjenigen hinterlassen, die die Gebäude nutzen, beschreibt der Autor Scott Berkun sehr trefflich in seinem Buch über die Zukunft der Arbeit: „Architects are notorious for designing and disappearing, never returning to see how their choices worked or failed after the building opens“ (Berkun 2013: Kap. 12).

Sobald ein Gebäude schlüsselfertig übergeben ist, gilt ein Architekturprojekt üblicherweise als abgeschlossen. Dies spiegelt sich auch in den Leistungsbeschreibungen für ArchitektInnen wider. In der aktuellen Fassung der deutschen *Honorarverordnung für Architektur- und Ingenieursleistungen* (HOAI) von 2013 sind in der Objektplanung neun Leistungsphasen ausgewiesen,¹ jedoch keine, die sich mit der Erfassung von Nutzungsprozessen in Gebäuden nach deren Bezug auseinandersetzt. Die britische Verordnung des Royal Institute of British Architects (RIBA) von 2013, der sogenannte *Plan of Work*, sieht dagegen mittlerweile die neu eingeführte Phase 7 „In use“ vor,² die es sich zum Ziel setzt, zu erfassen, wie sich das Gebäude in der Nutzung bewährt. Die Methode der *Post-Occupancy Evaluation* (POE) ist explizit genannt. Gleichwohl ist die Realität auch in Großbritannien eine andere. Nutzungsstudien oder systematische POE werden selten durchgeführt (Sailer et al. 2015a), auch weil Anreizsysteme fehlen.

Im angloamerikanischen Raum wird dennoch eine breite Diskussion über das architektonische Entwerfen geführt und alternative Entwurfsansätze werden auch in der Praxis angewandt. Im Jahr 2010 beispielsweise hat das American Institute of Architects (AIA) Forschung und das sogenannte evidenzbasierte Entwerfen (Evidence Based Design, EBD) in seine Prioritätenliste aufgenom-

1 Quelle: http://www.hoai.de/online/HOAI_2013/HOAI_2013.php#P34 (zuletzt aufgerufen: 18.5.2018).

2 Quelle: <https://www.ribaplanofwork.com/PlanOfWork.aspx> (zuletzt aufgerufen: 18.5.2018).

men. Im Kontext von Architektur bedeutet EBD, sich in Entwurfsentscheidungen an Erkenntnissen aus systematischer und methodischer Forschung zu orientieren (Sailer et al. 2008). Ein Beispiel hierfür ist die Berücksichtigung der medizinischen Einsicht, dass Kranke mit mehr direktem Tageslichtzugang mit weniger Schmerzmedikation zurechtkommen (Walch et al. 2005).

Während EBD überwiegend in Gesundheitsbauten praktiziert wird, finden sich durchaus Ansatzpunkte für eine evidenzbasierte Entwurfspraxis in anderen Gebäudetypen, so auch in der Büroraumgestaltung (Sailer et al. 2010, Sailer et al. 2015b).

Ideen, wie sich ein Gebäude als Hypothese testen ließe, sind also durchaus vorhanden – beispielsweise durch eine explizite Formulierung von Entwurfsprinzipien, die zu bestimmten Verhaltensanreizen für die NutzerInnen der Gebäude führen könnten. Dies wäre eine Art von Hypothese, die sich durch eine systematische Beobachtung von tatsächlichem Nutzungsverhalten im realisierten Gebäude überprüfen ließe.

Welches Potenzial ein auf Experimenten basierender Ansatz hat, soll nun am Beispiel der Büroraumgestaltung näher erläutert werden.

Das Experiment in der Büroraumgestaltung

Büroräumen kommt in der postindustriellen Gesellschaft eine besondere Relevanz zu, da Arbeitsprozesse zunehmend wissensbasiert und bürogebunden ablaufen. Die Gestaltung dieser Räume wird immer mehr als Einflussfaktor auf die Produktivität von Unternehmen, aber auch auf Talentmanagement, Wohlbefinden und Mitarbeiterzufriedenheit begriffen (Bilsborough 2015).

Wenn man also Büroraumgestaltung als Investition in die MitarbeiterInnen und damit letztlich als Beitrag zum Unternehmenserfolg betrachtet, stellt sich durchaus die Frage, wie sichergestellt werden kann, dass die entsprechenden Ziele auch erreicht bzw. die Risiken dieser doch beachtlichen Investition minimiert werden. Dieser Herausforderung will sich evidenzbasiertes Entwerfen stellen (Sailer et al. 2015a).

Wie darüberhinausgehend die Rolle des Experiments für die Büroraumgestaltung genutzt werden kann, wird nun anhand von drei Beispielen skizziert.

Prototyping

Prototyping hat seinen Ursprung in der Produktentwicklung, wo frühe Versionen eines Produkts, etwa Software, zum Testen zur Verfügung gestellt werden. Im Feld physischer Produkte ist das

Rapid Prototyping eine gängige Methode, um erste Modelle eines neuen Produkts schnell begreifen und verbessern zu können.

Wie kann nun diese Art von Experiment in der Büroraumgestaltung angewendet werden?

Das Londoner Architekturbüro Spacelab hat einen experimentellen Entwurfsprozess³ entwickelt, der Prototyping, Iterationen und Nutzungstests ermöglicht. Zu Beginn eines Projekts werden umfassend Kundendaten etwa zu Bedürfnissen, Zielvorstellungen, aber auch Arbeitsprozessen erhoben. Ein erster konzeptueller Entwurf eines neuen Büros wird daraufhin in Revit erstellt und mit Hilfe einer Virtual-Reality(VR)-Brille den NutzerInnen nahegebracht. Gemeinsam mit dem Spacelab-Team kann der neue Büroraum virtuell begangen und erlebt werden. Der nächste Entwurf integriert dann das von den Kunden geäußerte Feedback. Während manche Projekte nach einer Iteration zufriedenstellend gestaltet sind und ihren Weg von der virtuellen Realität in gebauten Raum finden, erfordern andere mehrfache Iterationen von Entwurf, Begehung, Kritik und Neuentwurf. Da es sich bei den Entwürfen um rein simulierte Formen handelt, ist das ganze Vorgehen vergleichbar mit dem Prozess des Rapid Prototyping. Durch die Kombination von Datenerhebung und rekursivem Ansatz, der den ersten Entwurf sowie jeden weiteren als Experiment begreift, das gemeinsam mit dem Kunden getestet werden kann, gestaltet Spacelab Büroräume, die darauf abzielen, möglichst optimal an die Kunden und deren Vorstellungen angepasst zu sein.

Prototyping als Mittel des Architekturentwurfs kann also die Produktion des Neuen mit wissenschaftlichen Methoden unterstützen.

Testbereiche

Eine weitere Möglichkeit, Experimente in die Büroraumgestaltung einfließen zu lassen, sind Testbereiche. Diese Zonen können in einem existierenden Büroraum eingerichtet werden, um neue Arbeitskonzepte, neue Möbel oder eine gänzlich neue Anordnung von Arbeitsbereichen auszuprobieren. Oftmals werden vor einer größeren Neugestaltung von Büroräumen solche Testbereiche in kleinen Zonen mit einer ausgewählten Gruppe von NutzerInnen implementiert. Deren Erfahrungen können in den Entwurf des neuen Büros einfließen. Zugleich ist die Einbindung der NutzerInnen ein Instrument, um ihre zukünftige Zufriedenheit zu stärken.

Ein umfassendes Experiment mit solchen Testbereichen ist in der Berliner „Experimentalzone“ umgesetzt worden (Marguin et al.

3 Quelle: <https://www.spacelab.co.uk/blog/spacelab-transitioning-2018> (zuletzt aufgerufen: 11.6.2018).

im vorliegenden Band S. 107–122, 2019), wo von 2015 bis 2018 ein wissenschaftlicher Arbeitsraum an der Humboldt-Universität in regelmäßigen Abständen umgestaltet wurde, um neue Erkenntnisse über die Eigenschaften eines kollaborativen Habitats für die interdisziplinäre Arbeit zu erlangen.

Testbereiche können als Erschaffung eines Phänomens und strukturierte Beobachtung lokalen Geschehens interpretiert werden.

Simulation von Raumstrukturen

Das dritte Beispiel für strukturierte Experimente in der Büroraumgestaltung besteht in der Analyse simulierter Raumstrukturen nach unterschiedlichen Kriterien. Anstatt die Nutzung selbst (erst) im gebauten Raum oder in der Simulation zu überprüfen, ermittelt diese Methode Nutzungspotenziale (Sailer 2011) in simulierten Räumen zunächst in statistischer Form. Die Methode *Space Syntax* (Hillier/Hanson 1984, Hillier et al. 1984) liefert eine Möglichkeit, Grundrissalternativen systematisch zu beschreiben und Nutzungspotenziale aufgrund des im Grundriss realisierten Wegenetzes zu ergründen (Dworschak 2002). Raumelemente wie Flure, Zimmer und Treppenhäuser werden als zusammenhängendes Netzwerk von Räumen konzipiert, das dann mit Hilfe von Graphentheorie ausgewertet werden kann, beispielsweise hinsichtlich kürzester Pfade durch ein Gebäude oder hinsichtlich der Orte, die zentrale Stellen im Netzgefüge einnehmen.

Wie die Simulation von Raumstrukturen in der Praxis angewandt werden kann, zeigt die vergleichende Analyse von Optionen, die für ein Technologieunternehmen mit Sitz in London erstellt wurden. Entwurfsoption 1 (Abb. 1) basiert auf dem Gestaltungsgrundsatz, den wichtigsten Flur und damit die Hauptbewegungsströme von den offenen Arbeitsbereichen weitest möglich zu isolieren, um die Arbeitsprozesse der EntwicklerInnen nicht zu stören. Nachdem die Entscheidung für diesen Grundriss gefallen und das Gebäude geplant, gebaut und bezogen war, stellte sich die Frage, ob andere Grundrissoptionen möglich wären, um die Zusammenarbeit von EntwicklerInnen zu unterstützen. Daher wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes acht weitere Entwurfsalternativen erstellt, die sich lediglich in der Anordnung der Meetingräume unterschieden. Diese wurden dann mit Hilfe von Space Syntax hinsichtlich ihres Nutzungspotenzials verglichen, um zu verdeutlichen, welche Entscheidungen mit der realisierten Architektur getroffen wurden und welche weiteren Ideen möglich gewesen wären. Tabelle 1 sowie Abbildungen 2 und 3 zeigen diese

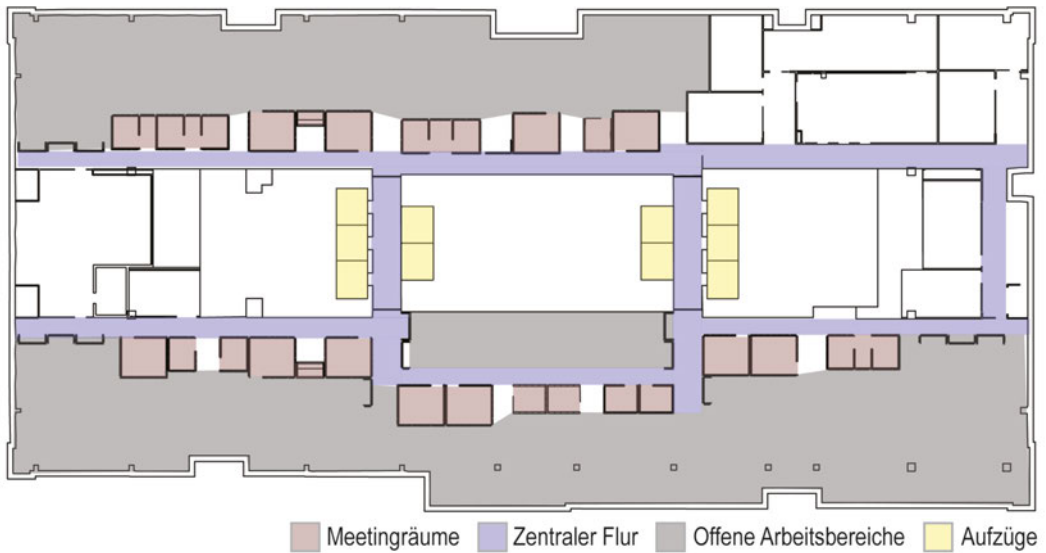


Abb. 1. Schematischer Grundriss eines Regelgeschosses für ein Technologieunternehmen in London (Entwurfsoption 1).

Unterschiede zwischen den Optionen auf. Zwei Metriken (Turner et al. 2001) wurden dazu berechnet: *Connectivity*, beschrieben als die durchschnittliche Größe eines Sichtfeldes,⁴ sowie *Mean Depth*, womit die durchschnittliche Pfadlänge im Grundriss bezeichnet wurde.⁵

Die umgesetzte Variante des *isolierten Flurs* hat relativ große Sichtfelder (*Connectivity* = 874, das entspricht einer Fläche von 315 m²), sowie eine leicht überdurchschnittliche Pfadlänge von 3,41. Dieser Entwurf betont Sichtbezüge und das gemeinsame Arbeiten mit unmittelbaren KollegInnen, allerdings sind zufällige Begegnungen auf dem isolierten Flur wahrscheinlich selten. Die Clusterlösungen hingegen (Optionen 7 und 8) weisen eine höhere Wahrscheinlichkeit für Begegnungen auf, aber auch ein höheres Störpotenzial durch die immens großen offenen Bereiche (*Connectivity* = 1.714 und 2.083, also Flächen von 617 und 750 m²).

Die Analyse von Entwurfsalternativen mit Hilfe von Space-Syntax-Methoden kann experimentell darüber Aufschluss geben, welches Potenzial ein Grundriss aufweist, um Begegnungen zu

4 Die Maßzahl *Connectivity* gibt an, wie viele Rasterpunkte von einem Ursprungsort aus gesehen werden können. In der vorliegenden Analyse wurde ein Raster von 0,6 m x 0,6 m gewählt. Ein *Connectivity*-Wert von 100 entspricht also einer einsehbaren Fläche von 36 m².

5 Eine durchschnittliche Pfadlänge von 4 bedeutet beispielsweise, dass man im Durchschnitt viermal „um die Ecke sehen muss“ bis man alle Bereiche des Grundrisses visuell erschlossen hat.

ermöglichen und Sichtbezüge herzustellen. Diese Information kann im Entwurfsprozess, aber auch in der Gebäudebewertung, etwa der POE benutzt werden, um gewünschte Arbeitsprozesse oder eine bestimmte Unternehmenskultur zu befördern. Idealerweise sollte die Simulation später mit einer Nutzungsstudie verglichen werden, um die Annahmen des Modells zu überprüfen.

Diese Art von Experiment veranschaulicht, wie Gebäude als Hypothesen begriffen und getestet werden können.

Ausblick: Das Denken mit Experimenten als Teil einer neuen Architekturforschung

In der Architektur lassen sich verschiedene Haltungen zum Experiment finden: angefangen von der weit verbreiteten Annahme, dass jedes Bauen experimentell sei, hin zu spezifischeren Experimentbegriffen, beispielsweise dem Experiment als Beobachtung lokalen Geschehens, und dem Gebäude als zu testender Hypothese. Gerade

		CONNECTIVITY			MEAN DEPTH		
	Gestaltungsprinzip	Durchschnitt	Minimum	Maximum	Durchschnitt	Minimum	Maximum
1	Isolierter Flur	874	9	2149	3.41	2.40	5.69
2	Nachbarschaften	694	9	1609	3.04	2.18	5.50
3	Private Nachbarschaften	745	9	1695	3.20	2.26	5.57
4	Ausgeprägte Nachbarschaften 1	657	8	1871	3.50	2.34	6.36
5	Ausgeprägte Nachbarschaften 2	724	19	2161	3.16	2.19	5.70
6	Labyrinth	753	19	2031	3.39	2.34	6.51
7	Multicluster Meetingräume	1714	19	3417	2.80	1.88	5.59
8	Einzelcluster Meetingräume	2083	4	4297	2.82	1.95	6.44
9	Zentrale Meetingräume	822	18	2156	3.63	2.63	6.02
	Alle	1006	4	4297	3.22	1.88	6.51

Tabelle 1. Vergleichende Analyse von Connectivity- und Mean-Depth-Werten der neun Grundrissoptionen.

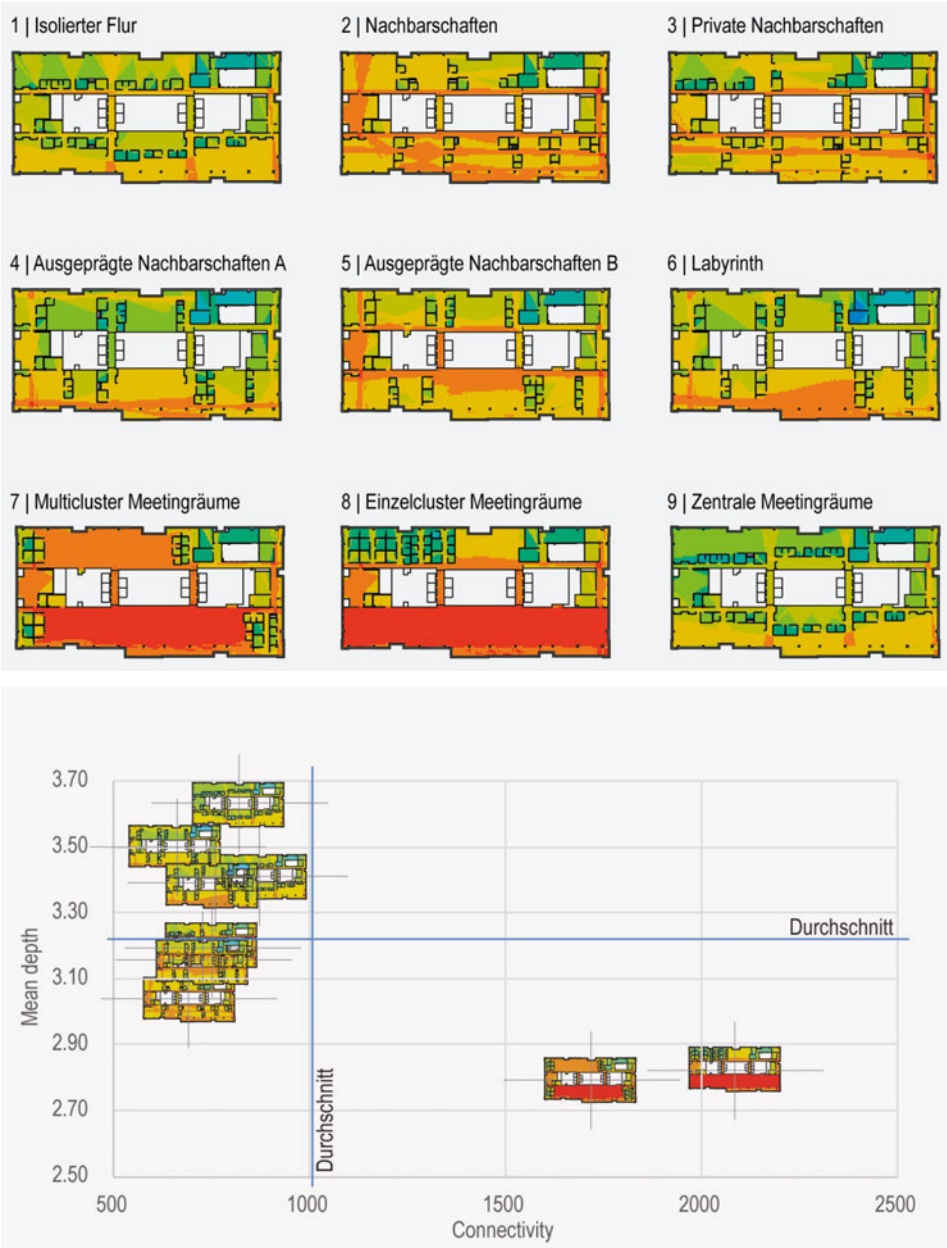


Abb. 2. (oben) Neun verschiedene Entwurfslösungen für die Anordnung von Meetingräumen. Warme Farben (rot, orange, gelb) verdeutlichen höheres Integrationspotenzial durch kurze Pfadlängen.

Abb. 3. (unten) Vergleich des Begegnungspotenzials der neun Entwurfsalternativen hinsichtlich der Space-Syntax-Metriken Mean Depth und Connectivity.

in den zuletzt genannten Ansätzen des strukturierten, wissenschaftlichen Experiments liegt ein großes Potenzial für die Architekturforschung. Wie erläutert, könnten architektonische Entwürfe beispielsweise in der Büroraumgestaltung auf ihr Begegnungspotenzial hin untersucht werden. Auf Prototyping basierende Ansätze könnten zu besseren und partizipativen Entwurfslösungen beitragen, die gemeinsam mit NutzerInnen erstellt werden. Testbereiche hingegen könnten dazu führen, dass Entwurfslösungen basierend auf Erkenntnissen aus der testweisen Nutzung optimiert werden.

Es gilt jedoch drei Herausforderungen zu bewältigen, um das Denken mit systematischen Experimenten stärker in der Architektur verankern zu können: Erstens müsste Architekturforschung breiter praktiziert werden, sowohl in Hochschulen als auch in der Praxis; zweitens müsste die Experimentierfreude von ArchitektInnen auf nutzungsnahen Prozesse ausgedehnt werden und sich nicht nur auf Formensprache und Material beschränken und drittens müssten AuftraggeberInnen strukturierte Experimente mindestens akzeptieren, besser noch sie einfordern und ihnen Wertschätzung entgegenbringen.

Literatur

- Berkun, Scott (2013): *The year without pants: WordPress.com and the future of work*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Bilsborough, Darren (2015): *Don't Worry About the Rent: Choosing New Office Space to Boost Business Performance*. Macksville: dbpublishing.
- Dworschak, Manfred (2002): „Geistesblitze auf dem Flur“, in: *Der Spiegel*, 25.3.2002.
- Hacking, Ian (1983): *Representing and intervening: introductory topics in the philosophy of natural science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hillier, Bill (1969): „Psychology and the Subject Matter of Architectural Research“, in: *Architectural Psychology*. IAPS. London, UK: RIBA Publications, S. 25–29.
- Hillier, Bill und Hanson, Julianne (1984): *The social logic of space*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hillier, Bill und Hanson, Julianne; Peponis, John (1984): „What do we mean by building function?“, in: Powell, J.A.; Cooper, I. und Lera, S. (Hg.): *Designing for building utilisation*. London: Spon Ltd, S. 61–72.

- Hillier, Bill und Penn, Alan (1991): „Visible Colleges: Structure and Randomness in the Place of Discovery“, in: *Science in Context*, Jg. 4, Nr. 1, S. 23–49.
- Lawson, Bryan (2006): *How Designers Think – The Design Process Demystified*. Oxford: Architectural Press.
- Penn, Alan (2008): „Architectural Research“, in: Knight, Andrew und Ruddock, Les (Hg.): *Advanced Research Methods in the Built Environment*. Oxford: Wiley-Blackwell. S. 14–27.
- Piano, Renzo (1997): *Renzo Piano – mein Architekturbuch*. Ostfildern-Ruit: Hatje Canz.
- Sailer, Kerstin; Budgen, Andrew; Lonsdale, Nathan; Turner, Alasdair und Penn, Alan (2008): „Evidence-Based Design: Theoretical and Practical Reflections of an Emerging Approach in Office Architecture“, in: Durling, David; Rust, Christ; Chen, Lin-Lin; Ashton, Philippa und Friedman, Ken (Hg.): *Undisciplined! Proceedings of the Design Research Society Conference 2008*, Sheffield/UK. Online unter: <http://shura.shu.ac.uk/492/> (zuletzt aufgerufen: 13.6.2018).
- Sailer, Kerstin (2011): „Nutzungspotenziale und Aneignungsprozesse in öffentlichen Räumen“, in: Emmenegger, Barbara und Litscher, Monika (Hg.): *Perspektiven zu öffentlichen Räumen. Theoretische und praxisbezogene Beiträge aus der Stadtforschung*. Luzern: Interact, S. 53–84.
- Sailer, Kerstin; Budgen, Andrew; Lonsdale, Nathan; Turner, Alasdair und Penn, Alan (2010): „Pre and Post Occupancy Evaluations in Workplace Environments“, in: *The Journal of Space Syntax*, Jg. 1, Nr. 1, S. 199–213.
- Sailer, Kerstin; Pomeroy, Ros und Haslem, Rosie (2015a): „Data-Driven Design – Using Data on Human Behaviours and Spatial Configuration to Inform Better Workplace Design“, in: *Corporate Real Estate Journal*, Jg. 4, Nr. 3, S. 249–262.
- Sailer, Kerstin; Pomeroy, Ros und Haslem, Rosie (2015b): „Insights from an evidence-based design practice“, in: *Work & Place*, Nr. 5, S. 6–9.
- Schön, Donald A. (1991): *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*. Aldershot: Ashgate Publishing Limited.
- Turner, Alasdair; Doxa, Maria; O’ Sullivan, David und Penn, Alan (2001): „From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space“, in: *Environment and Planning B: Planning and Design*, Jg. 28, Nr. 1, S. 103–121.
- van Schaik, Leon (2005): *Mastering Architecture. Becoming a Creative Innovator in Practice*. Chichester: Wiley-Academy.
- Walch, Jeffrey M; Rabin, Bruce; Day, Richard; Williams, Jessica N.; Choi, Krissy und Kang, James (2005): „The effect of sunlight on postoperative analgesic medication use: a prospective study of patients undergoing spinal surgery“, in: *Psychosom Med*, Jg. 67, Nr. 1, S. 156–163.

