

# Von schwarzen Kästen und neuronalen Netzen

Wissenschaftsforschung in den Neurowissenschaften

MARTIN DESCHAUER

S. 15-22

## Warum schwarze Kiste oder Black Box?

Der Begriff *Black Box* in Verknüpfung mit dem Gehirn impliziert mehrere Überlegungen und Metaphern. Die im allgemeinen Sprachgebrauch bekannteste ist zugleich wohl auch die irreführendste Bezeichnung: der Datensreiber, der in Flugzeugen verbaut ist und zur besseren Erkennbarkeit in einer satten roten Farbe lackiert ist. Diese Box zeichnet alle wichtigen Flugdaten auf und ist—so gut es geht—gegen die Widrigkeiten eines Flugzeugabsturzes gesichert.

Im Allgemeinen bezeichnet der Begriff ein System, dessen innerer Aufbau nicht bekannt ist. Sichtbar sind jedoch der *Input* und der *Output* des Systems: so wie bei einer vollautomatische Kaffeemaschine, die auf Knopfdruck funktioniert. Wenn sie genügend Kaffeebohnen und Wasser hat und auch mit Strom versorgt wird (Inputs), dann sollte sich beobachten lassen, wie der Kaffee in die Tasse läuft (Output). Bis auf die Knöpfe zur Bedienung und die Nachfüllbehälter ist weder die Kenntnis von den einzelnen Teilen, noch von deren einzelnen Funktionen, noch vom Zusammenwirken des Systems für die Nut-

zung notwendig. Viele—nicht nur technische—Dinge des alltäglichen Lebens funktionieren in dieser Weise.

Der Begriff *Black Box* findet sich außerdem in der Psychologie im Zusammenhang mit der Forschungsrichtung des Behaviorismus. Behavioristen vertraten Anfang des 20. Jahrhunderts die These, dass die Psychologie kognitive Prozesse nicht deuten oder beschreiben kann. Es gäbe lediglich die Möglichkeit, das Verhalten eines Menschen zu beobachten und zu beschreiben, so die Überzeugung; dies allerdings nur im Hinblick auf Input (Reize oder Sinneswahrnehmungen, die auf den Menschen einwirken) und Output (Reaktion, Verhalten des Menschen). »Der Organismus beziehungsweise das Hirn blieben selbst eine *black box*. Die Beschreibung von Reiz-Reaktions-Beziehungen sollte es erlauben, diese *black box* einzugrenzen [...]. Interne Zustände sind [...] für den Behavioristen nicht existent.« (Breibach 1997, 276) Alles, was zwischen Reiz und Reaktion lag, war für Behavioristen eine *Black Box*. Wer hierüber Aussagen traf, begab sich ihrer Meinung nach wissenschaftlich auf dünnes Eis.

Eine dritte Verwendung des Begriffes stammt aus dem Repertoire der *Science and Technology Studies* (STS).<sup>(1)</sup> Auch sie bezeichnen damit ein System, dessen innerer Aufbau verborgen bleibt: »Der Begriff der »Black Box« wird in der STS für ein System verwendet, dessen funktionale Teile oder interne Struktur unsichtbar bleiben. Die Stabilisierung einer Technologie führt zu »Black-Boxing«. Das System funktioniert, ohne dass nachvollziehbar ist, warum. [...] Sie [Black Boxes] können in Form von Artefakten, Fakten, Normen, usw. auftreten. Innerhalb der Wissenschaftsforschung haben Bruno Latour und Michel Callon über den Machtaspekt von »Black Boxes« geschrieben. Mächtig zu sein bedeutet, eine »Black Box« zu kontrollieren.« (Ilyes 2005, 31) Die Verwendung des Begriffes im STS-Ansatz soll darauf verweisen, wie eine Black Box durch die Beteiligung einzelner Akteure geschlossen wird und sich damit Nachfragen (und damit der Nachvollziehbarkeit) entzieht. Die Entstehung wissenschaftlicher Tatsachen funktioniert auf diesem Weg: Ein neues Objekt, dass aus der Auflistung einzelner Eigenschaften entstanden ist, kann sich im Laufe der Zeit zu einer immer weniger hinterfragten Tatsache verstetigen. Fakten werden—wie auch der lateinische Ursprung des Wortes (*facere*: machen) verdeutlicht—gemacht, das heißt hergestellt (vgl. Knorr-Cetina 1991, 22). Der Prozess, der aus neuen wissenschaftlichen Sachverhalten Tatsachen macht, besitzt neben dem Verdeutlichen gleichzeitig ein Verdecken: »Wenn eine Maschine reibungslos läuft, wenn eine Tatsache feststeht, braucht nur noch auf Input und Output geachtet zu werden, nicht mehr auf ihre interne

