

# 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,<sup>1</sup> etwa durch den Einsatz von Instrumenten wie Amazon Mechanical Turk<sup>2</sup> 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](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/ewdo2xx/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.