Skalieren

The Seductive Trap of Linear Thinking. Skalierungseffekte im Experiment

Reinhard Wendler

Dieser Beitrag stellt das Problem der Skalierungseffekte bei Experimenten beispielhaft anhand eines Experiments vor, das durch das Eintreten unvorhergesehener Folgen seinen Charakter grundlegend verändert hat: Ein Elefant wurde mit LSD vergiftet und das Experiment für gescheitert erklärt, obwohl man daraus wichtige Beobachtungen hätte ableiten können. Ursächlich war eine Ignoranz der Experimentatoren gegenüber Skalierungseffekten. Das Phänomen wird auf seine Entstehung, Auswirkungen und Bewertung hin untersucht und in den Kontext theoretischer Konzepte von Skalierungseffekten gestellt. Abschließend diskutiert der Beitrag den janusköpfigen Charakter der Skalierungseffekte als Erkenntnisdifferenzen und Erkenntnisquellen.

„Milligram per Killigram“

Im Jahre 1962 führten Louis Jolyon West, Chester Pierce und Warren Thomas Experimente an einem Elefanten durch. Diese Tiere seien dem Menschen in vielerlei Hinsicht ähnlich, so betonten die Autoren, sie seien zum Beispiel bemerkenswert intelligent, lebten vergleichbar lange und zudem in komplexen sozialen Gefügen wie der Mensch, und sie wiesen überhaupt eine sehr interessante „Psychobiologie“ auf. Mit diesem Ausdruck verweisen West, Pierce und Thomas auf die Musth (sprich *məst*), ein Phänomen periodisch wiederkehrender Phasen von Aggressivität bei jungen Elefantenbullen. „[T]he elephant [...] runs berserk for a period of about 2 weeks during which time he may attack or attempt to destroy anything in his path“ (West et al. 1962: 1101). Die drei Forscher stellen dieses Phänomen nicht explizit in einen Zusammenhang zur männlichen Pubertät, erachten es aber dennoch aus einer vergleichbaren Perspektive heraus als erforschungswürdig. Es sei „an almost unique phenomenon in nature, and it provides an interesting opportunity for psychiatric research“ (ebd.). Mit diesem Hinweis wird der nachfolgend beschriebene Versuch gerechtfertigt.

West, Pierce und Thomas entwarfen ein Experiment an dem vierzehn Jahre alten indischen Elefantenbullen Tusko, der sich im Besitz des Lincoln Park Zoo in Oklahoma City befand. Tusko

Weather
Continued Warm
High 95, Low 73
Map on Page 5.

THE DAILY OKLAHOMAN

294,929
Daily Circulation
Mailing and Reading
July Averages

VOL. 71, NO. 211

TWENTY-EIGHT PAGES — 500 N. BROADWAY, OKLAHOMA CITY, SATURDAY, AUGUST 4, 1962

DAILY, FIVE CENTS

JUDGES DELAY APPORTIONING

Israel Airline Defies Orders To Fly Soblen

Spy Wins Another Chance for Fight On Return to U. S.

LONDON (AP)—The Israeli Airline defied Friday night a British order to fly Dr. David Soblen to the United States and attorneys for the fugitive spy began another effort to help him escape a life sentence in an American prison.

The British leave office insisted that Dr. M. A. Aulman must fly Soblen, but showed its attempts to get him out of this country Friday night.

Flight Delayed

Dr. M. A. Aulman, an Israeli government adviser, opposed the order to fly Soblen, but he said he has proven one of the most complicated of cases in legal history. The same order said:

"We have decided Dr. M. A. Aulman must fly Soblen to America as soon as possible. We are in fact discussing the order."

Shot of Drug Kills Tusko

By Claire Outley

A 7,000-pound research elephant gave up his life for science Friday.

Tusko, the 30-year-old male elephant being boarded at the Oklahoma City zoo, died shortly after injection with an experimental drug which has been administered to humans to induce mental illness for study purposes.

The drug is LSD, lysergic acid diethylamide. Tusko's reaction was a complete shock to scientists who attempted to save his life.

Dr. L. J. West, professor of psychiatry at the University of Oklahoma medical school, who has been directing a series of experiments for which the animal was brought here from Phoenix, said the dosage was 3 mg.

This is much larger than the proportionate human dose, but he percent smaller than the dosage rates for children of the nationality whose reaction to LSD has been extensively studied, he said.

Dr. West said he and Dr. Chester Pierce, chief of Oklahoma City's Center for



Dr. L. J. West bends over Tusko as Dr. Warren Thomas looks on.

Court Ruling Draws Blast By Governor

Fierce Criticism Comes in Wake Of Majority View

By Bill Dutton

The federal court has chastised a state court legislature to go on and hurry itself. Gov. Edmonson said of Friday's announcement.

He termed the court's decision "complex, unusual, and."

Edmonson said he didn't think the legislature would proposition along federal court's requirements, and said he thought the court was "unfair" in asking them to do so.

"I might add, as an expression of personal opinion, in some respects I wouldn't blame the legislature if a state's proposition to the governor said."

Criticism continues. Outlining his criticism of the decision, Edmonson said, "The federal court has already found that there

2-1 Decision Leaves Action To Legislature

By Ray Pace

In a 2-1 decision, Oklahoma's three-judge federal court Friday gave the 1963 legislature and Gov. B. B. B. a proposition to go on and hurry itself to decide the court will proposition by initial order.

The majority opinion by Judge A. P. Marshall and Fred Humphrey said specifically that the scheduled November 6 general election is not affected by the court's order of June 15, which held present proposition "prospectively null and void and ineffectual for all future elections."

Judge Ross Bailey, Republican member of the court, filed a dissenting statement in which he declared "we have a duty and obligation to the people of Oklahoma . . . in proposition the Oklahoma legislature and do it now."

The decision came as a disappointment to three groups seeking immediate reapportionment of the 1963 . . .

Related news, maps Page 6

legislature, but was a welcome reprieve to federal attorneys and house and senate members whose political careers hung in the balance.

The ruling means that the 1963 legislature will be the first elected under a new apportionment, which will bring sweeping changes in a system that has existed since statehood. It will end rural domination of the Oklahoma legislature and give metropolitan centers a big . . .

Abb. 1. Titelseite von *The Daily Oklahoman* vom 4. August 1962, Vol. 71, Nr. 211.

sollte LSD verabreicht bekommen, um eine Verhaltensänderung herbeizuführen, „that might resemble the phenomenon of going on musth“ (ebd.). Die Dosierung des Halluzinogens wurde aufgrund des Vergleichs zu Einnahmemengen bei Menschen und in Tierversuchen bestimmt. Wie West, Pierce und Thomas schreiben, führt die Einnahme von 0,2 Milligramm pro Kilogramm Körpergewicht beim Menschen zu starken Veränderungen der Wahrnehmung und des Verhaltens. Tödliche Dosen seien trotz bekannten Missbrauchs beim Menschen nicht beobachtet worden. Bei Tierversuchen wurden sehr viel höhere Dosierungen verabreicht, da etwa Makakenaffen oder Katzen offenbar über einen Abwehrmechanismus verfügen. West, Pierce und Thomas berichten hierbei von einem Milligramm LSD pro Kilogramm Körpergewicht. Dem rund drei Tonnen schweren Tusko sollten insgesamt 297 Milligramm verabreicht werden, was etwa 0,1 Milligramm pro Kilo entspricht. Diese Dosierung hätte beim Menschen relativ starke, bei Affen und Katzen indes nur geringe Wirkung. „[W]e considered that the elephant possessed substantial resistance to neurotropic agents and predicted that we were unlikely to see much reaction with this dosage of LSD“ (ebd.).

Am 2. August 1962 wurde Tusko ein Plazebo injiziert und sein nachfolgendes – normales – Verhalten gefilmt. Um acht Uhr am darauffolgenden Tag bekam Tusko auf dieselbe Weise das Halluzinogen verabreicht. Nach drei Minuten erschien er orientierungslos, nach fünf fiel er schwer auf die Seite, „and went into *status epilepticus*. [...] The eyes were closed and showed a spasm of the orbicularis oculi [...]. The mouth was open, but breathing was extremely labored and stertorous [...]. The tongue, which had been bitten, was cyanotic“ (ebd.). Nach zwanzig Minuten, als sich deutlich abzeichnete, dass die Dosierung eine andere, wesentlich stärkere Wirkung hatte als angenommen, verabreichten die Forscher dem Tier ein Gegenmittel. Dies brachte die Symptome geringfügig zum Abklingen, aber: „Despite a last-minute effort to save the animal with an intravenous injection of pentobarbital sodium, he died 1 hour and 40 minutes after the LSD had been injected. A necroscopy confirmed the impression of death by strangulation secondary to laryngeal spasm“ (ebd.).

Das im Dezember 1962 in *Science* publizierte Paper, aus dem diese Informationen und Zitate stammen, führt die abschließenden Untersuchungen am toten Elefanten sowie die Schlussfolgerungen der Autoren auf. Trotz des völligen Scheiterns des Experiments wird das Vorgehen weiterhin affirmativ als „chemically induced pseudo-musth“ bezeichnet (West et al. 1962: 1102). Abschließend weisen die Autoren als Erkenntnis aus, dass auch Menschen an einer Überdosis LSD sterben könnten, was bis dahin weitgehend ausgeschlossen worden war. Neben diesen Schlussfolgerungen findet sich allerdings auch ein Abschnitt über die Methode zur Berechnung der verabreichten Dosis. Die Autoren vermuten, dass sich das LSD ungleich im Körper verteilt, genauer gesagt im Nervensystem konzentriert haben könnte. „If such were the case, the calculation of LSD dosage on the basis of milligrams per killigram [sic!] of total body weight would be inappropriate, and other criterion, such as brain size, should be considered. The brain of the mature elephant is about three to four times the size of man’s“ (ebd.). An diesem Zitat ist zweierlei für den vorliegenden Beitrag interessant: Erstens sei hier nochmals auf das mit „sic!“ gekennzeichnete Wort „killigram“ hingewiesen. Da hier gegenüber dem korrekten „kilogram“ gleich zwei Buchstaben fehlerhaft sind und sich mit dem Wort „kill“ ein neuer, im Kontext des Aufsatzes unmittelbar schlüssiger Sinn ergibt, könnte dies absichtlich so gesetzt worden sein. Vielleicht war ein Lektor oder Setzer der Meinung, dass der *elephant in the room* in dem auf fast zynische Weise sachlich gehaltenen Aufsatz wenigstens einmal beim Namen

genannt werden müsste. Zweitens ist der radikale Unterschied der Dosierungsbemessung hervorzuheben: Während der Elefant etwa so viel wiegt wie 45 Menschen, entspricht das Gewicht seines Gehirns nur dem von drei menschlichen Gehirnen. Daher, so legen die Autoren nahe, wäre vielleicht nur das Drei- anstatt des 45fachen der bei Menschen üblichen Dosis zu verwenden gewesen. Dieser gewaltige Unterschied wirft ein grelles Licht auf das im Folgenden thematisierte Phänomen der Skalierung bei Experimenten.

Die Verlockungen des linearen Denkens

Der Physiker Geoffrey West hat im Zusammenhang mit dem Experiment seines Namensvetters und dessen Kollegen von einer „seductive trap of linear thinking“ (West 2017: 53) gesprochen und damit auch den Titel des vorliegenden Beitrags gestiftet. Geoffrey West, dessen Vorname hier zur besseren Unterscheidbarkeit stets mitgenannt wird, führt näher aus: „The calculation of how big a dosage should be used on Tusko was based on the implicit assumption that effective and safe dosages scale *linearly* with body weight so that the dosage per kilogram of body weight was presumed to be the same for all mammals. The 0.1 milligram per kilogram of body weight obtained from cats was therefore naively multiplied by Tusko's weight, resulting in the outlandish estimate of 297 milligrams, with disastrous consequences“ (West 2017: 53). Die selten verwendete und bereits darin Außergewöhnliches anzeigende Metapher „outlandish“ charakterisiert ein befremdliches Ausmaß der verabreichten Überdosierung. Wie Geoffrey West ausführt, hätte nicht das Körpergewicht, sondern die Metabolismusrate den Ausschlag geben müssen, die wiederum von der Gesamtgröße der Oberfläche der beteiligten Zellmembrane abhängt. „As a result, the dose-determining factor is to a significant degree constrained by the scaling of the surface areas than the total volume or weight of an organism, and these scale *nonlinearly* with weight“ (West 2017: 54). Einer solchen Berechnung zufolge hätte Tusko nur wenige Milligramm statt knapp dreihundert verabreicht bekommen müssen. Wäre so verfahren worden, so schließt Geoffrey West, dann hätte der Elefant ohne Zweifel überlebt und die Experimentatoren wären zu weitreichend anderen und substanziell nützlicheren Schlüssen gekommen.

Könnte man einen Elefanten einfach vergrößern oder verkleinern, dann würde seine Masse in einem stärkeren Maß zu- oder abnehmen als etwa die Gesamtfläche seiner Haut oder eben die Gesamtoberfläche der am Metabolismus beteiligten Zellen. Hierbei spielt das sogenannte A/V-Verhältnis oder *Square-Cube-Law* eine

zentrale Rolle. Es besagt, dass bei wachsendem Volumen die Oberfläche quadratisch wächst, das Volumen hingegen kubisch (vgl. z. B. Allen 2014: 176 ff.). Für die Biologie folgte der Biologe D'Arcy Wentworth Thompson bereits 1917 im ersten Kapitel von *On Growth and Form*: „From these elementary principles a great many consequences follow, all more or less interesting and some of them of great importance“ (Thompson 1945: 23). Wegen dieser und anderer physikalischer Gesetze sei Größe nicht einfach bloß relativ im Sinne des Vergleichs zweier Gegenstände, sondern auch in Relation zu den physikalischen Kräften: „[S]cale' has a marked effect on physical phenomena, and [...] increase or diminution of magnitude might mean a complete change of statical or dynamical equilibrium. In the end we begin to see that there are discontinuities in the scale, defining phases in which different forces predominate and different conditions prevail“ (Thompson 1945: 77). Dieser „effect of scale“ (Thompson 1945: 17, Tate/Atkinson 2001, xii und 172) werde nicht durch ein Objekt bzw. eine seiner Eigenschaften allein verursacht, sondern ergebe sich aus der Verbindung mit seiner gesamten Umgebung, seinem spezifischen Aktions- und Reaktionsfeld im Universum (Thompson 1945: 24). Wird die Größe dieses Objekts verändert, dann steht es in anderem Verhältnis zu dem umgebenden Kräftegefüge, das Wechselwirkungsgefüge verändert sich, ebenso das Objekt und schließlich auch der Verlauf eines an diesem durchgeführten Experiments.

Die „seductive trap of linear thinking“ (West 2017: 53), von der Geoffrey West spricht, kann als ein Schlüsselproblem allen Experimentierens betrachtet werden, in das in irgendeiner Form Größenverschiebungen involviert sind. Es besteht gewissermaßen aus zwei Ingredienzien: Erstens dem Umstand, dass sich manche Eigenschaften eines Gegenstandes der Bezugnahme nichtlinear verändern, wie dies etwa durch das *Square-Cube-Law* exemplifiziert wird. Eine durchaus kanonische allgemeinere Bestimmung hierfür stammt von dem Schriftsteller Paul Valéry, in dessen Dialog *Eupalinos oder der Architekt* es heißt: „Alles ändert sich mit der Größe. [...] Wenn eine bestimmte Eigenschaft des Dinges wächst in arithmetischem Verhältnis, so verschieben sich die anderen in anderer Weise“ (Valéry 1992: 75).

Hinzu kommt das Phänomen der Grenz- oder Schwellenwerte, *Thresholds* oder *Tipping-Points*, die zwei Größenordnung voneinander trennen. D'Arcy Thompson bezeichnet diese Grenzen im oben angeführten Zitat als „discontinuities in the scale“ (Thompson 1945: 77) und die Bereiche dazwischen als „phases in which different forces predominate and different conditions prevail“ (ebd.).

Während die Oberfläche der am Stoffwechsel beteiligten Zellmembrane zwar nicht linear, aber immerhin noch in Form einer gleichmäßig abflachenden Kurve zunimmt, sind die aus diesem nichtlinearen Anwachsen folgenden Ereignisse schwer antizipierbar und teilweise chaotisch. Der Künstler György Kepes charakterisiert diese Ereignisse wie folgt: „Every magnitude has its own structure. If limits of scale are overrun, either a new level is reached or the old level collapses“ (Kepes 1956: 369). Der Tod des Elefanten Tusko kann als ein solches Phänomen angesehen werden. Bis zu einer bestimmten Dosis hätte der Elefant vermutlich immer stärkere Symptome gezeigt, das Experiment aber letztlich überlebt. Ab der Überschreitung des Schwellenwertes hingegen hätte sich sein Zustand ab irgendeinem Punkt rasant, bis hin zum Tode, verschlechtert. Gemessen an der Dosis sind also zwei Größenordnungen zu beobachten: eine, bei der der Elefant überlebt, und eine, bei der er stirbt, zwei „phases in which different forces predominate and different conditions prevail“ (Thompson 1945: 77). Dazwischen verläuft jene Linie oder Zone, die mit D’Arcy Thompson als „discontinuity of scale“ (ebd.) und mit Kepes als „limit of scale“ (Kepes 1956: 369) bezeichnet werden kann.

Das zweite Ingredienz der „seductive trap of linear thinking“ ist eben die in Geoffrey Wests Formulierung benannte Verführung. Lineares Denken kann als zentrales Element der Antizipation und damit auch der Planung von Experimenten bezeichnet werden. Lineare Veränderungen von Eigenschaften bei der Skalierung sind einfach und daher bequem sowohl zu antizipieren als auch zu kontrollieren. Sie erfordern keinen oder nur vergleichsweise geringen theoretischen und methodischen Aufwand, sondern fungieren im Gegenteil als Referenzen für dasjenige, was zu beobachten sich die Experimentatoren vorgenommen haben. Lineares Denken gehört sozusagen zur Registratur, die die aus einem Experiment hervorgehenden Datenströme aufnehmen, einordnen und für die Theoretisierung präparieren soll. Nichtlineares Verhalten hingegen ist vielfach extrem komplex und schwierig, mitunter gar nicht zu antizipieren. Unbeabsichtigtes nichtlineares Verhalten eines Elements innerhalb eines Experiments kann daher als das unvermittelte Auftauchen eines zusätzlichen Forschungsgegenstandes verstanden werden, den sich die Experimentatoren *nicht* zu beobachten vorgenommen haben. Hinsichtlich der forschungsleitenden Frage werden solche Experimente üblicherweise als gescheitert angesehen.

„Hindernis“ und „fruchtbare Mutter neuer Gedanken“

Die nichtlineare Veränderung des Settings ist zumeist durch Plötzlichkeit und Unumkehrbarkeit gekennzeichnet, beides hier exemplifiziert durch den Tod des Elefanten Tusko. Bei der Überschreitung der „limits of scale“ (Kepes 1956: 369) werden vielfach die soeben noch funktionstüchtigen Maßstäbe wertlos und müssen durch andere, zumeist noch nicht identifizierte ersetzt werden. Vergleiche zwischen den Zuständen vor und nach der Überschreitung sind nur unter erheblichem Aufwand aussagekräftig, zumeist jedoch in keiner Weise sinnvoll oder angemessen. Grundsätzlich bieten sich mindestens zwei Optionen: einerseits, das Experimentaldesign so zu verändern, dass das nichtlineare Verhalten nicht auftritt, oder andererseits, das neu und unerwartet aufgetauchte Phänomen zum Forschungsgegenstand zu erheben und sich damit bezüglich der Fragestellung des Experiments grundlegend umzuorientieren. Die zweite Option kommt dann zur Anwendung, wenn das aufgetretene Phänomen Aussichten auf interessantere Erkenntnisse verspricht. Eine solche Umorientierung wird zudem durch einen Denkstil begünstigt, der dem Zufall im Experiment Raum lässt. Man könnte hier von einer skalierungsspezifischen Form von Serendipität sprechen. Aus vergleichbaren Gründen hat Georg Christoph Lichtenberg die Skalierung sogar in die Nähe einer Art Kreativitätstechnik gerückt: „Alles zu vergrößern und zu sehen, was entstehen könnte wenn man Eigenschaften wachsen lässt, und die grössten Dinge abnehmen lassen in eben der Absicht. Dieses ist eine fruchtbare Mutter neuer Gedanken“ (Lichtenberg 1975: 301). Lichtenberg hat bei seinen Experimenten immer wieder beobachtet, dass durch die Veränderung der beteiligten Größen neue Phänomene auftreten können. Die Formulierung „was entstehen könnte“ unterstreicht diese Erfahrung noch einmal und wendet sie in eine Erwartungshaltung um. Sie wird selten enttäuscht.

Lichtenberg hat sich in seinen Schriften und Sudelbüchern immer wieder mit Fragen der Skalierung auseinandergesetzt, wobei ihn vor allem das Auftauchen neuer Phänomene interessierte. So schreibt er: „Wenn man das mittelländische Meer im kleinen vorstellen wollte, so riskierte man, daß es an einem warmen Tage einmal vertrocknete. Schlüsse hieraus auf Modelle und Versuche im kleinen überhaupt“ (Lichtenberg 1975: 314). Lichtenberg vermeidet hier vermutlich bewusst eine Bewertung des Geschehens, weil er die Skalierung nicht nur als Erkenntnishindernis, sondern auch als eine „fruchtbare Mutter neuer Gedanken“ kannte.¹ Das ausgetrocknete Mittelmeermodell kann daher als Exemplum sowohl eines kreativen als auch eines erkenntnishemmenden Skalierungs-

vorgangs verstanden werden: „Was [auf] Seite LXIV von dem Verkleinern des Mittelländisches Meeres gesagt ist, könnte auch eine allgemeine Hindernis bei chemischen Versuchen im kleinen werden“ (Lichtenberg 1975: 315). Hier ist nun wieder von einem Hindernis die Rede, womit die Bandbreite an strukturellen Konsequenzen beschrieben ist, die durch nichtlineare Experimentverläufe evoziert werden können. Auf diese Weise kann ein Experiment an dem Neuen scheitern, das es zutage fördert. Skalierungseffekte können ein Experiment in den Abgrund der Komplexität stoßen, dieses Neue aber auch erstmals vor fokussierte und kompetente Augen führen. Wissenschaftsgeschichtlich sind beide Funktionen von größter Bedeutung, einmal als persistenter Erkenntniswiderstand, einmal als Quelle einzigartiger Einsichten.

Aufgrund des Phänomens der Skalierungseffekte ist es zudem möglich, in Skalenmodellen stets auch Versuchsanordnungen zu sehen, bei denen im Sinne Lichtenbergs etwas vergrößert oder verkleinert wird, um „zu sehen, was entstehen könnte wenn man Eigenschaften wachsen lässt“ (Lichtenberg 1975: 301). In gestalterischen Prozessen wie etwa der Architektur hat dieses Verfahren teilweise den Rang einer Routine angenommen. So berichtet Albena Yaneva in ihrem Aufsatz „Scaling Up And Down“ (Yaneva 2005) von der Verwendung zweier verschiedener Modellformate am Office for Metropolitan Architecture, zwischen denen die Entwerfenden hin- und herwechseln. Da in den unterschiedlichen Formaten unterschiedliche Aspekte sichtbar werden können, ermöglicht die Verwendung zweier Modellformate eine feinmaschigere Suche nach Lösungen, als dies bei einem einzigen Maßstab der Fall wäre. Beim abschließenden Skalensprung in die Baustelle kommt dann ein weiterer Maßstab hinzu, der dann wiederum neue Aspekte sichtbar macht, auf die es gestalterisch und planerisch zu reagieren gilt. Hierbei handelt es sich um architektonisch-künstlerische Skalierungsexperimente, bei denen Skalierungseffekte nicht eliminiert, sondern gezielt herbeigeführt und ausgewertet werden.

Schluss

Tuskos Tod und Lichtenbergs Geburt neuer Gedanken liefern im vorliegenden Beitrag Metaphern für die Bandbreite an Auswirkungen von Skalierungseffekten beim Experimentieren. Ob ein Experiment den „Tod“ einer Hypothese oder die „Geburt“ einer

1 Er wäre übrigens nicht erstaunt, sondern eher höchst erfreut, zu erfahren, dass sein ausgetrocknetes Mittelmeermodell die Entdeckung der sogenannten Messinischen Salinitätskrise in den 1970er Jahren vorweggenommen hat. Hierbei handelt es sich um die Erkenntnis, dass das Mittelmeer am Ende des Miozäns weitgehend ausgetrocknet ist (Krijgsman et al. 1999).

neuen herbeiführt, liegt vielfach an der Haltung der Experimentierenden. So hat der unselige Ausgang des Experiments von West, Pierce und Thomas die Autoren bedauerlicherweise nicht zu bedeutenden Einsichten geführt, obwohl sie greifbar gewesen wären, eben über den Phänomenkomplex der Skalierung und damit einen zentralen Faktor des Experimentierens. Derlei Reflexionen aber mögen außerhalb des Verfügungsbereichs oder Interessenfeldes der Forscher gelegen haben. Vielleicht waren sie zu sehr an der Erschaffung eines neuen Paradigmas namens „Psychobiologie“ interessiert, um die letztlich bedeutendere Frage nach dem Zusammenhang von Biologie und Skalierung durch ihren Versuch berührt zu sehen. Bereits 1926 hatte der Biologe J. B. S. Haldane deren Erforschung zum Desiderat erhoben, indem er schrieb: „The most obvious differences between different animals are differences of size, but for some reason the zoologists have paid singularly little attention to them“ (Haldane 1956: 952). D’Arcy Thompson hat die Frage der Größe in der Biologie etwas später etabliert, aber offenbar nicht stark genug, um West, Pierce und Thomas darauf zu verpflichten, sie bei der Auswertung ihres Versuchs zu berücksichtigen. Eine Vielzahl von Publikationen hat Haldanes Klage inzwischen vergessen gemacht und die Biologie zu einem der Kompetenzfelder für die Skalierungsfrage werden lassen.² West, Pierce und Thomas aber waren in der Überzeugung gefangen, dass ihr Experiment gescheitert sei, und übersahen deshalb Einsichten in die Prinzipien der Skalierung, die sich ihnen hier boten. Hätten sie ihre „scale blindness“ (Klee 2008: 92) überwinden können, so hätten sie einen nicht zu unterschätzenden Beitrag zu dieser disziplinären Hinwendung zum Gegenstand der Skalierung leisten können.

2 Siehe beispielsweise Schmidt-Nielsen (1984), Jungers (1985) McGowan (1999), Brown/West (2000) und Samars (2007).

Literatur

- Allen, David H. (2014): *How Mechanics Shaped the Modern World*. Heidelberg et al.: Springer.
- Boudon, Philippe (1991): *Der architektonische Raum. Über das Verhältnis von Bauen und Erkennen*, Basel et al.: Birkhäuser.
- Boudon, Philippe (2002): „L'échelle en architecture. Règle ou pertinence de la règle“, in: Ders.: *Échelle(s)*. Paris: Collection La bibliothèque des formes, S. 93–101.
- Brown, James H. und West, Geoffrey Brian (2000): *Scaling in Biology*. Oxford et al.: Oxford University Press.
- Haldane, John Burdon Sanderson (1926): „On Being the Right Size“, in: Newman, James (Hg.) (1956): *The World of Mathematics*. Vol. 2, V–VII, Mineola NY: Dover, S. 952–972.
- Jungers, William L. (Hg.) (1985): *Size and Scaling in Primate Biology*. New York: Plenum Press.
- Kepes, György (1956): *The New Landscape in Art and Science*. Chicago: Paul Theobald and Co.
- Klee, Robert (2008), „Physical Scale Effects and Philosophical Thought Experiments“, in: *Metaphilosophy*, Vol. 39, Nr. 1, S. 89–104.
- Krijgsman, Wout; Hilgen, Frederik Johan; Sierro Sánchez, Francisco Javier und Wilson, Doug (1999): „Chronology, Causes and Progression of the Messinian Salinity Crisis“, in: *Nature*, Vol. 400, S. 652–655.
- Lichtenberg, Georg Christoph (1975): *Schriften und Briefe*, Zweiter Band. Sudelbücher II, Materialhefte, Tagebücher, hg. v. Wolfgang Promies, München: Hanser.
- McGowan, Christopher (1999): *A Practical Guide to Vertebrate Mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Samaras, Thomas (Hg.) (2007): *Human Body Size and the Laws of Scaling. Physiological, Performance, Growth, Longevity and Ecological Ramifications*. New York: Nova Science Publishers.
- Schmidt-Nielsen, Knut (1984): *Scaling. Why is Animal Size so Important?*. Cambridge et al.: Cambridge University Press.
- Tate, Nicholas und Atkinson, Peter M. (Hg.) (2001): *Modelling Scale in Geographical Information Science*. Chichester/New York: Wiley.
- Thompson, D'Arcy Wentworth (1945): *On Growth and Form*. Cambridge/New York: Cambridge University Press.
- Valéry, Paul (1992): „Eupalinos oder der Architekt“, in: Ders.: *Werke*, hg. v. Jürgen Schmidt-Radefeldt, Bd. 2: Dialoge und Theater. Frankfurt am Main: Insel, S. 7–85.
- West, Geoffrey Brian (2017): *Scale. The Universal Laws of Growth, Innovation, Sustainability, and the Pace of Life in Organisms, Cities, Economies, and Companies*. New York: Penguin Press.
- West, Louis Jolyon; Pierce, Chester M. und Thomas, Warren D. (1962): „Lysergic Acid Diethylamide: Its Effects on a Male Asiatic Elephant“, in: *Science*, Vol. 138, Issue 3545, S. 1100–1103.
- Yaneva, Albena (2005): „Scaling Up And Down: Extraction Trials in Architectural Design“, in: *Social Studies of Science*, Vol. 35, Nr. 6, S. 867–894.

Spiele

Ludische Intervention. Experiment und Gameplay

Robert Matthias Erdbeer

Wir können somit der Folgerung nicht entgehen, dass der letzte Zweck des Experiments darin besteht, seine eigene Voraussetzung zu erproben.

Edgar Wind, *Das Experiment und die Metaphysik*, 1934

I.

Logische Verfahren werden brüchig, wenn der Mensch ins Spiel, das heißt: ins Spielen kommt. Man kennt die Klage nicht nur aus der mathematischen, sondern auch aus der psychologischen Spieltheorie: „It is well known that people struggle when they have to analyze complex dynamic games, particularly when they have to engage in so-called backward induction“ (Guala 2008: 659). Ausschlaggebend ist hier freilich weniger die Logikkompetenz der spielenden Probanden als die Wahl des Kognitionsmodells. Die Analyse der „anomalies“ bestärkt die These, dass „the model of ‚self-interested rationality‘“ durch ein Modell des „other-regarding“ abzulösen sei: der Empathie (ebd.: 660 f.). Nicht etwa, weil sie rationaler Wahl nicht fähig oder willens wären, unterlaufen die Probanden Regeln, sondern weil die Logik, die sie nutzen, keine mathematische ist. Das regelhafte Spiel, der *ludus*, wird vom freien Spielen, der *paidia*, unterwandert oder ausgeglichen, einem Spielvermögen, dessen Winkelzüge oder Werthaltungen einem anderen, gewissermaßen emergenten Logos des Gefühls, der Imagination und kreativen Abweichung verpflichtet sind. Der rationale Logos freilich waltet weiterhin, weil kluge Spieler und begabte Psychologen die „*nonstandard preferences*“ der Paidia in den Standard einbeziehen (ebd.: 660; Hervorh. i. Orig.), also so weit rationalisieren, wie man mit dem Unberechenbaren eben rechnen kann.

Dies allerdings ist eine alte Einsicht der kulturwissenschaftlichen Spieltheorie. Die „Energiereserve“ nämlich, „welche die *paidia* darstellt“, lässt sich von den Spielenden auch „zur Erfindung wende[n]“ (Caillois 1958/1982: 45); hier, so das kulturanthropologische Kalkül Roger Caillois', „liegt und verharret das irreduzible

Element des Spiels, welches die Mathematik nicht erreichen kann, denn sie ist niemals mehr als Algebra *über* das Spiel“. Wäre sie indessen „Algebra *des* Spiels“, dann würde durch die Strenge ihrer Regeln „das Spiel augenblicklich zerstört“ (ebd.: 199). Irreduzibel also ist die Freiheit, die im Spiel die Algorithmen ausgleicht, nachvollziehbar daher die Entscheidung, diese Basiseigenschaft des Spielens an den Modus der Fiktion zu binden, die gewöhnliche an eine mögliche Welt: „Das Spiel ist [...] eine *fiktive* Betätigung, die von einem spezifischen Bewußtsein einer zweiten Wirklichkeit oder einer in bezug auf das gewöhnliche Leben freien Unwirklichkeit begleitet wird“ (ebd.: 16; Hervorh. dort). Das Spiel vollzieht ein *un*-gewöhnliches Experiment des Lebens mit der Freiheit und der Wirklichkeit. Die ‚zweite Wirklichkeit‘ setzt sich im Spiel in Geltung; ihre Freiheit wiederum ergreift, mit Schiller ausgedrückt, die „Notdurft der Materie“, das Gewöhnliche (Schiller 1993: 572). Modalität wird hier zum Träger einer Sinnerzeugung,¹ die nicht nur paiditische auf ludische Aktionen, sondern virtuelle auf reale Räume bezieht. Die Normkontrolle dieses Realismus widerspricht nur scheinbar Caillois’ genieästhetischer Behauptung, es sei „niemals die eigentliche Funktion des Spiels, eine Fähigkeit zu entwickeln. Der Zweck des Spieles ist das Spiel selbst“ (ebd.: 192). Die „Korruption“ der Spiele durch externe Zwecke schwindet (ebd.: 52), wenn man die Pragmatikdimension des Spiels modellhaft denkt. Im Spielen ist das Mögliche das Wirkliche, denn Spielen ist kein Probehandeln, sondern eine Form des Modellierens, die in ihren entpragmatisierten Rück- und Vorläufen das Mögliche begehbar und erfahrbar macht. Im Gegensatz zum nichtludischen Modellieren oder zur Verwendung ludischer Verfahren für didaktische Belange, auch *Gamification* genannt, hat diese ludische Modalpragmatik nicht den Abgleich mit dem Wirklichen zum Ziel. Das Spiel verschwindet nicht im Aufbau dessen, was es vorspielt, abspielt oder durchspielt, aufspielt oder einspielt. Es vergeht nicht, um ein Wirkliches hervorzubringen, zu verbessern oder anzuwenden, sondern zeigt das Wirkliche als Mögliches, verwandelt es gewissermaßen in den Status der Latenz zurück. Weil Spielen nicht das Mögliche *im* Wirklichen eröffnet, also nicht prognostisch vorgeht, sondern Wirklichkeit als Spielart eines Möglichen versteht, durchkreuzt es die prekäre Grenze zwischen *fact* und *fiction*. Spielen, so die These, ist kein faktualer, aber auch kein fiktionaler Ausgriff, sondern ein modales Metahandeln, dessen Modellieren

1 Vgl. die modale Ausrichtung des Spieltriebs bei Schiller und die darin angedeutete experimentelle Modellierungsfunktion: „der Spieltrieb wird also *bestrebt sein*, so zu empfangen, wie er selbst *hervorgebracht hätte*, und so hervorzubringen, wie der Sinn [der sinnliche Trieb] zu empfangen *trachtet*“ (Schiller 1993: 613, Hervorh. RME).

das Verhältnis des Realen und Fiktiven justiert.² Die Modellierung des Modalen aber hat Erkenntnisrang. Sie ist ein epistemisches Verfahren, welches an die immanenten Ziele eines Spiels gebunden und zugleich auf die Erzeugung und Bewältigung von Kontingenz und Emergenz gerichtet ist. In dieser Modellierung des Modalen liegt der Experimentcharakter des Spiels.³ Im Ludus werden dabei die Strukturen des Entwerfens, Testens und Bewertens vor- und festgelegt; Paidia ist der experimentelle Anteil der Kulturtechnik Spiel.

Im Gegensatz zu Caillois' Bestimmung, derzufolge Spiel (wie die Fiktion) als abgetrennter, selbstbestimmter Handlungsrahmen einen gleichsam heiligen Bezirk markiert, wird experimentelles Spiel im Folgenden als modustransgressive, interventionistische Dynamik aufgefasst. Denn Spiele dementieren ihren eigenen ‚Sakralraum‘ dadurch, dass sie ihren virtuellen wie realen Handlungen den gleichen Status, die gleiche Geltung verleihen. Im *ludischen Dispositiv* verschwinden letztlich auch die Modusgrenzen; das Postfaktische ist vom Postfiktionalen nur noch dann zu unterscheiden, wenn man ihre Quellen bestimmt (vgl. Erdbeer 2018). Die Gattung, welche die Motorik dieser Trans-Fusionen buchstäblich vor Augen führt, ist – so der Ansatz dieses Beitrags – das Independent Video Game. Hier zeigt sich idealtypisch die Reichweite, Brisanz und Relevanz von Spiel-Experimenten in der postfaktischen Medienkultur.

II.

The Stanley Parable, der Klassiker der digitalen Metaspiele, schließt mit einer dunklen Pointe. In der Tarnung eines Happy Ending parodiert und subvertiert das Spiel ein Gratifikationsmodell, das regeltreues Handeln mit ludischem Wissen belohnt. Nach seiner Odyssee durch ein entvölkertes Bürogebäude, das von einer Mind Control Facility gesteuert wird, tritt deren Überwinder Stanley, der ansonsten unbedarfte Held des Spiels, ins Freie:

- 2 Es geht hier also nicht um eine ‚Auffüllung der Lücken‘, die fiktive Welten gegenüber dem Realen lassen, um das Principle of Charity bzw. um den Gegensatz von „fictions“ vs. „rules“ (Juul 2005: 163). Der Modus Fiktionalität wird vielmehr aufgefasst als ontologische Pragmatik, die, sobald sie auftritt, ihren Gegenstandsbereich als ganzen erfasst. In fiktionalen Spielen treffen also zwei konträre ontologische Verfahren aufeinander – Handeln und Fingieren –, die sich gegenseitig ent- und repragmatisieren. Im modalen Modellieren stellt sich dann auch das Verhältnis zwischen dem Erfassen und der Deutung einer Storyworld, dem „referential“ und „implicit meaning“ (Bordwell), erst her (vgl. Thon 2016: 54).
- 3 Nach Rheinberger kann daher auch die „Konstruktion von Experimentalsystemen [...] als ‚Spiel der Möglichkeiten‘ beschrieben werden. [...] Das ‚Mögliche‘ ist hier im doppelten Sinne des Wortes zu nehmen: Es ist etwas, das [...] im Bereich des Möglichen liegt, und es ist zugleich etwas, das sich letztlich der Kontrolle entzieht“ (Rheinberger 2006: 91).

Was it over? Yes! He [Stanley] had won. He had defeated the machine, unshackled himself from someone else's command. Freedom was mere moments away. And yet, even as the immense door slowly opened, Stanley reflected on how many puzzles still lay unsolved. Where had his co-workers gone? How had he been freed from the machine's grasp? What other mysteries did this strange building hold? (Wreden 2013b: narration.freedom_1_01-2_03.)

Die Reflexion löst freilich keine Anschlusskommunikationen aus, geschweige denn Aktionen:

But as sunlight streamed into the chamber, he [Stanley] realized none of this mattered to him. For it was not knowledge, or even power, that he had been seeking, but happiness. Perhaps his goal had not been to understand, but to let go. (Wreden 2013b: narration.freedom_2_04-2_05.)

Die Intention des Rätsellösens, Grundprinzip und strukturierenden Verfahren der Adventure Games, wird hier zugunsten einer Haltung aufgegeben, welche Wissen, Macht und Selbstbehauptung – einschließlich der zugehörigen Verfahren des Erforschens, Prüfens und Bewertens – durch ein quasi-mystisches Verlöschen ersetzt. Der Modus der erlebten Rede kombiniert dabei das Beste beider Welten: das authentische Erleben des Subjekts (Bewusstseinsstrom) und dessen Validierung durch die Macht – *autoritas* – der imperfektischen Erzählinstanz. Zu diesem Zweck entwirft das Spiel ein klassisches Erzählverfahren, das der körperlose, aber stimmungswaltige *omniscient narrator* regiert. Er leitet seinen Helden (und den Spieler) durch den Plot, indem er das Geschehen vor-spricht und – anstelle eines intradiegetischen Verfahrens – Reflexionen souffliert. Dies Sprechen und vor allem Denken für den anderen wird dann vom Handeln, von der regeltreuen Observanz des Avatars beglaubigt; beispielhaft in jener Urentscheidung, die zum Topos metaludischer Design- und Forschungsmodellierungen geworden ist: „When Stanley came to a set of two open doors, he entered the door on his left“ (Wreden 2013b: narration.two_doors_00). Befolgt der Spieler diese und die folgenden Erzählbescheide, weil er sie als Auftrag fasst, dann transformiert er illokutionäre Weisungen in wahre Tatbestände, Protokollsätze der Narration. Das Spiel wird linear und textförmig, semantisch reicher wird es nicht. Das Glück, so die im „Freedom Ending“ propagierte Botschaft, ist nur dem beschieden, welcher Spielen (Handeln) und Verstehen (Deuten) gleichermaßen überwunden hat.

Allein, der Weg ins ludische Nirwana ist ein Weg der Wiederkehr. Die Pointe der im Morgenglanz erstrahlenden Vollendung ist

schon deshalb dunkel, weil ihr antiepistemischer Impuls nicht etwa zur Befreiung, Weisheit oder Selbsterkenntnis, noch auch spielstrategisch zum Erwerb von Skills und zur Eröffnung neuer Level, sondern an den Ausgangspunkt der ludischen Parabel führt: zu Stanleys Office im verlassenen Bürogebäude. Parodiert wird neben dem Prinzip des Neustarts also auch die Teleologie der Ludonarrative und des klassischen Bildungsromans. Der technische Re-entry löscht, was Stanley sich von seiner Deutungsflucht erhoffte: „the immense possibility of the new path before him“ (Wreden 2013b: narration.freedom_3_00). Den Optionen des Entscheidungs- und Erkenntnisbaums begegnen die *necessities* des immergleichen Settings, eines Kreislafs, der zwar neue, aber in Bezug auf das zentrale Rätsel leere Varianten erzeugt.

Der Avatar und mit ihm sein Agent, der Spieler, haben also nichts erkannt und nichts geleistet, doch sie haben eine Erfahrung gemacht: Sie sind zu Gegenständen eines ludischen Experiments geworden oder, wie man auch in Anlehnung an Hans-Jörg Rheinberger behaupten könnte: zum ‚ludischen Ding‘. Im Fremd- und Selbstversuch des Metagame eröffnet die Büroparabel einen Daten- und Verzeichnungsraum (mitsamt Museum), der die Regeln, Elemente und Agenten zusehends zu Artefakten macht. So werden sie „metastabil“. Die epistemische Erschütterung dagegen stellt sich ein, wo Regelhaftigkeit und Kohärenz der Programmierung uneindeutig sind. Im „Freedom Ending“ ist sie das Ergebnis blinder Text- und Regeltreue, weil statt der erwartbaren Belohnung die Erkenntnis einsetzt, dass die strikte Observanz ein *technisches* System begründet hat. Die Preisgabe der *vita activa* führt in die schlechte, nämlich differenzlose Unendlichkeit des Loop.

Allein: Dem Spieler ist es unbenommen, der Erzählung *nicht* zu folgen. Schon die Wahl der rechten statt der linken Tür stellt den Erzählermodus von *omniscient* auf *unreliable* um. Statt der Figur vor auszudenken, muss ihr der entmächtigte Erzähler nunmehr ‚hinterhererzählen‘, Determination wird Interpretation, Vollstreckung Experiment. Geteilte Agency, die Grundidee des ludischen Formats, wird hier beim Wort genommen, doch der Kampf um Handlungs-, Deutungs- und Bewertungshoheit, der sich zwischen den erlebten Reden (der Erzähler-Avatar-Dyade) und erlebten Handlungen (der Spieler-Avatar-Dyade) ausagiert, ist Teil der Programmierung. Wie im Experimentalroman des 19. Jahrhunderts kennt die Programmierung alle Wege, die der Plot bzw. die Entscheidungsfindung nehmen kann, und wie im Karneval sind die Verstöße in die Ordnung eingepreist. Da diese Grundstruktur nicht epistemisch offen ist, wird man zum Zeugen eines Scheinexperi-

ments, in dem sich nur das *Protokoll* vergangener, der Einflussnahme längst entzogener Experimente zeigt. Im Gameplay allerdings kehrt der Aspekt der Offenheit auf einer zweiten Ebene zurück, weil die Erzählinstanz durch ihre Teilhabe am Avatar auch jenen Teil der Spieler-Avatar-Dyade anspricht, der kein fiktionaler ist. Da nämlich der Erzähler mit den Handlungen des Avatars auch die Entscheidungen der Spielenden erläutert und bewertet, nähert sich die *Stanley Parable* dem psychologischen Assessment, dem Sozialexperiment.⁴ Sie wird zum Serious Game.⁵ Als solches operiert sie im sozialen Feld der Gaming-Culture und des Game Designs, in dem sie ihre ludonarrativen Aporien testet – *in vivo* und *in silico*.

III.

Mit Spielen experimentieren, spielend experimentieren und ein Spiel als Experimentalraum einzusetzen sind verschiedene Prozesse, die gleichwohl durch ihre Überschussfunktion – die Freiheit, nicht in der Pragmatik, aber auch nicht im Uneigentlichen aufzugehen – eng verbunden sind. Im ersten Fall fungieren Spiele als *Modell-objekte* einer Experimentalsituation, im zweiten als *Verfahren* und im dritten als *modaler Rahmen*, der das Experimentalgeschehen selbst befragt.

1. *Wahrheitsspiele*. Eine abgegrenzte Spielsituation mit autonomen Regeln kann zum Gegenstand von experimentellen Settings werden, deren Ziele stärker epistemisch als pragmatisch sind. So können Rollenspiele in Assessment- oder therapeutischen Zusammenhängen zwar der Einübung bestimmter Handlungs- und Verhaltensnormen dienen, die zentrale epistemische Funktion ist aber eine *analytische, mæeutisch-hermeneutische und kritische*. Im Spiel erscheint – so die Erwartung – eine Wahrheit, die in nichtludischer Kommunikation verborgen bleibt. Hier wird die Mimicry (im Sinne Caillois') vom Masken- und Verschleierungsprinzip zum epiphanischen Prinzip der Parrhesia, einer Wahrheitsrede, die (im Sinn Foucaults) den kritischen Diskurs riskiert.

2. *Testverfahren*. Flugsimulationen haben Spielcharakter, weil sie im geschützten, also entpragmatisierten Setting testen, was im ungeschützten, also in der Praxis, funktionieren muss. Man kann der ludischen Didaxe Narrative oder einen fiktionalen Rahmen geben – etwa um die Immersion zu steigern –, ohne dass ein solches Lernspiel aufhört, *serious* zu sein.⁶ Das Ludische markiert hier einen *Übungsmodus*, der im Probehandeln ein zentrales Element des Spielens durchstreicht, nämlich selbstgenügsam, interesselos und

4 Vgl. im Kontext der Behavioral Sciences Colman (1982), aus spielhistorischer Perspektive Williams (2017), hier insbesondere die Kapitel „Games as Experiments“ und „Freeware Experiments with Games and Arts“.

5 Vgl. den Überblick bei Ruijven (2011).

autonom zu sein. Das Spielerische funktioniert dann als Verfahren eines spielexternen Interesses, es tendiert zum technischen System. Experimentcharakter kann das technische System gleichwohl durch die Aktion der Spielenden gewinnen, beispielhaft durch die Erfindung neuer Skills, die Einübung der Fähigkeit, sich neue Lösungswege zu erschließen, oder auch durch die Erfahrung ihres Scheiterns am und im System. Es wird, qua Selbstbeobachtung, zum Selbstversuch.

3. *Metaspiele*. Waren die genannten Spielverfahren in ein spielexternes Setting eingebunden, so erscheint im Metaspiel die Möglichkeit, Experimente innerhalb der autonomen Spielstruktur zu situieren. Damit wird das Spiel zum Experimentalsystem, das technische und epistemische Dinge *sub specie ludi* verknüpft. Es ist ein „Spurenlegespiel“ im eigentlichen Sinne: „Experimentalsysteme sind die Basiseinheiten des Spurenlegespiels. Im Rahmen von technischen Dingen, die zu einem bestimmten Zeitpunkt als gegeben angenommen werden, liefern sie die Bedingungen für die Erzeugung epistemischer Dinge“ (Rheinberger 2006: 281). Metaspiele werden Wahrheitsspiele zweiter Ordnung, weil sie dieses Spurenlegen selbst befragen, seinen Modus, sein Verfahren, sein Beobachtungsmodell. Im Spiel als technischem System wird die Befolgung der internen Regeln nicht als Agencyverlust erfahren, weil die Regeln unbefragt und unbefragbar bleiben; sie bedingen erst die Möglichkeit des Handelns und Erkennens in der Welt des Spiels. Im Spiel als Experimentalsystem wird Regeltreue selbst zum Thema; weniger im Sinne der Entwertung oder Umwertung der Regel als mit Blick auf die *Veruneindeutigung des Regelstatus*, das Problem des Regelseins.

IV.

Als *Theorie des experimentellen Spielens* löst die *Stanley Parable* prozesshaft ein, was die Labor- und Workplaceforschung, aber auch die Theorie der Experimentalsysteme fordern: Theoretisierung auf der Ebene des Gegenstands. Am deutlichsten wird dies an jenen Stellen, wo sich der Erzähler selbst als Game Designer entwirft. Zum einen persifliert er dabei das Konzept der schöpferischen Agency, der Emergenz: „I knew I was onto something! Where do these flashes of inspiration come from? [...] Well, it's instinct mostly ... a calling in your gut. [...] You can't teach that, Stanley. Don't even try“ (Wreden 2013b: narration.playtestfeedback5_00-5_02). Der Gestus des Genialischen verhindert dabei jede Form der ludischen Didaxe, die

6 Claus Pias spricht hier vom „Sophismus“ der Simulationen: „Beschreibung, Erklärung und Fiktion gehen in ihnen eine experimentelle Verbindung ein“ (Pias 2012: 58).

Basis der Serious Games. Zum anderen vollzieht der ludische Geniegedanke jenen Modus des Entwerfens, der ein wesentliches Element des Modellierens ist: den Test von Prototypen im Verfahren der Simulation (vgl. Erdbeer 2015). Mit diesem Anspruch installiert der nunmehr als Modellinstanz und Experimentator tätige Erzähler/Game Designer im Modellgefüge der Parabel ein perfides Einzelexperiment: „I’ve got a prototype of a new game I’ve been working on, and now would be a lovely opportunity to give it some play-testing. [...]“ (Wreden 2013b: narration.playtest_6_00). Das Spiel im Spiel, das hier entsteht, ist von der Tradition der literarischen und theatralen Metaleptik dadurch unterschieden, dass es nur durch die Aktion bzw. die Aktionsverweigerung des Spielers möglich wird. Die Agency ist hierbei auf den kleinstmöglichen Eingriff eingeschränkt, doch aufgeladen mit größtmöglicher Bedeutsamkeit. So bringt sich ein perfides Milgram Game zur Geltung, das dem Original kaum nachzustehen scheint (Abb. 1, Wreden 2013a):

In this game, the baby crawls left toward danger. You click the button to move him back to the right, and if he reaches the fire, you fail. It’s a very meaningful game – all about the desperation and tedium of endlessly confronting the demands of family life. I think the art world will really take notice. But, of course, the message of the game only becomes clear once you’ve been playing it for about four hours. So why don’t you give it four hours of play to make sure it’s effective. Be sure to keep notes on your experience. (Wreden 2013b: narration.playtestbaby_1_01-narration.playtestbaby_1_03.)

Die Parodie der Milgram-Adaption umfasst fünf Komponenten:

1. die totale Einschränkung der Agency durch eine Metaregel,
2. deren Aufwertung zur absoluten Norm, 3. das absurde Zeitprofil und 4. ein als Einweihung markiertes hermeneutisches Versprechen („message“), das das Spiel zum esoterischen Erfahrungsraum erhöht. In ihm verbirgt sich 5. ein ästhetischer Erkenntnisanspruch, der das Spiel zur Kunst erklärt. Dies parodiert sowohl den Anwendungsaspekt („make it effective“) als auch den empirischen Beobachtungs- und Aufzeichnungscharakter experimenteller Tätigkeit („keep notes of your experience“), doch auch den experimentellen Anspruch künstlerischer Avantgarden („art world“).

Der sich als Sozialexperiment gerierende Zynismus ist de facto eine Genreparodie moderner Game Designs – sowohl der Action Games als auch der Independent Games und ihres Anspruchs, durch die Reduktion von Agency ästhetische Erfahrung aus- und

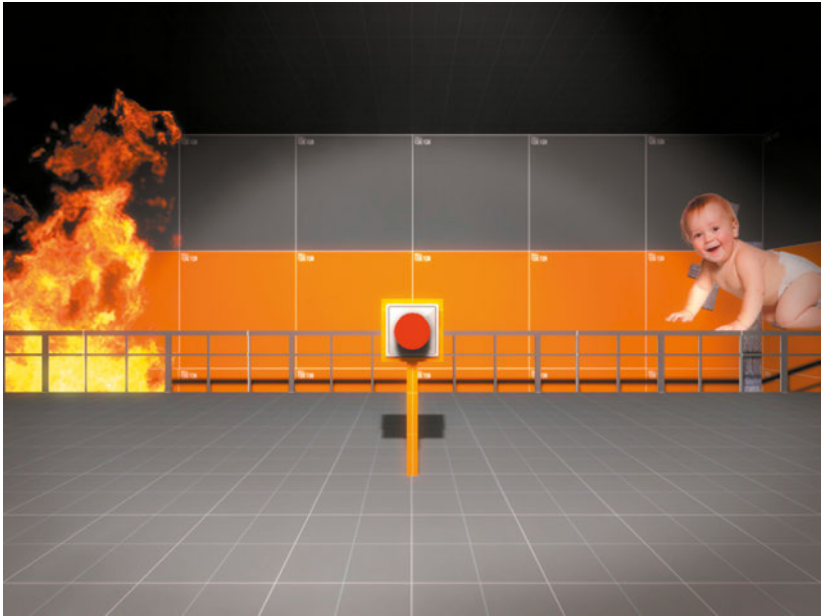


Abb. 1. Milgram revisited – das *Baby Game* der *Stanley Parable*.

ethische Erkenntnis einzulösen. Daher kann das *Baby Game* als ludische Kritik gelesen werden, die sich im Gewand des experimentellen Settings verbirgt. Sie etabliert ein technisches System der reinen Wiederholung mit dem narrativen Anspruch, bedeutungstiftend und differenziell zu sein. Im Gegensatz zu Milgrams Modustäuschung (der Versuch war psychologischer, nicht physiologischer Natur), liegt hier ein Fiktionalitätskontrakt zugrunde, der durch den Parabelmodus doppelt abgesichert scheint. Gerade dieser Pakt jedoch mit seiner Arbeitsteilung zwischen *fact* und *fiction*, Alltagswelt und Imagination, wird in der *Stanley Parable* zum Experimentalobjekt, weil die modale Trennung zwischen Avatar und Spieler aufgehoben, Referenz statt Repräsentation behauptet wird: „You’re not Stanley. You’re a real person“, heißt es dementsprechend. „„This is why you’ve been able to make correct and incorrect choices!““ (Wreden 2013b: narration.inc_oc_o6.)

Ob die Subversion der Programmierung, die hier angedeutet wird, im Gameplay überhaupt gelingen und dem technischen ein experimentelles Spiel entringen kann, ist eine Dauerfrage des modernen Game Designs und seiner Kritiker.⁷ Die *Stanley Parable* ist somit auch als ludische Parabel über Experimentalsysteme lesbar, weil sie Aporien an der Schnittstelle von Theoriedesign,

Kontrollsystem, Simulation und selbst- bzw. fremdgesteuerten Objekten, kurz: von *matters of activity* erspielt und sichtbar macht. Wer hier agiert, wird selbst zum epistemischen Objekt des Spielgeschehens und erzeugt die Spuren, die sein Spielen sichtbar machen und zu Daten werden, aus der Tiefe dieses Spiels heraus. Da Spiele materiale, kognitive und vor allem kollektive Artefakte sind (vgl. Santoyo-Venegas 2017), beherbergen sie Intentionen, Steuerungs- und Wertungsmuster, die zwar apriorische Potenz behaupten, deren Art und Status aber Gegenstand nicht nur der Deutung, sondern der Verhandlung sind. Als *active matter* eines fremden Settings treffen Spielende auf Spielentscheidungen, die längst gefallen sind, auf Regeln, die bestehen, und auf Ziele, die sie sich nicht setzen – die jedoch im Rahmen des dynamischen Gesamtsystems erst dadurch Form und Aktualität gewinnen, dass man sie bearbeitet, erfüllt, verändert oder unterläuft. Das Experimentalsystem des Spiels ist epistemisch offen, weil es ohne solchen Eintritt unvollständig bliebe; jede Spielwelt ist Entscheidungs- und Aktionserwartungsland.

V.

Können ludische Systeme also Fragen materialisieren, die nicht nur sie selbst betreffen, ihre immanenten Regeln, Ziele und Entwicklungen? Sie können dies, indem sie ein empirisches Moment in ihre Welten integrieren, das zum ludischen System wie zur Systemumwelt zugleich gehört: den Spieler. Das Bemerkenswerte dieser ontologischen Gemengelage ist der Umstand, dass das hochdynamische System der gegenseitigen Hervorbringung, Kontrolle und Bewertung keinen fremden Expertisen unterliegt. Die Analyseebene ist vielmehr in die Systematik einer Storyworld und der geteilten Agency selbst eingeschrieben. Folglich scheint zu gelten: *Il n'y a pas de hors-jeu*. Der Modus der Fiktion erweitert dabei jenen Raum der Möglichkeiten, der im Spielen selbst bereits gegeben ist. Im Gegensatz zu literarischen Fiktionsformaten, deren Rezipienten außerhalb des fiktionalen Modus bleiben, fiktionalisieren ludische Fiktionen ihr Rezeptionspersonal. Da Agency in der Fiktionskulisse aber stets an die realen Eingriffe der Spielenden gebunden ist – ‚Lektüre‘ wird hier zur Strukturveränderung –, erscheint der Spieler-Avatar-Komplex als metaleptische, die Logik der Erzähl- und Handlungsebenen durchkreuzende *persona sui generis*. Trotz oder wegen dieser Modusmischung kann die Rückkopplung ergebnisorientiert und immersionsverstärkend wirken, während im

7 Vgl. etwa die nicht unberechtigte Bemerkung Martin Hennigs, die „systemkritische Selbstreflexivität“ der *Stanley Parable* entfalte sich „in Form einer Überakzentuierung medialer Bedingtheiten und nicht im Rahmen ihrer Überwindung“ (Hennig 2017: 280).

exploring ein modaler Context of Discovery entsteht. Schon die Bewegung in der ludischen Fiktion lässt sich als experimenteller Vorgang deuten, der an jedem narrativen *node* und jeder Gabel des Entscheidungsbaums zu Urteilen gelangen muss. Da diese Urteile nicht nur die fiktionale Welt und ihren Plot verändern, sondern stets auf die reale Welt der Spielenden zurückbezogen sind, entsteht ein zweiwertiger ontologischer Erfahrungsraum, ein Zeit-Raum zukünftiger Wirklichkeiten und vollendeter Zukünfte, der ein konzises Management der Möglichkeiten verlangt. In diesem ludischen Versuchszeitraum wirkt ein Verfahren der mobilen Hermeneutik, das nicht nur die vorgegebenen Strukturen deuten, sondern auch die eigenen Entscheidungen verstehen und begründen, sprich: auf ihre Folgen hin befragen muss – ein Context of Justification.⁸ Da sie auf die Folgen *jeder* ludischen Entscheidung zielt und zielen muss (denn alles könnte sich als relevant erweisen), bringt die Zukunftshermeneutik eine Form der ‚Gamingfolgenabschätzung‘ hervor.⁹ Im ludischen System erscheint die Deutungskunst als Quest nach einem Zukunftssinn, der sich am Futur II, dem Wird-geschehen-Sein der ludischen und narrativen Handlungsfolgen orientieren muss. Er modelliert das Applikat dabei als künftig abgeschlossenes in einer Weise, die es selbst zum Ausgangspunkt von Anschlussmodellierung macht. Strategisches und hermeneutisches Verfahren treffen sich im ludischen Verstehen, denn erst durch die Macht der Teilhabe, die Agency der Spieler-Avatar-Dyade, kann das ludische Fiktionsformat die Zukunftsoffenheit gewinnen, die es dann vom technischen zum experimentellen Raum promoviert.

Die Leitmetapher der tradierten Hermeneutik, Horizontverschmelzung, ist im ludischen Dispositiv konkret geworden; dessen metaludischen Formate und Communitys erzeugen Experimentalkulturen einer neuen ‚proaktiven‘ und in ihrer Wirkung noch kaum absehbaren Art. Sie öffnen damit das Konzept des Experimentierens für Projekte jenseits des exakten Forschungs- oder Anwendungskalküls, für Experimentalkulturen neuen Typs. Der experimentelle Game Space aber wird durch solches Spurenlegen zur Bedeutungsmatrix einer hochdynamischen, prozeduralen Hermeneutik, eines Spurenlesens, das als Experimentalverstehen seine eigenen Voraussetzungen nicht nur testet, sondern auch erzeugt.

- 8 Gerade, wenn man Storyworlds mit Jan-Noël Thon als „intersubjective communicative constructs based on a given narrative representation“ versteht (Thon 2016: 54), wird diese Deutungsebene als Ort der Handlungs- und Verhandlungsreflexion relevant.
- 9 Dies vor dem Hintergrund der hermeneutischen Wende in der Technikfolgenabschätzung, die Armin Grunwald als Kritik an überkommenen prognostischen Verfahren vertritt (vgl. Grunwald/Hubig 2018).

Literatur

- Caillois, Roger (1958/1982): *Die Spiele und die Menschen. Maske und Rausch*. Frankfurt am Main/Berlin/Wien: Ullstein.
- Colman, Andrew M. (1982): *Game Theory and Experimental Games: The Study of Strategic Interaction*. Oxford et al.: Pergamon Press.
- Erdbeer, Robert Matthias (2015): Poetik der Modelle, in: *Textpraxis* 11 (2015). Online unter: <https://www.textpraxis.net/robert-matthias-erdbeer-poetik-der-modelle>, S.1–35.
- Erdbeer, Robert Matthias (2018): „On the Verge of the Game. Shared Narrative and Playability in Independent Gameplay“, in: Spasova, Kamelia; Tenev, Darin und Kalinova, Maria (Hg.): *The Parahuman: Grace and Gravity. Festschrift in Honor of Miglena Nikolchina*. Sofia: Sofia UP, S.79–115. Online unter: <https://sfgameseminar.wordpress.com/2018/03/03/robert-matthias-erdbeer-on-the-verge-of-the-game-post-narrative-and-playability-in-independent-gameplay/> (zuletzt aufgerufen: 10.10.2018).
- Guala, Francesco (2008): „Paradigmatic Experiments: The Ultimatum Game from Testing to Measurement Device“, in: *Philosophy of Science*, Jg. 75, S. 658–669.
- Grunwald, Armin und Hubig, Christoph (2018): „Technikhermeneutik: ein kritischer Austausch zwischen Armin Grunwald und Christoph Hubig“, in: *Jahrbuch Technikphilosophie. Arbeit und Spiel*. Baden-Baden: Nomos, S. 321–352.
- Hennig, Martin (2017): *Spielräume als Weltentwürfe. Kultursemiotik des Videospiele*. Marburg: Schüren.
- Juul, Jesper (2005): *half-real. Video Games between Real Rules and Fictional Worlds*. Cambridge: MIT Press.
- Pias, Claus (2012): „Zur Epistemologie der Computersimulation“, in: Berz, Peter; Kubaczek, Marianne; Laquière-Waniek, Eva und Unterholzner, David (Hg.): *Spielregeln. 25 Aufstellungen. Eine Festschrift für Wolfgang Pircher*. Zürich/Berlin: Diaphanes, S. 41–60. Online unter: www.diaphanes.net/titel/zur-epistemologie-der-computersimulation-1724 (zuletzt aufgerufen: 10.10.2018).
- Rheinberger, Hans-Jörg (2006): *Experimentalsysteme und epistemische Dinge. Eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Ruijven, Theo van (2011): „Serious Games as Experiments for Emergency Management Research: A Review“, in: *Proceedings of the 8th International ISCRAM Conference*, Portugal 2011. Online unter: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A0a0154da-2f35-461f-855e-cd7302dce25c> (zuletzt aufgerufen: 10.10.2018).
- Schiller, Friedrich (1993): „Über die ästhetische Erziehung des Menschen in einer Reihe von Briefen“, in: Ders.: *Sämtliche Werke*, Bd. 5: Erzählungen. Theoretische Schriften, hg. von Gerhard Fricke und Herbert G. Göpfert. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Santoyo-Venegas, Rita (2017): „Digital Games and the Collaborative Construction of Knowledge“, in: *Paidia*. Sonderausgabe „Wissenschaft & Technologie in Digitalen Spielen“, S. 1–11.
- Thon, Jan-Noël (2016): *Transmedial Narratology and Contemporary Media Culture*. Lincoln/London: Nebraska University Press.
- Williams, Andrew (2017): *History of Digital Games: Developments in Art, Design and Interaction*. Boca Raton et al.: Taylor & Francis.
- Wreden, Davey (2013a): *The Stanley Parable* [Game]. Galactic Cafe/Steam.
- Wreden, Davey (2013b): *The Stanley Parable* [Script]. Online unter: https://github.com/angelXwind/Localization/blob/master/The%20Stanley%20Parable/subtitles_english.txt (zuletzt aufgerufen: 10.10.2018).

Systematisieren

Entwerfen um 1960. Methodische Objektivität zwischen Kalkül und Intuition

Claudia Mareis

Die 1960er Jahre waren, wie Andrew Pickering einmal bemerkt hat, von einem ausgeprägten „Experimentalismus“, einer großen Offenheit gegenüber wissenschaftlich-technologischen Versuchsanordnungen geprägt (Pickering 2008: 13). Dies gilt auch für die Bereiche von Gestaltung und Kunst, in denen um 1960 parallel zum Aufstieg rechnergestützter Informations- und Kommunikationstechnologien eine intensive Auseinandersetzung mit wissenschaftlichen Konzepten und vermeintlich rationalen, objektivierbaren Arbeitsweisen stattfand. Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang die Hochschule für Gestaltung (HfG) Ulm, an der zwischen 1953 und 1968 die „Verwertung wissenschaftlicher Kenntnisse und Verfahren bei der Entwurfsarbeit“ vorangetrieben wurde (Maldonado/Bonsiepe 1964: 5). Obwohl bekanntlich nicht alle Mitglieder der Hochschule eine Verwissenschaftlichung des Entwerfens gleichermaßen befürworteten, stand die Verhältnisbestimmung von Gestaltung und Wissenschaft doch ganz oben auf der Ulmer Agenda. Wolf Reuter berichtet davon, welche Faszination die Wissenschaft in der frühen Nachkriegszeit auf den Bereich der Gestaltung ausgeübt hatte: „Die Gestalter liebäugelten mit dieser so andersartigen Sparte menschlicher Tätigkeit, weil Fehlplanungen bei den hohen Auflagen der industriellen Fertigung katastrophale Folgen für alle Beteiligten gehabt hätten – Wissenschaft versprach Sicherheit“ (Reuter 2003: 94). Das Interesse an wissenschaftlichen Konzepten und Methoden im Gestaltungskontext um 1960 war allerdings nicht nur einem wachsenden Bedürfnis nach mehr Kontrolle über die Konsequenzen des Entwerfens geschuldet, sondern zeigte sich auch in einer Idealisierung oder gar „Poetisierung“ der Wissenschaften (vgl. Rottmann 2008: 5).

Im Folgenden soll die wechselhafte Verhältnisbestimmung von Gestaltung und Wissenschaft um 1960 anhand einer einflussreichen Kreativitäts- und Entwurfsmethode der Zeit herausgearbeitet und mit Blick auf die Thematik des Experimentierens spezifiziert werden. Den roten Faden der nachfolgenden Ausführungen bildet die Methode des *morphologischen Kastens* – ein kombinatorisches Verfahren, das in der frühen Nachkriegszeit in

naturwissenschaftlichen, technischen und gestalterischen Kontexten zur Anwendung kam und der Systematisierung kreativer Arbeit diente. Ausgehend von dieser Methode lassen sich grundsätzliche Aspekte experimenteller Praxis in den Bereichen von Gestaltung und Kunst herausarbeiten und bezüglich ihres Anspruchs an Systematik und Objektivität sowie ihres materialen und medialen Eigensinns bestimmen. Mit Blick auf die Gegenwart ist diese Bestimmung relevant, da Kreativitäts- und Entwurfsmethoden wie der morphologische Kasten oder Brainstorming (vgl. Mareis: 2018) in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts zur Herausbildung einer Wissensökonomie beigetragen haben (Gorz 2004). Zum Erfolg dieser Form der Ökonomie, die von der Systematisierung und Nutzbarmachung menschlicher Ressourcen wie Erfahrungswissen, Kreativität oder Imagination lebt, haben nicht nur ökonomische Ideale, sondern auch wissenschaftliche und gestalterische Bestrebungen der Rationalisierung menschlicher Arbeits- und Schöpfungskräfte beigetragen.

Problemlösen im morphologischen Weltbild (Fritz Zwicky)

Die Methode des morphologischen Kastens besteht im Kern aus einem kombinatorischen Verfahren zur systematischen, umfassenden Generierung von Ideen, Problemlösungen und Erfindungen aller Art (Abb. 1). Unter der Bezeichnung „morphologischer Kasten“ geht die Methode auf den Schweizer Astrophysiker Fritz Zwicky (1898–1974) zurück, der ab den 1940er Jahren am California Institute of Technology lehrte und zeitlebens ein ausgeprägtes Interesse an systematischen Denkmethoden an den Tag legte (vgl. Stöckli/Müller 2008). Das kombinatorische Verfahren, das der morphologischen Methode zugrunde liegt, ist freilich weitaus älter als die entsprechenden Ausführungen bei Zwicky. Bereits im Mittelalter wurde die Kombinatorik zur Auslegung theologischer Sätze und zur Systematisierung von Wissen angewendet; später dann, im 17. Jahrhundert, einer Blütezeit der Kombinatorik, bildete sie das Herzstück einer *Ars Inveniendi*, wie Leibniz sie vertrat (Doucet-Rosenstein 1981, Rieger 1997). Ab dem 18. Jahrhundert wurde die Beschäftigung mit der kombinatorischen Erfindungskunst unter dem Einfluss der aufkommenden Industrialisierung durch Akteure wie Johann Beckmann oder Franz Reuleaux mit Blick auf ökonomische, technische und mechanische Fragestellungen weitergeführt (Müller 2001, Schöffner 2000). Ungeachtet der unterschiedlichen Anwendungszusammenhänge zeichnen sich kombinatorische Ansätze durch ein ganzheitliches Verständnis von Wissen sowie durch den

PARAMETERS – – WHAT THE SUBJECT MUST 'BE' OR 'HAVE' i.e. ITS REQUIRED 'CHARACTERISTICS'	PARAMETER STEPS – THE 'MEANS' OF ACHIEVING – OR DESCRIPTION OF – WHAT THE SUBJECT MUST 'BE' OR 'HAVE.'					REMARKS
	CIRCULAR CYLINDER	RECTANG. CYLINDER	SPHERE			
FORM						
SIZE	1 UNIT	2 UNITS	3 UNITS	4 UNITS		DEFINITION OF UNIT REQUIRED
MATERIAL	METAL	WOOD	PLASTIC			
ORIENTATION	X AXIS	Y AXIS	Z AXIS			DEFINITION REQUIRED
QUANTITY	1	2	3	4		
SPEED	LOW	MEDIUM	HIGH			DEFINITION REQUIRED
ETC.						

Abb. 1. Darstellung eines morphologischen Kastens, Ken Norris 1963.

Wunsch nach einer Systematisierung und Rationalisierung schöpferischer Arbeits- und Denkprozesse aus.

Bei Fritz Zwicky ist der morphologische Kasten Bestandteil mehrerer methodischer Arbeitsschritte (auch „morphologische Analyse“ oder „morphologische Methode“ genannt), die er im Rahmen seines holistischen „morphologischen Weltbilds“ ab den 1940er Jahren entwickelte (Zwicky 1971, weiterführend Mareis 2012). Von Goethe ausgehend, versuchte er morphologisches Denken dahingehend zu erweitern, „daß nicht nur geometrische, geologische oder biologische Formen und ihre gegenseitigen Verhältnisse studiert, sondern auch die strukturellen Beziehungen zwischen Phänomenen, Handlungen und Ideen jeglicher Art einbezogen werden“ sollten (Zwicky 1971: 37). Zwicky führte die Morphologie somit von einem Beobachtungs- in ein Problemlösungs- und Entwurfsprogramm über.

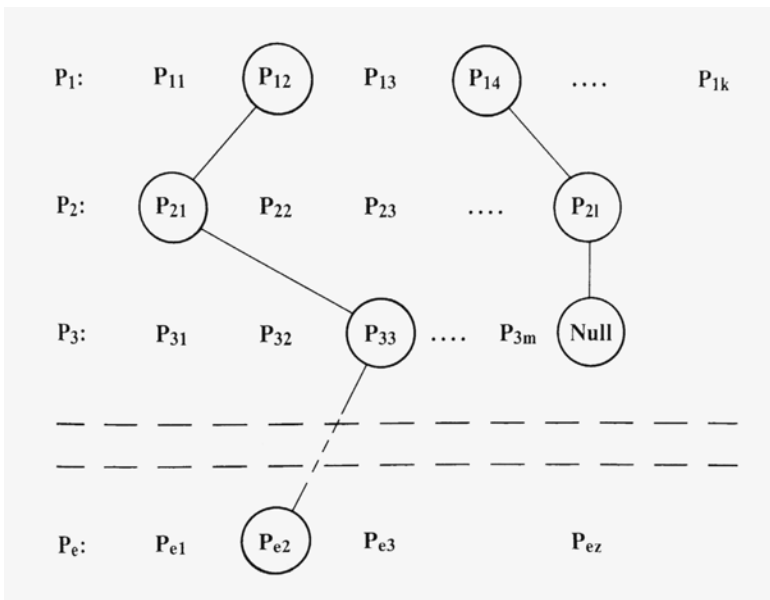
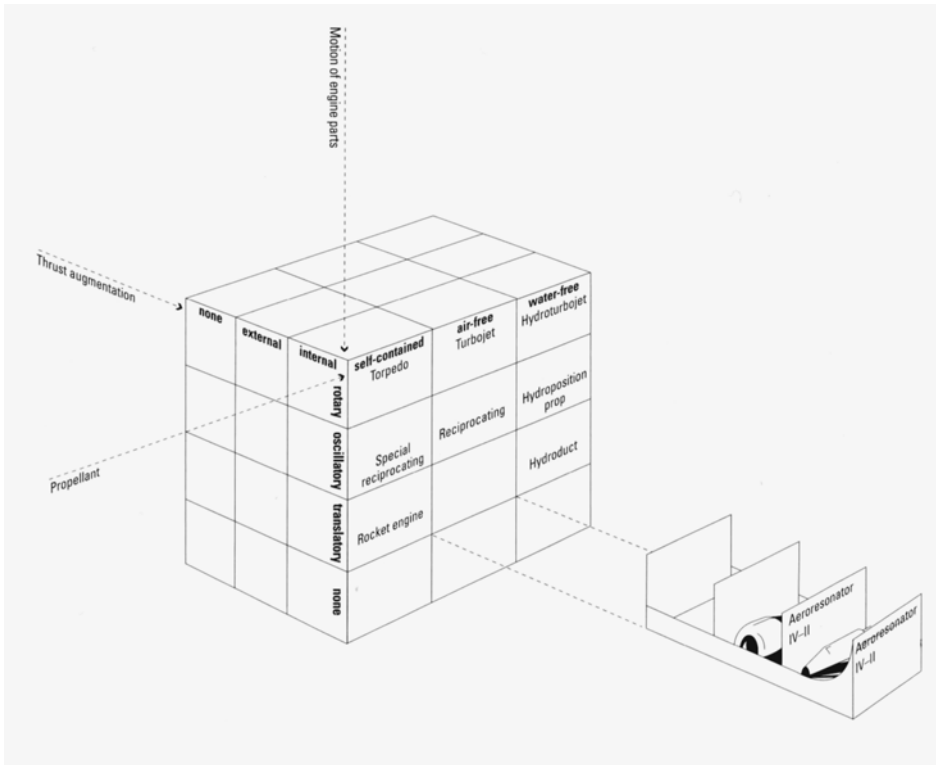


Abb. 2. (oben) Morphologischer Kasten zur Triebwerksentwicklung, Fritz Zwicky 1946.
Abb. 3. (unten) Morphologisches Schema mit Lauflinien, Fritz Zwicky 1958.

Die Funktionsweise des morphologischen Kastens besteht kurz gesagt darin, durch die Kombination von eindeutigen, vollständigen und überschneidungsfreien „Parametern“ und „Komponenten“ eine Vielzahl an Lösungskombinationen für eine klar umrissene Problemstellung zu erzeugen. Die Hoffnung war, so den eigenen Denkhorizont zu erweitern und in der Fülle der Ergebnisse auf neue, unbekannte Ideen zu stoßen.

Sowohl die Parameter und Komponenten als auch die Problemstellung werden bereits vor Beginn des kombinatorischen Prozesses definiert. Während die Parameter in der Regel bestimmte Eigenschaften und Funktionen einer gesuchten Problemlösung oder eines Artefakts darstellen, beschreiben die Komponenten (*steps*) verschiedene Möglichkeiten, um diese Eigenschaften und Funktionen umzusetzen (Norris 1963: 116 ff.). Um beispielsweise ein Fahrzeug zu entwerfen, werden Parameter wie Form, Größe, Material, Quantität, Geschwindigkeit in unterschiedlichen Varianten durchgespielt und miteinander kombiniert (vgl. Abb. 1). Die so erzeugten Kombinationen werden in einem weiteren Schritt ausgewertet, selektiert und gegebenenfalls weiterverfolgt oder in die Umsetzung überführt. Das Verfahren kann nach Bedarf wiederholt und die Ergebnisse miteinander verknüpft werden. Auf diese Weise soll Schritt für Schritt mehr Wissen über ein Problem angehäuft und entsprechend eine bessere, sprich fundiertere Lösung erzeugt werden. Mathematisch gesprochen findet eine „sukzessive Approximation“ statt (Zwicky 1971: 99), die idealerweise nicht nur zu einer möglichst umfassenden, sondern auch zu einer möglichst *objektiven*, vorurteilsfreien Lösung eines Problems führen soll. Was die visuelle Darstellung der Methode betrifft, so finden sich in der Literatur unterschiedliche Möglichkeiten: Fälle, die nur zwei Parameter umfassen, können mit Hilfe einer einfachen Tabelle dargestellt werden. Für Fälle mit drei Parametern wird die Darstellungsform eines diagrammatischen Würfels (daher der Ausdruck „Kasten“) empfohlen (Abb. 2). Bei vier und mehr Parametern wird hingegen die Darstellung in Form einer mathematischen Matrix („Schema“) genutzt (Abb. 3).

Entsprechend dem wissenschaftlichen Anspruch auf Wiederholbarkeit definierte Zwicky für die korrekte Durchführung einer morphologischen Analyse insgesamt fünf Operationalisierungsschritte, von denen die Anwendung des morphologischen Kastens einen Schritt unter mehreren ausmacht (Zwicky 1989: 17 f.):

1. Schritt: Genaue Umschreibung und zweckmäßige Verallgemeinerung des Problems.

2. Schritt: Bestimmung und Lokalisation aller die Lösung des Problems bestimmenden Parameter.
3. Schritt: Aufstellung des morphologischen Schemas oder des morphologischen Kastens, aus dem alle Lösungen des gegebenen Problems vorurteilslos herausgeschält werden.
4. Schritt: Bewertung aller Lösungen aufgrund eines bestimmten gewählten Wertestandards.
5. Schritt: Wahl der optimalen Lösung und Weiterverfolgung derselben bis zur fertigen Konstruktion.

Zwicky selbst benutzte morphologische Analysen, um so unterschiedliche Problemstellungen zu bearbeiten wie die Optimierung von Raketentriebwerken, die Entwicklung eines Bücherhilfsprogramms für kriegsgeschädigte Bibliotheken, die Beschreibung aller bekannten „Arten der Energie und ihre[r] Umwandlungen“ oder die systematische Erörterung von Fragen der „Rechtsanwendung im Raumzeitalter“ (vgl. Zwicky 1971: 94–133). Aufgrund seiner engagierten Bemühungen, die Methode, ja überhaupt den Nutzen systematischen Denkens, einer größeren Öffentlichkeit zu vermitteln, breitete sich diese in den 1950er und sechziger Jahren rasch in unterschiedlichen Disziplinen und Anwendungskontexten aus. Namentlich wurde sie im Ingenieurwesen, in der Architektur und der Stadtplanung rezipiert. Darüber hinaus wurde sie auch im Kontext der Technikfolgenabschätzung (Jantsch 1967) und mit Blick auf die Gesellschaftsplanung diskutiert (Zwicky 1949: 6 f.). Über Max Bill und die HfG Ulm wurde sie unter der Bezeichnung „morphologische Methode“ in den 1950er Jahren schließlich auch in die Gestaltung und die Kunst transferiert, wo sie die Systematisierung und Rationalisierung von Entwurfsprozessen unterstützen sollte.

Umweltgestaltung nach morphologischen Methoden (Max Bill)

Im Oktober 1956 hielt Bill im Rahmen der ersten deutsch-schweizerischen Werkbundtagung nach dem Krieg an der HfG Ulm einen Vortrag zum Thema „Umweltgestaltung nach morphologischen Methoden“ (Bill 2007). Bill sprach darin über den Nutzen der Methode für eine systematische, objektive Umweltgestaltung. Er bezog sich dabei explizit auf Fritz Zwicky, den er wenige Monate zuvor anlässlich einer Vortragsreihe an der ETH Zürich gehört und der ihn offenkundig nachhaltig für die Methode zu begeistern vermocht hatte (Bill 1957). Mit dem Ausdruck „Umweltgestaltung“ bezeichnete Bill einen ganzheitlichen Gestaltungsansatz, in dem sämtliche Objekte der künstlichen, von Menschen gemachten

Umwelt funktional und ästhetisch optimiert werden sollten: angefangen „vom kleinsten Gegenstand bis zur ganzen Stadt“ (o. A. 1968: 194). Vom Einsatz eines strikt methodisch angeleiteten Entwurfsprozesses erhoffte sich Bill, wie Willy Rotzler in seinem Tagungsbericht für die Architekturzeitschrift *Werk* resümierte, „bei der Gestaltung all der Dinge, die unsere Umgebung ausmachen, vom Löffel bis zum Stadtplan, vom gefühlsmäßigen Ertasten der tauglichen und befriedigenden Lösung abzurücken und systematisch vorzugehen“ (Rotzler 1956: 237). Eine ganzheitliche Umweltgestaltung, wie sie Bill vorschwebte, sollte nicht länger durch subjektive Bewertungen und impulsive Handlungen einzelner Gestalter, sondern durch eine systematische, überprüfbare und somit (vermeintlich) allgemeingültige Entwurfsmethodik bewerkstelligt werden (Bill 2007: 104).

Bills Vorschlag wurde in Gestaltungskreisen mit regem Interesse aufgenommen. Zum einen wurde zu jener Zeit das Projekt einer Verwissenschaftlichung des Entwerfens unter dem Stichwort *Design Methods Movement* vielerorts mit Nachdruck vorangetrieben (vgl. Mareis 2011: 34–54), zum anderen umgab Zwickys Methode aufgrund ihrer Provenienz aus der Astrophysik und Ingenieurtechnik eine Aura von Seriosität, Wissenschaftlichkeit und Objektivität, die auf die Bereiche von Gestaltung und Kunst übertragbar schien. Die Methode war – zumindest auf den ersten Blick – relativ einfach zu vermitteln, versprach aber dennoch eine umfassende, Zwicky zufolge sogar „totale“ Abdeckung eines Problemfeldes (Zwicky 1971: 10). Vor allem aber schien sie dem vermeintlich unvereinbaren Bedürfnis nach Berechenbarkeit *und* Freiheit beim Entwerfen gleichermaßen Rechnung zu tragen: Die Methode versprach die systematische Öffnung eines experimentellen Handlungsraums, in dem Kalkül und Intuition aufeinandertreffen, wobei sich, wie Bill andernorts festhielt, eine Synthese von „Gefühl *und* Denken“ realisieren konnte (Bill 1949: 88, Hervorh. i. Orig.).

Programme entwerfen (Karl Gerstner)

Neben Bill arbeitete in den 1960er Jahren auch der Schweizer Grafiker und Künstler Karl Gerstner intensiv mit der Methode des morphologischen Kastens. Sie spielte sowohl für seine grafischen Arbeiten, die er in professionellen Auftragskontexten realisierte, eine zentrale Rolle als auch in seinem freien Werk im Kontext der Konkreten Kunst. Im Jahr 1963 veröffentlichte er die Schrift *Programme entwerfen*, in der er die Verwendung der Methode in Hinblick auf Gestaltungsprobleme propagierte (Gerstner 1963). Statt „Lösungen für Aufgaben“ sollten „Programme für Lösungen“

gefunden werden (Gerstner 2007). 1972 folgte mit *Kompendium für Alphabeten* ein weiteres Werk, in dem Gerstner den Nutzen der Methode des morphologischen Kastens für die Schriftgestaltung ausführlich demonstrierte (Gerstner 1972). *Programme entwerfen* spiegelt Gerstners grundlegende Faszination für eine systematische Ordnung der Dinge wider. So interessierte er sich für Symmetrien, Muster, Ornamente, Wiederholungen, Permutationen, typografische Raster, Bildprogramme, Schrifttypologien und dergleichen mehr. Unter der Überschrift „Programm als Denklehre“ stellte er die Methode des morphologischen Kastens im Detail vor und bezeichnete sie als „eine Art Entwurfsautomat“ (Gerstner 1963: 9). Die entsprechende Abbildung zeigt einen vierteiligen „morphologischen Kasten des Typogramms“, in dem verschiedene Optionen der Typogrammgestaltung aufgeführt sind, darunter die Beschaffenheit von Schrift, Farbe, Form, Proportionen, Leserichtung oder Spationierung der Buchstaben (Abb. 4).

Aufgrund seiner aufgeräumten tabellarischen Struktur vermittelt der von Gerstner propagierte morphologische Kasten den Eindruck einer exakten, beinahe mathematischen Versuchsanordnung. Auch das Bild, das Gerstner vom Entwurfsprozess zeichnet, entspricht eher dem Klischee eines rational agierenden Naturwissenschaftlers als dem eines intuitiv agierenden Künstlers: Je mehr der subjektive Einfluss des Experimentators ausgemerzt werden kann, umso stärker tritt die objektive Qualität der Methode an den Tag, so lautet das zu diesem Wissenschaftsklischee gehörige Prinzip. Objektivität und Subjektivität stellen in einem solchen stereotypen Verständnis des wissenschaftlichen Selbst, wie Lorraine Daston und Peter Galison festhalten, allerdings nur zwei Seiten ein- und derselben Sache dar: „Die eine definiert die andere“ (Daston/Galison 2007: 208). Vor diesem Hintergrund ist die Methode des morphologischen Kastens nicht nur als ein Mittel der Arbeitsrationalisierung und -kontrolle zu sehen, sondern ebenso als eine „Technologie des Selbst“ (Foucault 1993), die der Herausbildung eines objektiveren Selbst durch die Kontrolle subjektiver Impulse zuarbeiten sollte. „Disziplinierung“ und „Rationalisierung“ sind folglich die Schlüsselwörter, um die von Gerstner vorgeschlagene Systematisierung subjektiver, spontaner Einfallskraft mit Hilfe eines mathematisch-kombinatorischen Programms zu charakterisieren.

Den Abschluss von Gerstners Publikation *Programme entwerfen* bildet ein Kapitel zum Thema „Bilder-machen“, in dem der Autor seinen Ansatz zur Genese abstrakter bildnerischer Kompositionen und Bildserien vorstellt (Abb. 5). Als „Bild“ definiert er den „Entwurf eines Ganzen, einer totalen, vollkommenen Einheit; die

Einheit wiederum als Konstellation von veränderlichen Größen gedacht“ (Gerstner 1963: 72). In diesem Punkt offenbarte Gerstner seine große Nähe zu Zwickys Überzeugung, dass *sämtliche* Lösungen eines Problems bereits im kombinatorischen System enthalten seien. Auf den gestalterischen Prozess übertragen bedeutet dies, dass in jedem einzelnen Entwurf bzw. Bild bereits sämtliche Komponenten zukünftiger Bilder enthalten sind. Das einzelne Bild ist demnach als konkreter Fall eines ideellen kombinatorischen Bildprogramms zu verstehen, das nur der Realisierung harret. Die Aufgabe des Gestalters sah Gerstner darin, „aus der Unzahl der möglichen eine Anzahl aktueller Bilder zu finden“ (Gerstner 1963: 72 f.). „Bilder-machen ist eine Spielart im Bereich des Entwerfens, des Erfindens“ (ebd.: 55), so sein Fazit, die „Arbeit ist demnach eine kombinatorische“ (ebd.: 72). Genau in dieser kombinatorischen Qualität der Bildgenese verortete er auch die künstlerische Originalität eines Bildes: „je universeller die Formel, desto originaler [sic] ist das Bild“ (ebd.: 73). Man ist geneigt, bei dieser Aussage an Max Benses informationsästhetische Formel zu denken, mittels derer dieser das ästhetische Maß und die Originalität eines Kunstwerks als Ausdruck einer Balance zwischen Redundanz und Information bestimmte (Bense 2004: 212).

Angesichts der rigiden Intellektualisierung des Entwurfsprozesses, die Gerstner verfolgte, mag es überraschend anmuten, dass er gerade in der kombinatorischen Gestaltung eine Rückbesinnung auf das Material erkannte. So führte er aus: „[...] ist das Entwerfen zum Programm gemacht, ist die Grundlage das Material. Das heisst die genaue Kenntnis des Materials“ (Gerstner 1963: 89). Folgt man Gerstners Schilderungen seines Arbeitsprozesses, wird schnell deutlich, dass er die Tücken des Entwurfsprozesses weniger im Ausdenken eines Bildprogramms sah, sondern vielmehr in der materiellen Herstellung dieser Bilder. So berichtete er wiederholt über Schwierigkeiten, die sich im Umgang mit den Werkstoffen ergaben: Externe Lackierungsaufträge waren teuer, günstige Selbstklebefolien „verschrumpelten“ mit der Zeit und lösten sich ab, leuchtende Druckfarben verblassten rasch und machten den sorgfältig komponierten Farbeindruck zunichte. „Ein anderes Mal war ich gezwungen, etwa 80 Bilder aus dem Verkehr zu ziehen, das heisst: zu verbrennen. In diesem Fall waren es nicht die Farben, sondern der Leim. Es handelte sich um *color sounds*, Reliefs aus verschiedenen Schichten, die sich nach Jahren nach und nach lösten“ (Gerstner 2003: 49).

Der von Gerstner favorisierte Entwurfsverlauf ‚von der Idee zum Material‘ erwies sich damit als ein auf die Theorie limitiertes Unter-

21

a Basis					
1. Bestandteile	11. Wort	12. Abkürzung	13. Wortgruppe	14. kombiniert	
2. Type	21. Grotesk	22. Antiqua	23. Fraktur	24. sonst eine	25. kombiniert
3. Technik	31. geschrieben	32. gezeichnet	33. gesetzt	34. sonst eine	35. kombiniert

b Farbe					
1. Ton	11. hell	12. mittel	13. dunkel	14. kombiniert	
2. Wert	21. bunt	22. unbunt	23. gemischt	24. kombiniert	

c Auftritt					
1. Grösse	11. klein	12. mittel	13. gross	14. kombiniert	
2. Proportion	21. schmal	22. gewöhnlich	23. breit	24. kombiniert	
3. Fette	31. mager	32. normal	33. fett	34. kombiniert	
4. Neigung	41. gerade	42. schräg	43. kombiniert		

d Ausdruck					
1. Leserichtung	11. von links nach rechts	12. von oben nach unten	13. von unten nach oben	14. sonst wie	15. kombiniert
2. Spationierung	21. eng	22. normal	23. weit	24. kombiniert	
3. Form	31. tel quel	32. verstümmelt	33. projiziert	34. sonst etwas	35. kombiniert
4. Gestalt	41. tel quel	42. etwas weggelassen	43. etwas ersetzt	44. etwas hinzugefügt	45. kombiniert

Abb. 4. Morphologischer Kasten des Typogramms, Karl Gerstner 1963.

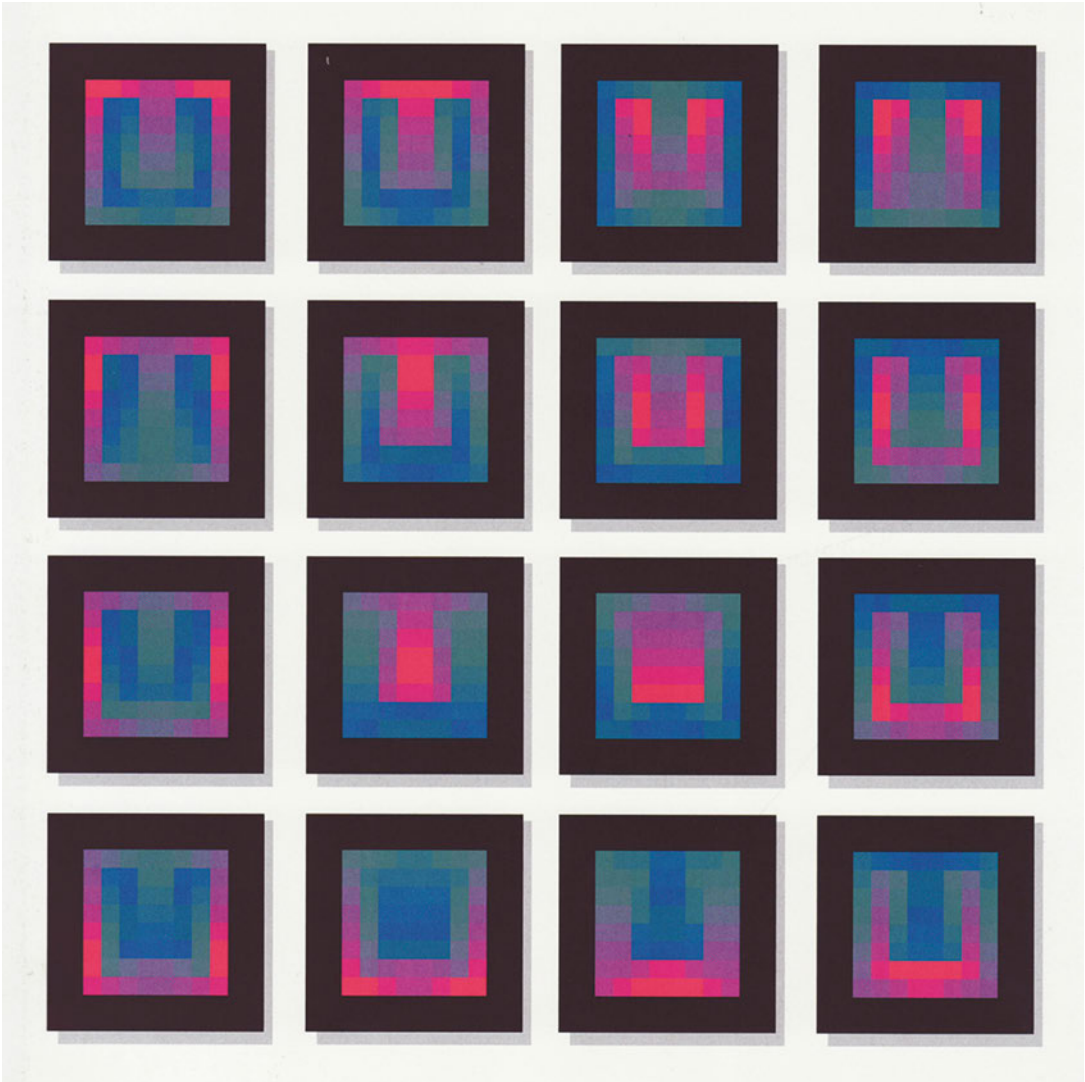


Abb. 5. *Carro 64*, 16teiliges Bildprogramm, Karl Gerstner 1965.

fangen. Der Übergang vom ideellen Entwurfsprogramm zum materiellen Entwurf zeigte sich in der Praxis erwartungsgemäß nicht als ein geradliniger Prozess und verlustfreier Transfer einer Idee vom „Geist“ in die Materie, sondern als ein höchst widerständiges Unterfangen, bei dem das Eigenleben des Materials und der Werkstoffe sich dem theoretischen Entwurfsprogramm auf reale Weise widersetzte.

Methodische Objektivität und ihre material-medialen Grenzen

In Bills Ideal einer gestalterisch-wissenschaftlichen Synthese von „Gefühl *und* Denken“ sowie in Gerstners Ansatz eines ‚programmierten Entwerfens‘ spiegelt sich exemplarisch der eingangs aufgerufene experimentelle Geist der 1960er Jahre wider. Obwohl auch Themen wie Spontaneität oder Improvisation durchaus eine zentrale Rolle spielten (vgl. Belgrad 1998), war diese Zeit doch stark von mathematisch-technischen Diskursen geprägt. Das Paradigma der Kybernetik und die damit verbundene Vorstellung einer theoretischen *und* maschinellen Formalisier- und Operationalisierbarkeit von Prozessen trug dazu bei, die Anwendung naturwissenschaftlicher Methoden und technischen Denkens auch in den Bereichen Gestaltung und Kunst zu befördern. Kybernetische und informationstheoretische Ideen fanden um 1960 Eingang in die Ästhetik und Kunsttheorie (Bense 1988, Moles 1958, Burnham 1968) und beeinflussten künstlerische Strömungen maßgeblich. Neben den behandelten Beispielen aus der Umweltgestaltung und Konkreten Kunst sind in diesem Zusammenhang auch die frühe Computer- und Medienkunst, die serielle Kunst oder die Konzeptkunst zu nennen (vgl. Klütsch 2007, Schröder 2008). In der Tendenz einte diese Strömungen „der Wunsch zur Herstellung von ‚Objektivität‘ oder – ex negativo gesprochen – die Vermeidung von Subjektivität“ (Rottmann 2008: 1). Mit Hilfe von generativen, maschinellen oder seriellen Entwurfsverfahren wurde versucht, dem Wunsch nach Objektivierung – oder eben Entsubjektivierung – Rechnung zu tragen. Der Begriff der Objektivität war dabei an unterschiedliche Lesarten gekoppelt. Neben der „Befreiung von persönlichen Idiosynkrasien und subjektiven Interventionen“ (Heintz 2000: 252) ist Bettina Heintz’ Konzept einer „methodischen Objektivität“ mit Blick auf die im vorliegenden Text behandelten Beispiele aus Gestaltung und Kunst instruktiv: „Methodische Objektivität ist dann gegeben, wenn alles Individuelle und Subjektive, alles Emotionale und Körperliche ausgeschaltet ist“ (Heintz 2000: 253 f.).

Doch gerade dieses Verständnis von Objektivität kommt mit Blick auf die materiale und mediale Dimension des Entwurfsprozesses rasch an seine Grenzen. Denn ungeachtet des Postulats einer Entsubjektivierung oder auch *Dematerialisierung* des Entwerfens blieben Entwurfsprozesse auch um 1960 einer zutiefst materialen und medialen Epistemologie und Pragmatik verhaftet. Dies lässt sich nicht nur mit Blick auf die Widerständigkeit des Materials, etwa bei Gerstner, beobachten, sondern zeigt sich auch in dem Versuch, mit Hilfe eines zwar analogen, aber systematischen Prozederes wie dem morphologischen Kastens die Zukunft des rechnergestützten Entwerfens experimentell vorwegzunehmen. Die Problematik der Diskontinuität von Informationen charakterisiert sowohl die analoge Rechenarbeit mit dem morphologischen Kasten als auch die digitale Arbeitsweise des Computers: Beide Verfahrensweisen verlangen die Definition diskreter Parameter, *Daten*, für die Berechnung ihrer Prozesse. Obwohl die Methode des morphologischen Kastens das Potenzial für einen computergenerierten Ablauf aufweist, konnte keiner der genannten Protagonisten um 1960 tatsächlich schon mit Computern arbeiten. Die Beispiele, die etwa Gerstner für *Programme entwerfen* auswählte, sowie seine eigenen künstlerischen Arbeiten, die er in den 1960ern realisierte, waren produktionstechnisch noch weit von computergenerierten Entwurfsprogrammen entfernt. Vor diesem Hintergrund ist *Programme entwerfen* vielmehr als Versuch zu sehen, zwischen traditionellen gestalterischen Arbeitsweisen und dem emergenten digital-elektronischen Prozessierungsparadigma des Computers zu vermitteln.

Mit der Methode des morphologischen Kastens in den Bereichen Gestaltung und Kunst ist grundsätzlich auch die Frage verbunden, wie sich Kreativität im Rahmen kalkulierter, systematisierter Abläufe spontan entfalten kann. Hilfreich in dieser Hinsicht ist Hans-Jörg Rheinbergers Vorschlag, Experimentalsysteme als materielle, „nach vorn offene“ räumlich-zeitliche Anordnungen zu sehen (Rheinberger 2001: 22), in denen kreative Zufälle und Ereignisse zwar systematisch gerahmt und methodisch begünstigt, nicht aber per Kalkül erzwungen werden können. Vielmehr spielen das Können und die Virtuosität des Experimentators (vgl. Rheinberger 2008) sowie die Versuchsanordnung selbst mit ihrem materialen Eigensinn bei der Hervorbringung neuartiger Sachverhalte eine entscheidende Rolle. Dies trifft auch für die Methode des morphologischen Kastens zu, die in diesem Text exemplarisch als Schnittstelle von wissenschaftlichen und gestalterischen Experimentalsystemen behandelt wurde: Während das kombinatorische Verfahren des morphologischen Kastens zwar selbst auf einer diskreten

prozessualen Logik sowie den Mitteln der mathematischen Komplexitätsberechnung basiert, sind so gut wie alle weiteren Schritte, welche die Methode ausmachen – Problemdefinition Parameterauswahl, Lösungsauswertung und Umsetzung –, von subjektiven Auswahl- und Entscheidungsprozessen, von individuellem Erfahrungswissen und Können abhängig. Auch dienen die diagrammatischen Aufzeichnungsformen, Tabellen und Matrizen, die bei der Durchführung der Methode zum Einsatz kommen nicht bloß dem Transfer von Ideen vom „Geist“ auf das Papier, sondern tragen als material-mediale Verfahren selbst aktiv zur „Entfaltung von Gegenständen des Wissens“ bei (Hoffmann 2008: 7).

Die Methode des morphologischen Kastens ist somit weitaus mehr als nur ein abstraktes „Denkzeug“ zur Bewältigung von Komplexität und Akzidenz (Gransche 2015: 366 ff.). Vielmehr kann sie Rheinbergers Vorschlag folgend als ein Experimentalsystem zur „Materialisierung von Fragen“ verstanden werden (Rheinberger 2001: 22) – als Versuch, heterogene menschliche und nichtmenschliche Akteurskonstellationen sowie widerständige Prozessdynamiken im Entwurf derart zu koordinieren, dass daraus neues, anschlussfähiges Wissen resultiert. Durch die angestrebte Systematisierung und Nutzbarmachung von individuellem, situativem Wissen arbeiten Kreativitäts- und Entwurfsmethoden wie der morphologische Kasten allerdings nicht nur den methodischen Anforderungen und Kriterien der wissenschaftlichen Wissensproduktion zu, sondern entsprechen vielmehr auch einer instrumentellen, ökonomischen Verwertungslogik von Wissen und Einfallskraft, wie sie durch die Kreativwirtschaft der letzten Jahrzehnte installiert wurde.

Literatur

- Belgrad, Daniel (1998): *The Culture of Spontaneity: Improvisation and the Arts in Postwar America*. Chicago: University of Chicago Press.
- Bense, Max (1988): „Einführung in die informationstheoretische Ästhetik“, in: Ders.: *Ausgewählte Schriften*. Bd. 3: Ästhetik und Texttheorie, hg. von Elisabeth Walther. Stuttgart/Weimar: Metzler, S. 251–418.
- Bense, Max (2004): „Ästhetik und Programmierung“, in: Büscher, Barbara; Herrmann, Hans-Christian von und Hoffmann, Christoph (Hg.): *Ästhetik als Programm. Max Bense. Daten und Streuungen*. Berlin: Kaleidoskopien, S. 208–213.
- Bill, Max (1949): „Die mathematische Denkweise in der Kunst unserer Zeit“, in: *Das Werk*. Nr. 36, S. 88–89.
- Bill, Max (1957): *Brief an Fritz Zwicky*, datiert vom 5.6.1957. Quelle: Fritz-Zwicky-Archiv, Landesbibliothek Glarus, FZH A 173.
- Bill, Max (2007): „umweltgestaltung nach morphologischen methoden“, in: Bill, Jakob (Hg.): *Max Bill. funktion und funktionalismus. schriften: 1945–1988*. Bern: Benteli, S. 103–108.
- Burnham, Jack (1968): „Systems Esthetics“, in: *Artforum*, Jg. 7, Nr. 1, S. 30–35.
- Daston, Lorraine und Galison, Peter (2007): *Objektivität*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Doucet-Rosenstein, Diane (1981): *Die Kombinatorik als Methode der Wissenschaften bei Raimund Lull und G. W. Leibniz*, Diss., Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Foucault, Michel (1993): „Technologien des Selbst“, in: Martin, Luther H.; Gutmann, Huck und Hutton, Patrick (Hg.): *Michel Foucault. Technologien des Selbst*. Frankfurt am Main: Fischer, S. 24–62.
- Gerstner, Karl (1963): *Programme entwerfen*. Teufen: Niggli.
- Gerstner, Karl (1972): *Kompendium für Alphabeten. Eine Systematik der Schrift*. Teufen: Niggli.
- Gerstner, Karl (2003): „Die seriellen Bilder“, in: Gomringer, Eugen (Hg.): *Karl Gerstner: Rückblick auf sieben Kapitel konstruktive Bilder. Etc.* Ostfildern-Ruit: Hatje Cantz, S. 26–67.
- Gerstner, Karl (2007): *Programme entwerfen. Statt Lösungen für Aufgaben Programme für Lösungen*. Baden: Lars Müller.
- Gorz, André (2004): *Wissen, Wert und Kapital. Zur Kritik der Wissensökonomie*. Zürich: Rotpunktverlag.
- Gransche, Bruno (2015): *Vorausschauendes Denken. Philosophie und Zukunftsforschung jenseits von Statistik und Kalkül*. Bielefeld: transcript.
- Heintz, Bettina (2000): *Die Innenwelt der Mathematik. Zur Kultur und Praxis einer beweisenden Disziplin*. Wien: Springer.
- Hoffmann, Christoph (2008): „Festhalten, Bereitstellen, Verfahren der Aufzeichnung“, in: Ders. (Hg.): *Daten sichern. Schreiben und Zeichnen als Verfahren der Aufzeichnung*. Zürich/Berlin: Diaphanes, S. 7–20.
- Jantsch, Erich (1967): *Technological Forecasting in Perspective. A Framework for Technological Forecasting, its Techniques and Organisation*. Paris: OECD.
- Klütsch, Christoph (2007): *Computergrafik. Ästhetische Experimente zwischen zwei Kulturen. Die Anfänge der Computerkunst in den 1960er Jahren*. Wien/New York: Springer.
- Maldonado, Tomás und Bonsiepe, Gui (1964): „Wissenschaft und Gestaltung“, in: *ulm*, Nr. 10/11, S. 5–42.
- Mareis, Claudia (2011): *Design als Wissenskultur. Interferenzen zwischen Design- und Wissensdiskursen seit 1960*. Bielefeld: transcript, S. 34–54.
- Mareis, Claudia (2012): „Quadratisch, praktisch, gut: Zur Erfolgsgeschichte des morphologischen Kastens“, in: Windgätter, Christof (Hg.): *Verpackungen des Wissens*. Reihe Maske und Kothurn. Wien: Böhlau, S. 109–121.
- Mareis, Claudia (2018): „Brainstorming. Über Ideenproduktion, Kriegswirtschaft und ‚Democratic Social Engineering‘“, in: Moser, Jeannie und Vagt, Christina (Hg.): *Verhaltensdesign. Bildungs-, Erziehungs- und Regierungsprogramme*. Bielefeld: transcript, S. 193–210.
- Moles, Abraham A. (1958): *Théorie de l'information et perception esthétique*. Paris: Flammarion.
- Müller, Hans-Peter (2001): „Rekombinatorik als Theorie und Praxis der Erfindung – historische Ansätze“, in: Banse, Gerhard und Müller, Hans-Peter (Hg.): *Johann Beckmann und die Folgen. Erfindungen – Versuch der historischen, theoretischen und empirischen Annäherung an einen vielschichtigen Begriff*. Münster: Waxmann, S. 111–141.
- Norris, Ken W. (1963): „The Morphological Approach to Engineering Design“, in: Jones, John Christopher und Thornley, Denis G. (Hg.): *Conference on Design Methods*. New York: Pergamon Press, S. 115–140.
- o. A. (1968): „Umweltgestaltung/Bill: Die unendliche Schlaufe“, in: *Der Spiegel*, 25. März, S. 194.
- Pickering, Andrew (2008): „New Ontologies“, in: Ders. und Guzik, Keith (Hg.): *The Mangle in Practice. Science, Society and Becoming*. Durham/London: Duke University Press, S. 1–14.
- Reuter, Wolf (2003): „... den Dualismus zwischen rationaler und intuitiver Tätigkeit auflösen“. Horst Rittel an der HfG Ulm“, in: Rinker, Dagmar u. a. (Hg.): *ulmer modelle – modelle nach ulm. hochschule für gestaltung 1953–1968*. Ostfildern-Ruit: Hatje Cantz, S. 94–99.

- Rheinberger, Hans-Jörg (2001): *Experimentalsysteme und epistemische Dinge*. Göttingen: Wallstein.
- Rheinberger, Hans-Jörg (2008): „Experimentelle Virtuosität“, in: Welsh, Caroline und Willer, Stefan (Hg.): *„Interesse für bedingtes Wissen“*. Wechselbeziehungen zwischen den Wissenskulturen. München: Fink, S. 331–342.
- Rieger, Stefan (1997): *Speichern/Merken. Die künstliche Intelligenzen des Barock*. München: Fink.
- Rottmann, Michael (2008): „Zur Objektivität in der bildenden Kunst der 1960er-Jahre. Mathematische Medien als Produktionsfaktoren in der Minimal- und Concept Art und der frühen Computerkunst“, in: *Internationale Mathematische Nachrichten*, Nr. 207, S. 1–24.
- Rotzler, Willy (1956): „Die Werkbund-Tagung in Ulm, 20./21. Oktober 1956“, in: *Werk-Chronik*, Jg. 43, Nr. 12, S. 237–238.
- Schäffner, Wolfgang (2000): „Erfindungskunst. Johann Beckmann und die Technologie der Künste im 18. Jahrhundert“, in: Franz, Michael; Baxmann, Inge und Schäffner, Wolfgang (Hg.): *Das Laokoon-Paradigma. Zeichenregime im 18. Jahrhundert*. Berlin: Akademie-Verlag S. 418–438.
- Schröder, Britta (2008): *Konkrete Kunst. Mathematisches Kalkül und programmiertes Chaos*. Berlin: Reimer.
- Stöckli, Alfred und Müller, Roland (2008): *Fritz Zwicky. Astrophysiker. Genie mit Ecken und Kanten*. Zürich: Verlag Neue Zürcher Zeitung.
- Zwicky, Fritz (1949): „Morphologische Astronomie“, in: *Physikalische Blätter*, Jg. 5, S. 4–10.
- Zwicky, Fritz (1971): *Entdecken, Erfinden, Forschen im Morphologischen Weltbild*. München: Droemer Knaur.
- Zwicky, Fritz (1989): *Morphologische Forschung. Wesen und Wandel materieller und geistiger struktureller Zusammenhänge*. Glarus: Baeschlin.

Variieren

Die Psychologie des Experimentierens und das Experiment in der Psychologie

Robert Gaschler

Der folgende Beitrag liefert zwei psychologische Perspektiven auf das Experiment. Einerseits werden knapp einige Ergebnisse dazu vorgestellt, inwiefern höher entwickelte Tiere und Menschen spontan experimentieren und wie Grundlagen des Experimentierens in der Kopplung von Wahrnehmung und Handlungssteuerung angelegt sind. Andererseits werden an Beispielen einige Charakteristika des Experiments in der Psychologie erläutert.

Die Psychologie des Experimentierens

Nach Zusammenfassung einer langen Reihe von Lernexperimenten an Ratten kam Tolman (1948) zu dem Schluss, dass nicht nur er, sondern auch die Ratten experimentieren: Sie explorieren systematisch ihre Umwelt, um Veränderungen vorhersagen bzw. herbeiführen zu können. Sie erkunden beispielsweise systematisch zuerst die hellen oder zuerst die dunklen Türen im Labyrinth. Sie explorieren den Aufbau eines Labyrinths auch, wenn sie keinen Hunger haben, und nutzen das erworbene Wissen, wenn sie dann Hunger haben. Sie versuchen, auf das Labyrinth zu klettern, um sich einen Überblick zu verschaffen. Sie zeigen Probehandeln, wenn sie sich vor einem Sprung von einem Podest für eine von zwei Türen entscheiden müssen, die jeweils offen oder verschlossen sein können. Die Ratten variieren systematisch ihr Verhalten und beobachten die darauf folgenden Veränderungen in der Umwelt. Tolman sieht dahingehend kaum wesentliche Unterschiede zwischen Experimentator und Ratten.

Wissenserwerb durch Beeinflussung der Umwelt ist in der engen Kopplung von Motorik und Wahrnehmung angelegt. Das Explorieren von Objekten mit den Händen macht deutlich, wie eng beide Funktionen ineinandergreifen (vgl. Gaschler et al. 2012). Aktive Bewegung erleichtert die Separierung von Formen (beispielsweise welcher Faden wohin führt). Das aktive Variieren von Umwelteigenschaften erlaubt es, schneller und sicherer Wissen über Eigenschaften der Umwelt zu erwerben, als wenn man auf passives Beobachten beschränkt wäre. Blaisdell (2008) illustriert dies mit folgendem Beispiel: Stellen Sie sich ein Kind vor, das erstmalig ein Barometer sieht. Da sich erst die Anzeige im Barometer ändert und

danach das Wetter umschlägt, wäre die Schlussfolgerung denkbar, dass eine Änderung der Anzeige eine Änderung des Wetters verursacht. Durch aktives Manipulieren eines (analogen) Barometers kann diese Schlussfolgerung jedoch rasch korrigiert werden. Neun Monate alte Kinder explorieren realistische Fotografien von Objekten (etwa eines Apfels) mit den Händen oder versuchen eine fotografierte Flasche mit den Lippen zu berühren (DeLoache 2004). Sie erlernen, dass es sich bei den Fotografien um Objekte handelt, die für andere Objekte stehen.

Sich aktiv in der Umwelt zu bewegen ist eine notwendige Voraussetzung für die vollständige Ausbildung des visuellen Kortex (z. B. Held/Hein 1963). Während Kätzchen, die sich selbst bewegten, vollständige visuelle Fähigkeiten ausbildeten, war dies bei Kätzchen nicht der Fall, die den gleichen Bewegungen in der gleichen Umwelt passiv ausgesetzt waren. Craighero, Leo, Umiltà und Simion (2011) legen nahe, dass es bei Menschen einen Wahrnehmungsvorteil für die Kopplung von Handlung und Wahrnehmung gibt, der schon wirksam ist, bevor eigene Handlungen beginnen. Zwei Tage alte Neugeborene blickten bevorzugt auf Bewegungen, die hin zu einem Objekt verliefen. Im Experiment wurde variiert, ob (a) ein Objekt vorhanden war, (b) welche Richtung eine Armbewegung nahm und (c) welche Form die Hand annahm. Neugeborene schauten häufiger und länger auf Bewegungen, bei denen Form der Hand, Bewegungsrichtung und Objekt so zueinander passten, dass der Bewegung ein Ziel unterstellt werden konnte – sie also als Handlung interpretiert werden konnte.

Ein als Ideo-Motor-Theorie bezeichneter Bereich der Forschung zu menschlicher Handlungskontrolle bietet eine Antwort auf die Frage, wie wir die Fähigkeit erlangen, unsere Umwelt absichtlich zu beeinflussen: Wir beobachten die Effekte, die zufällige Bewegungen haben, und invertieren diese Beobachtungen. So legen beispielsweise Elsner und Hommel (2001) nahe, dass Menschen in einem zweischrittigen Ablauf die Fähigkeit zur intentionalen Beeinflussung der Umwelt ausbilden: Mangels Wissen darüber, zu welchen Veränderungen in der Umwelt eigene Bewegungen führen können, hat ein Baby anfangs kaum eine Grundlage, absichtlich Motorprogramme auszuwählen, die zu gewünschten Zielen führen. Es kann jedoch Bewegungen ohne Ziel ausführen und die Veränderung in der Umwelt beobachten. Das Zusammentreffen von Bewegungen (z. B. mit dem Bein strampeln) und Veränderungen in der Umwelt (z. B. ein Mobile bewegt sich) werden gespeichert. Die Assoziationen zwischen Motorprogramm und Umweltveränderung können dann in umgekehrter Richtung genutzt werden. Während

anfangs die Bewegung des Beines von der Wahrnehmung des sich bewegenden Mobiles gefolgt wurde, kann nun die *Vorstellung* des sich bewegenden Mobiles dazu führen, das Bein zu bewegen. Antizipierte Umweltveränderungen können dann also die Motorprogramme auslösen, die zu diesen Umweltveränderungen führen.

Experimentieren in der Psychologie

In der Psychologie gibt es selten Auseinandersetzungen darüber, was als Experiment gilt und was nicht. Seit langem sind der experimentelle und der korrelative Forschungsansatz mit den jeweiligen Stärken und Schwächen explizit gemacht und die geschickte Kombination der jeweiligen Stärken in einem Forschungsprogramm gilt als besonders erstrebenswert (Cronbach 1957). Bei einem Experiment werden Versuchsbedingungen willkürlich hergestellt. Das lässt sich bei vielen Forschungsfragen realisieren – aber nicht immer. So lässt sich beispielsweise nicht experimentell erforschen, ob bestimmte beobachtbare Verhaltensweisen von Probanden durch ihr Geschlecht determiniert sind, denn die Versuchsleiterin oder das Computerprogramm, das den Versuch steuert, kann niemanden nach Münzwurf willkürlich zur Frau oder zum Mann machen. Ein Versuch, bei dem zufällig variiert wird, ob zu beurteilende standardisierte Profile von BewerberInnen mit Frauen- oder Männernamen versehen werden, ist jedoch ein Experiment. Denn Versuchsleiterin oder Computerprogramm können nach Münzwurf willkürlich die zu beurteilende Bewerbung mit einem Männer- oder einem Frauennamen versehen. Das willkürliche Variieren der Versuchsbedingungen erlaubt es, bekannte und unbekannte Störeinflüsse unter Kontrolle zu halten. Da viele Alternativerklärungen für einen (vermeintlich) hochinteressanten Befund ausgeschlossen werden können, ist das Experiment ein besonders attraktives Forschungsinstrument. Dies sei verdeutlicht an einer Fragestellung, bei der experimentelles Vorgehen *nicht* möglich ist.

In Skandinavien wurden umfangreiche Datensätze erhoben, die es erlauben, die Anzahl der Monate, die eine Person als Baby an der Brust gestillt wurde, mit späterer Gesundheit, emotionaler Stabilität und Intelligenz in Beziehung zu setzen (z. B. Evenhouse/Reilly 2005). In diesen großen Datensätzen konnten gegen statistische Zufälle abgesicherte, positive Zusammenhänge ermittelt werden. Jeder zusätzliche Monat mit Muttermilch verheißt beispielsweise ein relevantes Plus an späteren IQ-Punkten. Einerseits bieten sich Erklärungsansätze an, die mit den langfristigen Folgen der frühen Hirnentwicklung operieren (die durch die Muttermilch

und/oder das Stillen an der Brust gefördert werden). Andererseits muss, da nicht per Münzwurf entschieden wurde, welches Kind wie lange gestillt wird, erwogen werden, ob der statistisch robuste Zusammenhang tatsächlich eine kausale Wirkung des Stillens belegt. Um alternative Erklärungsansätze zu testen, muss ein Weg gefunden werden, mögliche Störeinflüsse zu kontrollieren. Da es nicht möglich ist, Versuchsbedingungen willkürlich zu variieren, kommt es darauf an, die Art der Analyse der Daten so zu variieren, dass die Wirkung möglicher Störeinflüsse offenkundig werden kann (falls es sie denn gibt). Diesen Weg gingen unter anderem Evenhouse und Reilly (2005). Sie bestimmten einerseits den Zusammenhang zwischen Stilldauer und Indikatoren späterer positiver Entwicklung für alle Kinder im Datensatz – was die oben beschriebenen positiven Zusammenhänge belegte. Andererseits führten sie eine Analyse durch, bei der nur die Daten von Kindern genutzt wurden, die Geschwister haben. Es wurde für alle Familien mit mehreren Kindern *innerhalb* der Familie berechnet, inwiefern das länger gestillte Kind in einem höheren Maße die Indikatoren späterer positiver Entwicklung aufwies. Dies war nicht der Fall. Innerhalb der Familien gab es zwar zwischen den Kindern große Unterschiede in der Stilldauer, aber diese standen statistisch nicht in Zusammenhang mit den Indikatoren späterer positiver Entwicklung. Der positive Zusammenhang, den man in der Gesamtstichprobe robust gemessen hatte, war also nicht Ausdruck einer kausalen Wirkung von Stilldauer auf Gesundheit usw. Es war damit vermutlich nicht das Stillen selbst, das die positive Wirkung hatte, sondern andere und möglicherweise zahlreiche Merkmale der Familien, in denen länger gestillt wurde – denkbar wären beispielsweise ein hohes Bildungsniveau, großzügiger Wohnraum, geringe Lärmbelastung durch Straßenverkehr oder gesunde Ernährung, welche möglicherweise häufiger in Familien auftreten, in denen länger gestillt wird. Da derartige Variablen nicht erfasst worden waren, konnte darüber nur spekuliert werden, experimentell ließen sich die Zusammenhänge nicht testen.

Experimentelle Trainingsstudien

Das nächste Beispiel soll deutlich machen, dass das Experiment (wenn akzeptabel und ethisch vertretbar) bei bestimmten Fragestellungen eine Forschungsstrategie sein kann, die bekannte und unbekannte Störvariablen kontrolliert. Wenn es zwischen den Bedingungen des Experimentes statistisch robuste Unterschiede gibt, dann ist dies eine starke Evidenz dafür, dass die im

Experiment willkürlich vorgenommene Variation diese Unterschiede hervorgerufen hat.

Passend zu vorheriger Evidenz aus Studien mit Ratten, dass anregende Lernumgebungen das Hirnwachstum fördern können und dass der posteriore Hippocampus eine Hirnstruktur ist, die insbesondere für das Speichern von Episoden mit Bezug zu räumlicher Information relevant ist, konnten Maguire et al. (2000) berichten, dass Londoner Taxifahrer über einen größeren posterioren Hippocampus verfügen als Vergleichsprobanden gleichen Alters. Zudem war der posteriore Hippocampus umso größer, je länger die entsprechende Person schon Londoner Taxifahrer gewesen war, bevor die Größe der Hirnstrukturen mittels Magnetresonanztomografie gemessen worden war. Für dieses Ergebnis gibt es eine Reihe unterschiedlicher plausibler Interpretationen: (1) Das Taxifahren kann das entsprechende Hirnwachstum angeregt haben. (2) Personen mit großem posteriorem Hippocampus hatten eine höhere Wahrscheinlichkeit, Taxifahrer in London zu werden. (3) Personen mit großem posteriorem Hippocampus hatten eine höhere Wahrscheinlichkeit, Taxifahrer in London zu bleiben. Diese Erklärungsansätze schließen sich nicht gegenseitig aus. Mehrere können zutreffend sein.

Da nicht willkürlich bzw. zufällig entschieden worden war, wer Taxifahren in London – als potenzielles Training der für räumliche Orientierung relevanten Hirnstrukturen – auf sich nimmt, ist es nicht möglich, zwischen den oben genannten Erklärungsansätzen zu unterscheiden. Dies macht plausibel, warum unter erheblichem Aufwand kontrollierte experimentelle Trainingsstudien zur Frage des trainingsbedingten Hirnwachstums durchgeführt worden sind. So ließen Lövdén et al. (2012) 44 junge (20 bis 30 Jahre) und 47 ältere (60 bis 70 Jahre) Männer auf dem Laufband laufen. Innerhalb der Altersgruppen wurde für jede Person zufällig ausgewählt, ob sie nur Laufband lief oder gleichzeitig beim Laufen durch einen virtuellen Zoo navigierte. Ein mehrere Jahre dauerndes Training war nicht zumutbar. Es wurde 42 Mal (jeden zweiten Tag) für jeweils fünfzig Minuten im Labor gelaufen bzw. gelaufen und navigiert. Strukturelle Hirnmessungen vor und nach dem Training ergaben, dass in beiden Altersgruppen die in der Kontrollgruppe (Laufen ohne Navigieren) zu beobachtende Schrumpfung des Hippocampus in der Trainingsgruppe (Laufen mit Navigieren) vermieden wurde. Der auch in anderen Studien beobachtete Rückgang der Größe dieser Hirnstruktur mit dem Alter war in der Trainingsgruppe also ausgesetzt.

Das Lauf-/Navigationsexperiment kann als eine Übersetzung der Taxifahrerstudie in einen experimentellen Forschungsansatz

interpretiert werden. Kernmerkmal ist, dass zufällig zugewiesen wird, wer in die Trainings- und wer in die Kontrollgruppe kommt. Bei der Schilderung fällt zudem auf, dass auch die Kontrollgruppe mehr macht, als nur am Anfang und am Ende der Studie jeweils einen Hirnscan über sich ergehen zu lassen. Teilnehmer der Experimental- und Kontrollgruppe kamen gleich oft und in gleichen Abständen ins gleiche Labor, interagierten mit den gleichen VersuchsleiterInnen und liefen in gleicher Geschwindigkeit auf dem gleichen Laufband. In diesem wie auch in anderen Experimenten wurde versucht, zwischen den Bedingungen möglichst nur den einen wirklich interessierenden Unterschied (Laufen mit oder ohne Navigationstraining) herzustellen und alle anderen Merkmale möglichst gleich zu lassen. Wenn die Teilnehmer der Kontrollgruppe nicht regelmäßig ins Labor gekommen wären, hätte ein möglicher Unterschied in der Entwicklung der Größe der Hirnstrukturen beispielsweise der Aktivierung und Strukturierung zugerechnet werden können, die mit regelmäßigen Besuchen im Forschungslabor verbunden sind – statt durch das Navigationstraining verursacht worden zu sein. Der besonders hohe Aufwand, der bei experimentellen Trainingsstudien betrieben wird, macht es verständlich, dass in diesem Forschungsfeld besonders intensiv über methodische Kniffe diskutiert wird, die es erlauben, experimentelle Studien so zu planen, dass bei der Analyse und Interpretation der Ergebnisse die theoretisch relevanten Erklärungen im Vordergrund stehen können, weil die meisten weniger interessanten Alternativinterpretationen methodisch ausgeschlossen werden (Green et al. 2014).

Der Kontrolle von Störeinflüssen sind bei experimentellen Trainingsstudien jedoch Grenzen gesetzt. Während man beispielsweise recht einfach sicherstellen kann, dass die Personen, welche vor und nach dem Training die Hirn- oder Leistungsmessungen durchführen, nicht wissen, welche Person in der Trainings- und welche Person in der Kontrollgruppe ist, lässt sich meist nicht sicherstellen, dass die Personen, die das Training begleiten, blind hinsichtlich der Frage sind, ob sie gerade die Aktivitäten einer Person der Experimental- oder der Kontrollgruppe koordinieren. Es ist denkbar, dass die Personen der Experimentalgruppe sich im Labor munteren bzw. stärker aufmunternden VersuchsleiterInnen gegenüber sehen. Obwohl nicht als Kernvariable des Trainings konzeptualisiert, kann die Erwartung der VersuchsleiterInnen den Trainingserfolg beeinflussen. Selbst die Erwartungen von VersuchsleiterInnen hinsichtlich der Trainingsleistung von Ratten können deren Leistungszuwachs beeinflussen (Rosenthal/Fode 1963).

Die Stunde am Computer

Experimentelle Trainingsstudien stellen ein Extrem dar, was die Anzahl der Stunden angeht, die Teilnehmende über Tage und Wochen hinweg im Labor verbringen. Viele andere Experimente im Labor nehmen nur zwischen einer halben und anderthalb Stunden in Anspruch. In diesen Zeitumfang passen nicht nur das Lesen, Besprechen und Quittieren der schriftlichen Teilnehmendeninformation, mit der sichergestellt wird, dass Teilnehmende über die Inhalte und Anforderungen des Experimentes so weit informiert sind, dass sie tatsächlich (schriftlich) in die Teilnahme einwilligen können. Auch die Bearbeitung der eigentlichen Experimentalaufgabe am Computer wird innerhalb dieses Zeitrahmens absolviert. Für die Teilnahme wird in der Regel eine kleine Aufwandsentschädigung gezahlt, die beispielsweise die Reisekosten mit dem öffentlichen Nahverkehr kompensieren soll.

Teilnehmende bearbeiten im Experiment eine ihnen am Computer schriftlich erläuterte Aufgabe, damit klar gefasst werden kann, wobei und worin die Variation von Bedingungen stattgefunden hat. Spontanes Verhalten in einer wenig strukturierten Situation könnte hingegen kaum daraufhin untersucht werden, ob eine experimentelle Variation einen Einfluss auf Verhalten hat. Der Computer steuert die Erfassung, welche Antworten in der Aufgabe wie schnell gegeben wurden, und gibt Rückmeldungen. Antworten können beispielsweise im Sprechen einzelner Wörter, im Drücken von Tasten auf der Tastatur, in Mausbewegungen oder im Anschauen von spezifischen Regionen des Bildschirms bestehen (wobei die Blickposition mit Infrarotkamera und Bildverarbeitung ermittelt wird). Computer erleichtern es zudem, dass die Personen, die unterschiedliche Bedingungen im Experiment durchlaufen, hinsichtlich Instruktion, Pausen und Rückmeldungen exakt die gleichen Bedingungen erleben – mit Ausnahme der experimentellen Variation. Die Teilnehmenden werden zwar anfangs von der Versuchsleiterin oder vom Versuchsleiter begrüßt und über das Experiment aufgeklärt. Die Versuchsleitenden wissen bzw. beobachten jedoch nicht, welche spezifische Bedingung im Experiment einer Person vom Computer zugewiesen wird. Dadurch wird vermieden, dass Wissen bzw. Erwartungen über den Forschungsgegenstand verbal oder über die Mimik transportiert werden.

Im Folgenden soll ein Beispiel für ein Experiment knapp erläutert werden, bei dem sich die Behandlung der Teilnehmenden der beiden Experimentalbedingungen nur in einem kleinen Detail unterschied. Dies erleichterte es zu schlussfolgern, dass tatsächlich das variierte Detail ausschlaggebend für die Unterschiede in den

Messungen in den beiden Gruppen war. In der Publikation von Gaschler, Frensch, Cohen und Wenke (2012) sind eine Reihe von Experimenten vorgestellt, bei denen jeweils lediglich ein Aspekt bei der *Beschreibung* der Aufgabe zwischen den beiden Experimentalbedingungen variiert wurde. Bevor dieser Aspekt benannt wird, sollen die anderen relevanten Anforderungen und Abläufe knapp verdeutlicht werden. Es handelte sich um eine sehr einfache Aufgabe mit sehr schnellen Antworten. Gemessen wurde die Geschwindigkeit, mit der die passende Antworttaste zum gezeigten Bild gedrückt wurde. In jedem von mehreren hundert Durchgängen wurde eines von vier möglichen Bildern gezeigt und es sollte die passende von vier möglichen Antworttasten gedrückt werden (siehe Abb. 1). Bei den vier verschiedenen Bildern handelte es sich um in Grau dargestellte Formen.

Während den Teilnehmenden vorher korrekt erläutert worden war, dass erforscht würde, wie die Bearbeitung einer einfachen Aufgabe durch Übung schneller und genauer wird, wurde ein Aspekt nicht detailliert ausgeführt: Die Reihenfolge der Bilder auf dem Bildschirm und damit auch die Reihenfolge der Antworttasten war nicht zufällig, sondern vorhersagbar. Aus den Reaktionszeiten konnte erschlossen werden, ob Personen unabsichtlich und unwissentlich Wissen über diese Reihenfolge erwarben: Tatsächlich wurden die Antworttasten dann schneller betätigt, wenn die vorhersagbare Reihenfolge eingehalten als wenn sie durchbrochen wurde. Während im ersten Teil des Experiments festgestellt werden konnte, dass Wissen über die vorhersagbare Reihenfolge erworben worden war, zielte der zweite Teil des Experiments darauf ab zu prüfen, worin dieses Wissen genau bestand. Wie im ersten Teil des Experiments gab es auch im zweiten Teil vier jeweils mit einem Farbaufkleber beklebte Antworttasten. Die Position der Tasten war jedoch vertauscht. Wer im ersten Teil gelernt hatte, in welcher Reihenfolge welcher Finger zu betätigen war, konnte dieses Wissen im zweiten Teil daher nicht nutzen. Auch wer im ersten Teil eine Reihenfolge von Antwortpositionen erlernt hatte, konnte daraus im zweiten Teil keinen Geschwindigkeitsvorteil ziehen. Lediglich Wissen über die Reihenfolge der Antwortfarben ließ sich vom ersten in den zweiten Teil des Experimentes transferieren und führte zu schnelleren Antworten, wenn die im ersten Teil geübte Antwort-Farben-Reihenfolge eingehalten wurde, als wenn sie durchbrochen wurde.

Die experimentelle Variation bestand nun darin, ob die Zuordnung der vier Bilder zu den vier farbig beklebten Tasten anhand der Position der Taste erklärt wurde (z. B. „wenn eine Raute zu sehen

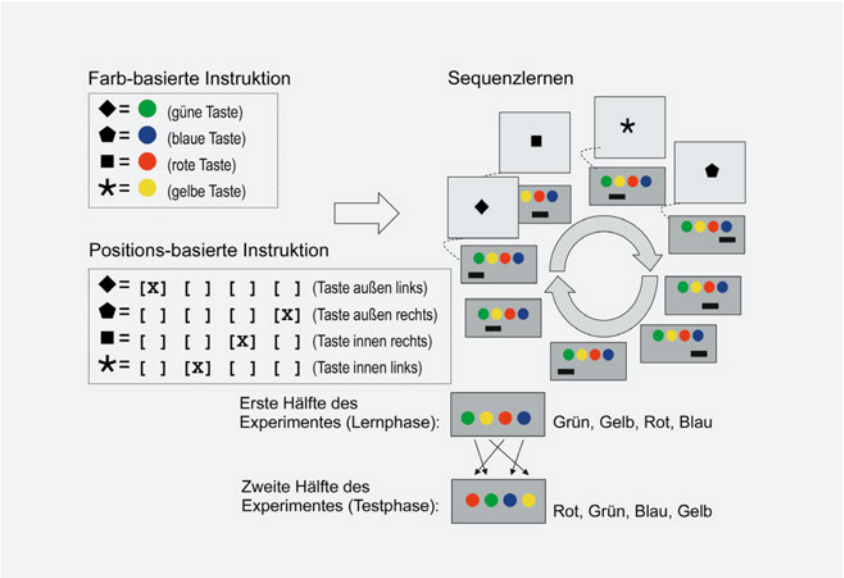


Abb. 1. Schematische Darstellung der Variation der Instruktion sowie Sequenzlernen und Test der Art des Sequenzwissens in Gaschler et al. (2012).

ist, die Taste außen links drücken“) oder anhand der Farbe der Taste (z. B. „wenn eine Raute zu sehen ist, die grüne Taste drücken“). In den beiden Bedingungen des Experimentes wurden die exakt gleichen Bilder in der exakt gleichen Reihenfolge gezeigt und es wurden als Antworten die gleichen farbig beklebten Tasten gedrückt. Die experimentelle Variation bestand also lediglich darin, ob am Anfang des Experiments die Zuordnung der Bilder zu den Tasten entweder anhand der Position oder anhand der Farbe der Tasten erläutert worden war. Tatsächlich konnte durch die Messung im zweiten Teil des Experiments festgestellt werden, dass die Personen, die am Anfang von vielen hundert Durchgängen eine Farbinstruktion erhalten hatten, unabsichtlich und unwissentlich eine Reihenfolge von Antwortfarben erlernt hatten. Die Personen, die eine positionsbasierte Instruktion erhalten hatten, erlernten nur die Reihenfolge der Antwortpositionen.

Die Teilnehmenden wurden im Anschluss an das Experiment noch detaillierter darüber informiert, wodurch genau sich mögliche übungsbedingte Gewinne in der Bearbeitungsgeschwindigkeit ergeben konnten. Sie wurden zudem gebeten, die Reihenfolge anzugeben, die erlernt werden konnte (bzw. zu raten, falls ihnen

dazu nichts einfiel). Die angegebenen Reihenfolgen wurden mit den tatsächlich geübten Reihenfolgen abgeglichen. Es wurde berechnet, inwiefern die aufgetretene Überlappung durch Zufallstreffer erklärt werden konnte. Dabei wurde deutlich, dass kaum oder kein verbal verfügbares Wissen über die Reihenfolgen vorhanden war. Dies wurde als Beleg dafür interpretiert, dass das Erlernen der Reihenfolge nicht nur unabsichtlich und unwissentlich stattgefunden hatte, sondern dass den Teilnehmenden auch nicht bewusst geworden war, dass und was sie gelernt hatten.

Dieser Ansatz wurde in der publizierten Studie in mehreren Experimenten wiederholt, wobei die Art der zu erlernenden Reihenfolge und die Gestaltung des Messverfahrens in der zweiten Hälfte des Experimentes von Experiment zu Experiment geändert wurden. Dadurch wurde deutlich, dass das Ergebnis replizierbar ist (es sich also nicht um einen Zufallsfund handelt) und dass es robust auftritt, wenn Details variiert werden. Die Ergebnisse der Experimente waren hilfreich, um stärker einzugrenzen, welche Rolle Aufmerksamkeit beim unabsichtlichen und unwissentlichen Lernen spielt. Während einige Theorien annahmen, dass derartiges Lernen vielfältige Details und Merkmale gleichzeitig erfasst, waren andere Theorien davon ausgegangen, dass unabsichtliches Lernen ein Nebenprodukt der Aufgabenbearbeitung ist und genau die Merkmale von Material und Reaktionen erfasst, die zur Bearbeitung der Aufgabe beachtet werden. Die Art, wie man sich eine Aufgabe merkt, bestimmt danach die Bearbeitung und auch das unabsichtliche Lernen. Wenn Aufmerksamkeit auf die Farbe der Tasten gelenkt wird und man eine „die zum Symbol zugeordnete Farbe drücken“-Aufgabe ausführt, wird eine Reihenfolge von Antwortfarben erlernt. Wenn die Instruktion nahelegt, dass man eine „die zum Symbol zugeordnete Position drücken“-Aufgabe ausführt, wird keine Reihenfolge von Antwortfarben gelernt. Als persönliche Anmerkung sei hier noch hinzugefügt, dass ich zwar vor Beginn der Experimente aus den theoretischen Vorarbeiten eine entsprechende Vorhersage ableiten konnte, es aber schwer vorstellbar fand, dass Instruktionen selbst bei derart einfach gestalteten Aufgaben mit redundanten Merkmalen eine hinreichend starke und langfristige Wirkung darauf entfalten könnten, auf welche Weise die Teilnehmenden das Lösen der Aufgabe erlernen würden.

Schluss

Der Beitrag hat an Beispielen behandelt, dass Menschen (und höher entwickelte Tiere) systematisch Einfluss auf ihre Umwelt nehmen, um dadurch Wissen darüber zu erlangen, wie Veränderungen in

dieser Umwelt vorhergesagt, erzeugt und kontrolliert werden können. Während die Psychologie einerseits Methoden dazu entwickelt hat, wie sich Erleben und Verhalten von Menschen experimentell erforschen lassen, liefert sie andererseits auch Wissen über die Kopplung von Wahrnehmung und Handlung als Grundlage des Experimentierens selbst.

Literatur

- Blaisdell, Aaron P. (2008): „Cognitive dimension of operant learning“, in: Roediger, Henry L. III (Hg.): *Cognitive Psychology of Memory*. Vol. 2 of *Learning and Memory: A Comprehensive Reference*, 4 vols. (hg. v. J. Byrne). Oxford: Elsevier, S. 173–195.
- Craighero, Laila; Leo, Irene; Umiltà, Carlo und Simion, Francesca (2011): „Newborns' preference for goal-directed actions“, in: *Cognition*, Vol. 120 (1), S. 26–32.
- Cronbach, Lee J. (1957): „The two disciplines of scientific psychology“, in: *American Psychologist*, Vol. 12, S. 671–684. <http://psychclassics.yorku.ca/Cronbach/Disciplines/> (zuletzt aufgerufen: 19.10.2018).
- DeLoache, Judy S. (2004): „Becoming symbol-minded“, in: *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 8, S. 66–70.
- Elsner, Birgit und Hommel, Bernhard (2001): „Effect anticipation and action control“, in: *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol. 27 (1), S. 229–240.
- Evenhouse, Eirik und Reilly, Siobhan (2005): „Improved estimates of the benefits of breastfeeding using sibling comparisons to reduce selection bias“, in: *Health Services Research*, Vol. 40 (6), S. 1781–1802.
- Gaschler, Robert; Frensch, Peter A.; Cohen, Asher und Wenke, Dorit (2012): „Implicit sequence learning based on instructed task set“, in: *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, Vol. 38, S. 1389–1407.
- Gaschler, Robert; Katz, Dov; Grund, Marti; Frensch, Peter A. und Brock, Oliver (2012): „Intelligent object exploration“, in: Mautua, Inaki (Hg.): *Human machine interaction*. *Intech*, S. 235–260. www.intechopen.com/articles/show/title/intelligent-object-exploration (zuletzt aufgerufen: 19.10.2018).
- Green, Shawn C.; Strobach, Tilo und Schubert, Torsten (2014): „Methodological standards in training and transfer experiments“, in: *Psychological Research*, Vol. 78 (6), S. 756–772.
- Held, Richard und Hein, Alan (1963): „Movement-produced stimulation in the development of visually guided behavior“, in: *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, Vol. 56, S. 872–876.
- Lövdén, Martin; Schaefer, Sabine; Noack, Hannes; Bodammer, Nils Christian; Kühn, Simone; Heinze, Hans-Jochen; Düzel, Emrah; Bäckman, Lars und Lindenberger, Ulman (2012): „Spatial navigation training protects the hippocampus against age-related changes during early and late adulthood“, in: *Neurobiology of Aging*, Vol. 33, S. 620.e9–620.e22.
- Maguire, Eleanor A.; Gadian, David G.; Johnsrude, Ingrid S.; Good, Catriona D.; Ashburner, John; Frackowiak, Richard S. J. und Frith, Christopher D. (2000): „Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers“, in: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 97(8), S. 4398–4403.
- Rosenthal, Robert und Fode, Kermit L. (1963): „The effect of experimenter bias on the performance of the albino rat“, in: *Behavioral Science*, Vol. 8, S. 183–189.
- Tolman, Edward C. (1948). „Cognitive maps in rats and men“, in: *Psychological Review*, Vol. 55 (4), S. 189–208. <https://psychclassics.yorku.ca/Tolman/Maps/maps.htm> (zuletzt aufgerufen: 19.10.2018).

Jesse Josua Benjamin ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Human-Centered Computing Forschungsgruppe der Freien Universität Berlin und Doktorand in Technikphilosophie an der University of Twente. In seiner Forschung untersucht er die Hermeneutik, Ästhetik und Epistemologie von Mensch-Technologie-Relationen mit besonderem Fokus auf neuartigen Interaktionen mit algorithmischen Systemen. Als Gestalter bedeutet dies für ihn die Erforschung der Interpretation von konkreten Technologien in situierten Szenarien.

Gunhild Berg (Dr.) ist Leiterin des Projekts [D-3] Deutsch Didaktik Digital an der Universität Halle-Wittenberg. Nach ihrer Promotion im Fach Neuere deutsche Literaturwissenschaft lehrte und forschte sie mit diversen Stipendien und Drittmittelprojekten zur Schnittstelle von Medien und Wissen(schaften) u. a. an den Universitäten Halle, Konstanz, Innsbruck und Wisconsin-Madison (USA) sowie am Zentrum für Literatur- und Kulturforschung Berlin, am Deutschen Museum München und am Studienzentrum der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina.

Elke Bippus (Dr.) ist seit 2006 Professorin für Kunsttheorie und -geschichte an der Zürcher Hochschule der Künste. Ihre Forschungsschwerpunkte liegen auf der Kunst der Moderne und der Gegenwart, Bild- und Repräsentationstheorien, künstlerischen Produktions- und Verfahrensweisen, Kunst als epistemischer Praxis sowie Politik und Ästhetik. Ein aktuelles Forschungsprojekt ist *Teilhabende Kritik als transformierendes und transversales „Mit“*, ein Teilprojekt der Forschergruppe Mediale Teilhabe. Partizipation zwischen Anspruch und Inanspruchnahme.

Claus Bossen (Dr.) ist Associate Professor an der Universität Aarhus. Nach einem Studium der Anthropologie forscht er heute zu sozio-technischen Praktiken mit einem besonderen Fokus auf IT im Gesundheitssektor. Dies umfasst die Aspekte, wie die IT gestaltet, entwickelt und implementiert wird, und zugleich die optimale Anpassung der Praktiken durch die Einbindung der EndnutzerInnen und InteressenvertreterInnen. Seine Forschung bezieht sich auf die Science Technology Studies, partizipatives Design, Computer Supported Cooperative Work und medizinische Informatik. Ein aktuelles Projekt thematisiert die Datenverarbeitung im Gesundheitswesen.

Peter Danholt (Dr.) ist Associate Professor für Information Studies an der Universität Aarhus. Seine Forschung beschäftigt sich mit transformativen Aspekten von Wissenschaft und Technologie im Gesundheitswesen und in Organisationen, im Design und dem Alltagsleben. Seine Forschung bezieht sich theoretisch und methodologisch auf die Science Technology Studies (STS), auf Feminismus, Poststrukturalismus und Akteur-Netzwerk-Theorie. Peter Danholt ist stellvertretender Vorsitzender der dänischen Vereinigung für STS (DASTS), Chefredakteur der *STS Encounters* und Leiter des Zentrums für STS-Studien, Universität Aarhus.

Oliver Demuth ist wissenschaftlicher Illustrator und Forscher. Zurzeit absolviert er den Masterstudiengang Palaeobiology an der University of Bristol. Im Sommer 2017 hat er das dreijährige Gestaltungsstudium in Scientific Visualization an der Zürcher Hochschule der Künste abgeschlossen. Nach dem erfolgreichen Abschluss hat er sich auf die Visualisierung komplexer wissenschaftlicher Sachverhalte spezialisiert. Seit Januar 2018 ist er als selbständiger wissenschaftlicher Illustrator tätig.

Robert Matthias Erdbeer (Dr.) wurde an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster mit einer Arbeit zur ‚Poetik der Modelle‘ habilitiert und ist dort als Principal Investigator des von der Volkswagenstiftung geförderten Forschungsprojekts *Literary Modelling and Energy Transition* tätig. Er ist Kovorsitzender der Gesellschaft für Modellforschung (GFMF) am Hermann von Helmholtz-Zentrum für Kulturtechnik der Humboldt-Universität zu Berlin. Seine literatur-, medien- und wissenschaftshistorischen Forschungen umfassen Arbeiten zur literarischen Form, zur Spieltheorie und zur Ästhetik der Parawissenschaft.

Ignacio Fariás (Dr.) ist Professor für Stadtanthropologie am Institut für Europäische Ethnologie der Humboldt-Universität zu Berlin und Mitglied des Georg-Simmel-Zentrums für Metropolenforschung der Humboldt-Universität zu Berlin. Seine Forschungsinteressen gelten den ökologischen und infrastrukturellen Transformationen zeitgenössischer Städte und damit verbundenen politischen und demokratischen Herausforderungen.

Robert Gaschler (Dr.) ist nach Studium, Promotion und Postdoc-Phase am Lehrstuhl für Allgemeine Psychologie an der Humboldt-Universität Berlin, Mitarbeit im Projekt Experiment und Beobachtung des Exzellenzclusters *Bild Wissen Gestaltung* der Humboldt-Universität zu Berlin und Juniorprofessor für Allgemeine Psychologie – Lernen, Motivation, Emotion an der Universität Koblenz-Landau seit April 2015 mit gleicher Denomination Professor an der FernUniversität in Hagen. Er nutzt und unterrichtet experimentelle Psychologie.

Kerstin Germer (Dr.) ist Literaturwissenschaftlerin und war von 2015 bis 2018 Editorische Koordinatorin des Exzellenzclusters *Bild Wissen Gestaltung* der Humboldt-Universität zu Berlin. Nach der Promotion und einem Volontariat beim Verlag C.H. Beck in München hat sie bis zu ihrem Wechsel zum Interdisziplinären Labor in Großbritannien gelebt und gearbeitet, wo sie unter anderem für das Goethe-Institut London und den internationalen Wissenschaftsverlag John Wiley & Sons in Oxford tätig war. Ab 2019 wird sie den Bereich Forschungsdatenmanagement und Publikationen des Exzellenzclusters *Matters of Activity* verantworten.

Juliane Haus studierte Soziologie mit technikwissenschaftlicher Richtung an der Technischen Universität Berlin. Derzeit ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Universität Bielefeld und Gast in der Abteilung Wissenschaftspolitik am Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (WZB). Ihre Forschungsinteressen liegen insbesondere im Bereich der Wissenssoziologie, Wissenschaftsethnografie, qualitativen Sozialforschung und der Methodenentwicklung.

Regine Hengge (Dr.) studierte Biologie und promovierte an der Universität Konstanz, an die sie nach einer Postdoc-Forschungszeit an der Princeton University (NJ, USA) zur Habilitation in Mikrobiologie und Molekularer Genetik zurückkehrte. Von 1998 bis 2013 war sie Professorin an der Freien Universität Berlin, seit 2013 an der Humboldt-Universität zu Berlin. Für ihre Forschung zu Stressresistenz und Biofilmbildung bei Bakterien erhielt sie u. a. den Gottfried-Wilhelm-Leibniz-Preis der DFG und einen ERC Advanced Investigator Grant. Sie ist gewähltes Mitglied der Leopoldina, der BBAW sowie von EMBO.

Carolin Höfler (Dr.) ist Professorin für Designtheorie und -forschung an der Köln International School of Design der Technischen Hochschule Köln und seit 2018 Sprecherin der Forschungsstelle *Echtzeitstadt*. Sie studierte Kunstgeschichte, Neuere Deutsche Literatur und Theaterwissenschaft sowie Architektur an den Universitäten in Köln, Wien und Berlin. 2009 promovierte sie mit der Arbeit *Form und Zeit. Computerbasiertes Entwerfen in der Architektur* am Institut für Kunst- und Bildgeschichte der Humboldt-Universität zu Berlin. Bis 2013 lehrte und forschte sie am Institut für Mediales Entwerfen der Technischen Universität Braunschweig.

Christian Kassung (Dr.) ist seit 2006 Professor für Kulturtechniken und Wissensgeschichte an der Humboldt-Universität zu Berlin. Kassung ist Vizedirektor des Hermann von Helmholtz-Zentrums für Kulturtechnik und Principal Investigator am Exzellenzcluster *Matters of Activity*. Im Wintersemester 2016/17 war er Fellow der Kollegforschergruppe MECS *Medienkulturen der Computersimulation* der Leuphana Universität Lüneburg. Seit 2018 ist er Dekan der Kultur-, Sozial- und Bildungswissenschaftlichen Fakultät der Humboldt-Universität.

Einav Katan-Schmid (Dr.) ist eine der Hauptvertreterinnen des internationalen Netzwerks *Performance Philosophy* und Mitglied der Redaktion von *Studies in Dance History*, einer Buchreihe der University of Michigan Press und der Dance Studies Association. Außerdem ist sie Mitbegründerin von *Mo.Ré*, eines Kollektivs für Bewegungsforschung. Von 2015 bis 2018 war sie Postdoc am Exzellenzcluster *Bild Wissen Gestaltung* der Humboldt-Universität zu Berlin. Sie forscht und publiziert zu der Schnittstelle zwischen Tanztechniken und der Philosophie der Wahrnehmung, Ästhetik und Hermeneutik.

Morten Bonde Klausen (Dr.) ist Senior Analyst am Danish Centre for Applied Social Sciences. Er studierte Information Studies und bezieht theoretische Inspiration aus den Science Technology Studies (STS). Seine Forschung fokussiert sich auf Organisation, Governance, Qualitätsverbesserung und sektorübergreifende Zusammenarbeit im Gesundheitswesen unter Verwendung qualitativer Methoden. Besonders interessiert ihn, wie Praktiker aus dem Gesundheitswesen an Regierungsreformen teilnehmen und wie Digitalisierung und der gesteigerte Fokus auf Daten die Praktiken im Gesundheitswesen transformieren.

Norbert Koch (Dr.) studierte an der Technischen Universität Graz und promovierte ebendort in Festkörperphysik. Als Postdoktorand erforschte er organische Halbleiter an der Princeton University und der Humboldt-Universität zu Berlin, wo er auch als Nachwuchsgruppenleiter tätig war. Seit 2009 ist er Professor am Institut für Physik der Humboldt-Universität und leitet eine Forschergruppe am Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie. Er erforscht elektronische Materialien, um sie für Anwendungen nutzbar zu machen.

Claudia Mareis (Dr.) ist Professorin für Designtheorie und -forschung an der Hochschule für Gestaltung und Kunst FHNW Basel und Principal Investigator am Exzellenzcluster *Bild Wissen Gestaltung* der Humboldt-Universität zu Berlin. Ihre Arbeitsschwerpunkte liegen auf Kreativitätsmethoden im 20. Jahrhundert und Design als Wissenskultur. Ihre Publikationen widmen sich u. a. den Wissenskulturen (des) Design.

Séverine Marguin (Dr.) ist wissenschaftliche Mitarbeiterin (Postdoc) und Leiterin des Methodenlabs im Sonderforschungsbereich 1265 *Re-Figuration von Räumen* der Technischen Universität Berlin. Nach ihrer Promotion über Künstlerkollektive in Paris und Berlin arbeitete sie am Exzellenzcluster *Bild Wissen Gestaltung* der Humboldt-Universität zu Berlin im Forschungsprojekt *ArchitekturenExperimente*. Ihre aktuellen Arbeitsschwerpunkte sind Wissenschaftsforschung, Kollektivität, Interdisziplinarität, visuelle Untersuchungsmethoden und Experimentalisierung.

Lea Moro (Choreografin, Tänzerin) studierte an der Scuola Teatro Dimitri (Schweiz), dem LABAN Centre London und dem HZT (Hochschulübergreifendes Zentrum Tanz) Berlin. Sie kreierte die Solochoreografien *Le Sacre du Printemps, a ballet for a single body* (2013/14) und *The End of the Alphabet* (2016) sowie die Gruppenstücke *(b)reaching stillness* (2015) und *FUN!* (2017). 2018 erhielt Moro den Förderpreis des Kantons Zürich. Moro ist Gründungsmitglied des AckerFestivals Berlin (2013/14).

Susanne Muth (Dr.) ist Professorin für Klassische Archäologie an der Humboldt-Universität zu Berlin und Principal Investigator am Exzellenzcluster *Bild Wissen Gestaltung*. Ihre Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der antiken Bilderkulturen, der römischen Urbanistik, der (spät-)antiken Wohnkultur sowie der Transformationen der Antike in der Nachantike. Ein aktuelles Projekt gilt der digitalen Rekonstruktion des antiken Forum Romanum in Rom als Experimentierfeld für

den Einsatz digitaler Medien als Instrument der historischen Raumforschung.

Claudia Müller-Birn (Dr.) leitet die Forschungsgruppe Human-Centered Computing am Institut für Informatik der Freien Universität Berlin und ist Principal Investigator am Exzellenzcluster *Bild Wissen Gestaltung* der Humboldt-Universität zu Berlin. In ihrer interdisziplinären Forschung fokussiert sie auf Interactive Intelligent Systems. Ihre Arbeit verbindet die ingenieurwissenschaftliche mit der empirischen Dimension, um zu einem wertorientierten soziotechnischen Systemdesign beizutragen. Neben ihrer Forschung setzt sie sich für die Prinzipien einer Offenen Wissenschaft ein.

John A. Nyakatura (Dr.) ist Juniorprofessor für Morphologie (Zoologie) und Formengeschichte an der Humboldt-Universität zu Berlin. Er studierte Geografie und Biologie an der Friedrich-Schiller-Universität in Jena und hat dort am Institut für Zoologie und Evolutionsforschung über ein funktionsmorphologisches Thema promoviert. Sein aktuelles Forschungsthema sind Struktur-Funktionszusammenhänge des Bewegungsapparates der Wirbeltiere und deren Veränderungen im Laufe der Evolution, wobei er mit PaläontologInnen und IngenieurInnen (bioinspirierte Robotik) zusammenarbeitet.

Jörg Petruschat (Dr.) entwickelt Theorien zum Design, studierte Ästhetik, Kultur- und Kunstwissenschaften an der Humboldt-Universität zu Berlin, war lange Zeit Herausgeber der Zeitschrift *form+zweck*, begann als Professor für Kultur- und Zivilisationstheorie sowie für Geschichte der Gestaltung in Dresden, ist seit 2014 Professor für Theorie und Geschichte des Designs an der weißensee kunsthochschule berlin mit dem Schwerpunkt practice-based research, initiierte und leitet dort den Forschungskreis *Erkenntnis im Design und in den Künsten*.

Henrike Rabe ist Architektin und Doktorandin am Laboratory for Integrative Architecture an der Technischen Universität Berlin. Sie hat in Berlin und Toulouse Architektur studiert und bei Brissac Gonzalez (London) und bei Kazuhiro Kojima+Kazuko Akamatsu/CAT (Tokio) gearbeitet und u. a. Bibliotheken, Universitäten, Schulen und Museen geplant. Am Exzellenzcluster *Bild Wissen Gestaltung* der Humboldt-Universität zu Berlin hat sie empirisch und historisch zu den Räumen und Praktiken des Wissens sowie zum Experiment zwischen Wissenschaft und Gestaltung geforscht.

Hans-Jörg Rheinberger (Dr.) ist Direktor emeritus am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte in Berlin. Er arbeitet zur Geschichte der Lebenswissenschaften, zur Epistemologie und Geschichte des Experiments wie auch zum Verhältnis von Wissenschaft und Kunst. Einige seiner zahlreichen Veröffentlichungen widmen sich aus wissenschaftsgeschichtlicher Perspektive zentralen Konzepten der Wissenschaft wie Epistemologie oder Experiment.

Kerstin Sailer (Dr.) ist Associate Professor in Social and Spatial Networks an der Bartlett School of Architecture am Londoner University College. Sie hat in München, Hannover und Prag Architektur studiert und ihre Promotion an der Technischen Universität Dresden zum Thema *The Space Organisation Relationship* angefertigt. In ihrer Forschung betrachtet sie Architektur als soziale Tatsache und ergründet Nutzungsprozesse, Sozialverhalten und Raumstrukturen mit einem Schwerpunkt auf Arbeitsplatzgestaltung, Bürogebäuden, Krankenhäusern, Laborbauten und Schulen.

Tomás Sánchez Criado (Dr.) ist wissenschaftlicher Mitarbeiter (Postdoc) an der Humboldt-Universität zu Berlin am Institut für Europäische Ethnologie. Seine Interessen liegen an der Schnittstelle von Anthropologie und Science Technology Studies (STS) mit dem spezifischen Fokus auf technischer Demokratie von urbanen Infrastrukturen. Seit einiger Zeit erforscht er neue Formen des Aktivismus rund um Inclusive Design und experimentiert mit der Erstellung ethnografisch kollaborativer Dispositive in diesem Forschungsfeld.

Christiane Sauer ist Architektin und seit 2013 Professorin für Material und Entwurf an der weißensee kunsthochschule berlin. Dort leitet sie u. a. den Forschungsbereich DXM – Design und Experimentelle Materialforschung und ist als Prorektorin für Vernetzung und Wissenstransfer tätig. Als Spezialistin für Materialentwicklungen im architektonischen Kontext verbindet sie Praxis, Lehre und Forschung. Ihr Interesse liegt insbesondere auf Textil als dreidimensionaler Konstruktion und auf funktionalen Flächen. Sie ist Principal Investigator am Exzellenzcluster *Matters of Activity* der Humboldt-Universität zu Berlin.

Wolfgang Schäffner (Dr.), Wissenschafts- und Medienhistoriker, ist Professor für Wissens- und Kulturgeschichte an der Humboldt-Universität zu Berlin. Als Sprecher des Exzellenzclusters *Matters of Activity* und als Direktor des Hermann von Helmholtz-Zentrums für Kulturtechnik ist er verantwortlich für das Humboldt Labor der Humboldt-Universität zu Berlin im Humboldt Forum. Seit 2005 ist er Profesor invitado permanente und Direktor des Walter-Gropius-Forschungsprogramms an der Universidad de Buenos Aires sowie Leiter des deutsch-argentinischen Masterprogramms Open Design.

Friedrich Schmidgall ist Interaction Designer und Leiter des Open Labs sowie Referent für Interdisziplinarität am Einstein Center Digital Future der Technischen Universität Berlin. Am Exzellenzcluster *Bild Wissen Gestaltung* der Humboldt-Universität zu Berlin hat er in den Projekten *ArchitekturenExperimente* und *Architekturen des Wissens* den Einfluss physischer und digitaler Raumkonfigurationen auf interdisziplinäre Arbeit erforscht.

Matthias Staudacher (Dr.) promovierte in Physik an der University of Illinois at Urbana-Champaign. Nach Postdocstellen an der Rutgers University in New Jersey, der École Normale Supérieure in Paris und dem CERN in Genf wurde er Forschungsgruppenleiter am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik in Potsdam. Seit 2010 ist er Professor für Mathematische Physik von Raum, Zeit und Materie an der Humboldt-Universität zu Berlin. Sein Arbeitsgebiet ist die „Theorie von Allem“.

Reinhard Wendler (Dr.) ist Kunsthistoriker. Er ist Postdoc am Department of Biomedical Engineering der Universität Basel und einer von zwei Vorständen der Gesellschaft für Modellforschung am Hermann von Helmholtz-Zentrum für Kulturtechnik der Humboldt-Universität zu Berlin. Seine Publikationen behandeln die Charakteristika visueller Kompetenzen, die Geschichte und Theorie wissenschaftlicher, künstlerischer und entwerfender Modelle und das pandisziplinäre Phänomen der Skalierungseffekte.

Séverine Marguin, Henrike Rabe, Wolfgang Schäffner und Friedrich Schmidgall:
Einleitung

Abb. 1: Grafik © Henrike Rabe, Wolfgang Schäffner

Elke Bippus:
Experimentieren im Feld der Kunst als Praxis im Offenen

Abb. 1: Buchseiten aus: Brian Wallis (Hg.) (1990): *Demonstracy. A Project by Group Material*. Seattle: Bay Press and New York: Dia Art Foundation, S. 26/27.

Abb. 2: Flyer: Online unter: <http://www.ecoledumagasins.com/session12/images/visuels/gmaterial08.jpg> (zuletzt aufgerufen: 19.6.2018).

Abb. 3: Buchseiten aus: David McCarthy (2015): *American Artist against War, 1935–2010*. Oakland California: University of California Press, S. 103; Fotomontage © Martha Rosler

Abb. 4: Foto © Nathalie Barki | Online unter: <https://www.domusweb.it/en/art/2011/10/05/12th-international-istanbul-biennial.html> (zuletzt aufgerufen: 19.6.2018).

Christiane Sauer:
Upscaling Textiles. Experimenteller Materialentwurf im räumlichen Kontext

Abb. 1, 2: Foto © Anne-Kathrin Kühner | weißensee kunsthochschule berlin 2016

Abb. 3, 4: Foto © Idalene Rapp, Natascha Unger | weißensee kunsthochschule berlin 2017

Abb. 5: Foto © Ben Gladki, Minyoung Han | weißensee kunsthochschule berlin 2017

Abb. 6: Foto © Julia Wolf | weißensee kunsthochschule berlin 2015

Ignacio Farías und Tomás Sánchez Criado:
Experimente mit technischer Demokratie in Entwurfskursen

Abb. 1, 2: © Fanny Brandauer; Postproduction: Tobias Bahne 2017

Abb. 3, 4: © Sofia Ruíz, Irene Landa, Sophie Razaire, Emilie Charrier, Léo Godebout, Lambert Drapeau 2017

Wir danken Fanny Brandauer, Tobias Bahne, Sofia Ruíz, Irene Landa, Sophie Razaire, Emilie Charrier, Léo Godebout und Lambert Drapeau für die Genehmigung, die Abbildungen zu verwenden.

Einav Katan-Schmid:
Playing with Virtual Realities. A Practice-based-Research Experiment in Dancing with Technology

Abb. 1, 2: Foto © Claudia Lamas Cornejo 2018

Abb. 3, 4: Foto © Alexander Katan-Schmid 2018

Séverine Marguin, Henrike Rabe und Friedrich Schmidgall:
Die Experimentalzone. Raumforschung an der Schnittstelle zwischen Gestaltung und Sozialwissenschaft

Abb. 1, 3: Foto © Henrike Rabe | *Bild Wissen Gestaltung* 2017

Abb. 2: Foto © Fabian Scholz | *Bild Wissen Gestaltung* 2015

Abb. 4–7: Foto © Dimitra Megas, Fabian Scholz | *Bild Wissen Gestaltung* 2018

Abb. 8, 11: Grafik © Friedrich Schmidgall | *Bild Wissen Gestaltung* 2016

Abb. 9, 12: Foto © Friedrich Schmidgall | *Bild Wissen Gestaltung* 2017

Abb. 10: Grafik © Patryk Kujawa, Dimitra Megas, Fabian Scholz | *Bild Wissen Gestaltung* 2018

Regine Hengge:
Durch den Datendschungel auf der Suche nach Erkenntnis. Experimentieren in der molekularen Mikrobiologie

Abb. 1: Schema © Regine Hengge | Humboldt-Universität zu Berlin 2018

Juliane Haus:
Laborexperimente in der wirtschaftswissenschaftlichen Forschungspraxis

Abb. 1, 2: Screenshot aus Videoaufzeichnung © Juliane Haus | Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung 2013

John A. Nyakatura und Oliver E. Demuth:
Virtuelle Experimente zur funktionellen Morphologie der Wirbeltiere

Abb. 1: Computermodellierung © Jonas Lauströer und Oliver E. Demuth 2017

Abb. 2, 3: Computermodellierung © Oliver E. Demuth und John A. Nyakatura 2018

Christian Kassung und Susanne Muth:
(Re-)Konstruktion als Experiment. Sehen und Hören in antiker Architektur

Abb. 1: Foto © Susanne Muth 2016

Abb. 2, 3: Digitales Bild © digitales forum romanum: Susanne Muth, Armin Müller, Dirk Mariaschk 2016

Abb. 4: Digitales Bild © Stefan Weinzierl, Christoph Böhm 2016

Abb. 5: Digitales Bild © Dirk Mariaschk, Una Schäfer, Jana Beutler, Erika Holter 2018

Lea Moro:
Ein Bericht aus der choreographischen Praxis

Abb. 1: Foto © Nelly Rodriguez
2017

Abb. 2: Foto © Dieter Hartwig
2016

Jörg Petruschat:
Von Grund auf. Einige Bemerkungen zum Experimentieren im Design

Abb. 1–3: Foto © Manuel Milde |
weißensee kunsthochschule
berlin 2012

Abb. 4–9: Foto © Jiajia Song |
weißensee kunsthochschule
berlin 2015/2016

Abb. 10–27: Foto und Grafik ©
Babette Wiezorek | weißensee
kunsthochschule berlin 2016

Carolin Höfler:
**Unwiederholbare Experimente.
Entwerfen zwischen Grenzziehung und Überschreitung**

Abb. 1: Foto © Archivio Superstudio, Florenz; Zanotta SpA, Nova Milanese, MB 1971

Abb. 2: Foto © Gerald Zugmann
1968

Abb. 3: Lebbeus Woods, *Conflict Space 4*, 2006. Crayon und acrylic on linen, 217,17 cm x 276,23 cm © Estate of Lebbeus Woods; Collection SFMOMA, purchase through a gift of anonymous donors and the Accessions Committee Fund | Collection SFMOMA

Abb. 4: Foto © Gramazio Kohler Research, ETH Zürich; Studierende: Ralph Benker, Bo Cheng, Roberto Naboni, Pascal Ruckstuhl, Ivana Stiperski, Simone Stünzi, Anna Szabo, Andreas Thoma, Martin Thoma, Alexander Walzer, James Yeo | 2014

Abb. 5: Fotos © Certain Measures | Berlin 2016

Kerstin Germer:
Ein Bericht aus der interdisziplinären Wissensvermittlung

Abb. 1, 2: Webseite und Grafik © ID+Lab | *Bild Wissen Gestaltung* 2018

Abb. 3: Foto © Franziska Wegener | *Bild Wissen Gestaltung* 2018

Abb. 4: Grafik © Forschungsgruppe INKA | Hochschule für Technik und Wirtschaft 2018

Abb. 5: Karte © Claudia Lamas Cornejo | *Bild Wissen Gestaltung* 2018

Kerstin Sailer:
Experimente in der Büroraumgestaltung. Konzepte, Herausforderungen und praktische Beispiele aus Sicht der Architektur

Abb. 1–3: Grafik © Kerstin Sailer | University College London 2018

Tabelle 1: © Kerstin Sailer | University College London 2018

Reinhard Wendler:
The Seductive Trap of Linear Thinking. Skalierungseffekte im Experiment

Abb. 1: Zeitung © The Daily Oklahoman vom 4. August 1962, Vol. 71, Nr. 211.

Robert M. Erdbeer:
Ludische Intervention. Experiment und Gameplay

Abb. 1: Screenshot aus Videospiel © Robert M. Erdbeer | Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Rechteinhabers Davey Wreden.

Claudia Mareis:
Entwerfen um 1960. Methodische Objektivität zwischen Kalkül und Intuition

Abb. 1: Tabelle © Ken W. Norris (1963): „The Morphological Approach to Engineering Design“, in: John Christopher Jones und Denis G. Thornley (Hg.): *Conference on Design Methods*. New York: Pergamon Press, S. 115–140.

Abb. 2: Schema © *Fortune*, Vol. XXXIV, Nr. 3, September 1946, S. 140.

Abb. 3: Schema © Fritz Zwicky (1989): *Morphologische Forschung. Wesen und Wandel materieller und geistiger struktureller Zusammenhänge*. Glarus: Baeschlin, 2. Auflage, S. 35 | Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Baeschlin Verlags.

Abb. 4: Grafik © Karl Gerstner (1963): *Programme entwerfen. Statt Lösungen für Aufgaben Programme für Lösungen*. Baden: Lars Müller Publishers 2007, S. 13 | Abdruck mit freundlicher Genehmigung von Lars Müller Publishers.

Abb. 5: Schema © Eugen Gomringer (2003) (Hg.): Karl Gerstner: *Rückblick auf sieben Kapitel konstruktive Bilder*. Etc. Ostfildern-Ruit: Hatje Cantz, S. 70 | Abdruck mit freundlicher Genehmigung der Rechteinhaberin Muriel Gerstner.

Robert Gaschler:
Die Psychologie des Experimentierens und das Experiment in der Psychologie

Abb. 1: Schema © Robert Gaschler | *Bild Wissen Gestaltung* 2018

Die Klärung der Rechte wurde nach bestem Wissen vorgenommen. Soweit dennoch Rechtsansprüche bestehen, bitten wir die Rechteinhaber, sich an die Herausgeber zu wenden.

Soziologie



Juliane Karakayali, Bernd Kasperek (Hg.)

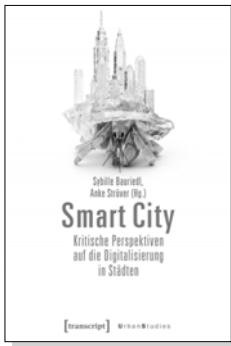
movements.

**Journal for Critical Migration
and Border Regime Studies**

Jg. 4, Heft 2/2018

Februar 2019, 246 S., kart.

24,99 €(DE), 978-3-8376-4474-6



Sybille Bauriedl, Anke Strüver (Hg.)

Smart City –

**Kritische Perspektiven auf die Digitalisierung
in Städten**

2018, 364 S., kart.

29,99 € (DE), 978-3-8376-4336-7

E-Book: 26,99 € (DE), ISBN 978-3-8394-4336-1

EPUB: 26,99 € (DE), ISBN 978-3-7328-4336-7



Weert Canzler, Andreas Knie, Lisa Ruhrort, Christian Scherf

Erloschene Liebe?

Das Auto in der Verkehrswende

Soziologische Deutungen

2018, 174 S., kart., zahlr. Abb.

19,99 € (DE), 978-3-8376-4568-2

E-Book: 17,99 € (DE), ISBN 978-3-8394-4568-6

EPUB: 17,99 € (DE), ISBN 978-3-7328-4568-2

**Leseproben, weitere Informationen und Bestellmöglichkeiten
finden Sie unter www.transcript-verlag.de**

Soziologie



Gianna Behrendt, Anna Henkel (Hg.)
10 Minuten Soziologie: Fakten

2018, 166 S., kart.
16,99 € (DE), 978-3-8376-4362-6
E-Book: 14,99 € (DE), ISBN 978-3-8394-4362-0



Heike Delitz
Kollektive Identitäten

2018, 160 S., kart.
14,99 € (DE), 978-3-8376-3724-3
E-Book: 12,99 € (DE), ISBN 978-3-8394-3724-7



Anna Henkel (Hg.)
10 Minuten Soziologie: Materialität

2018, 122 S., kart.
15,99 € (DE), 978-3-8376-4073-1
E-Book: 13,99 € (DE), ISBN 978-3-8394-4073-5

**Leseproben, weitere Informationen und Bestellmöglichkeiten
finden Sie unter www.transcript-verlag.de**