Komplexität. Daher das Paradox: Je erfolgreicher Wissenschaft und Technik sind, desto undurchsichtiger und dunkler werden sie.« (Latour 2000, 375) Was für die einen (Behavioristen) der Inbegriff des nicht-beschreibbaren ist, wird für die anderen (STS) zu einem Begriff eines soziotechnischen Systems, dessen Beschreibung zu oft wiederholt wurde, als das er noch Beachtung oder Zweifel hervorruft.

Was hat dies alles mit dem Gehirn zu tun? Oder besser gesagt: mit der Forschung über die Hirnforschung? Als »komplexeste Materie im Universum« (Wolf Singer) besitzt das menschliche Gehirn noch viele jener Black Box-Eigenschaften, von denen die Behavioristen ausgingen – nämlich viele große unbekannte und unerforschte Bereiche. Und gerade weil die Forschungen der Neurowissenschaften so umfangreich sind, zeigt sich darin, wie hartnäckig verschlossen die Box des Gehirns ist, auch nachdem die »Decade of the brain« (1990-1999) mittlerweile wieder ein Jahrzehnt verstrichen ist. Die Forschungen zum Thema Gehirn sind sehr vielfältig und weltweit aktiv. Auch in populärwissenschaftlichen Veröffentlichungen werden gern eingängliche Ergebnisse und bunte Bilder gezeigt. Pro Jahr erscheinen zirka 35.000 wissenschaftliche Artikel in den Neurowissenschaften. An den Laboratorien, Kliniken und Forschungszentren wird versucht, kleinere oder größere Fragen im Bezug auf das Gehirn zu beantworten. Mittlerweile interessieren sich nicht nur Mediziner, Biologen oder Psychologen für das Gehirn. Auch Chemiker, Physiker und Informatiker sind zum elementaren Teil der Neurowissenschaften

(1) Die Science and Technology Studies (STS) bezeichnen einen sozialwissenschaftlichen Forschungsansatz, der sich in den 1980er Jahren entwickelt hat. In den Debatten über sozialkonstruktivistische Wissenschafts- und Technikforschung betont die STS vor allem den Einbezug von nicht-menschlichen Akteuren. Sehr gute Einführungen sind u.a. Ilyes (2005) und Bammé (2009).

geworden.<sup>(2)</sup> Physiker und Informatiker sind vor allem dort zu finden, wo der Einsatz von technischen Geräten zum elementaren Erkenntnisgewinn beitragen soll. Von einer einheitlichen Neurowissenschaft zu sprechen, würde die Ausprägungen, Spezialisierungen und Überschneidungsbereiche, die sich durch weiterentwickelte Methoden und interdisziplinäre Ansätze ausdifferenzieren, zu stark homogenisieren. Gemeinsam ist den Forschungszweigen das Interesse am Gehirn und die immer stärkere Nutzung des Computers in der Forschung. Es gibt kaum einen Forscher, der nicht betont, wie unumgänglich der Computer im Forschungsalltag ist. Simulationen von Hirnprozessen kommt dabei eine besondere Rolle zu.

### Computersimulationen

Die Herstellung von Analogien zwischen computerbasierten Simulationen und der Arbeitsweise des Gehirns ist so verführerisch wie gefährlich: beide beruhen auf elektronischen Verarbeitungsprozessen; die eine durch die binär-digitale Verschaltung *in silicio*, die andere durch neuronale Aktionspotentiale *in vivo*.<sup>(3)</sup> Da sollte es doch möglich sein, zumindest Teile des neuronalen Netzwerks nachzubauen. Aber die euphorischen Erwartungen einiger energischer Vertreter der künstlichen Intelligenz, dass die Phänomene des Gehirns oder gar menschliches Bewusstsein in einem Computer nachgebildet

werden können, sind leiser geworden. Die Frage, ob mit den *first principles* (den physikalischen Grundprinzipien; vgl. Gramelsberger 2010, 193) die letzten Fragen der Neurowissenschaften beantwortet werden können, weicht einem pragmatischeren Ansatz. Für ein Verstehen der Prozesse im Gehirn ist es in der Forschung notwendig, Komplexität zu reduzieren und mit abstrakten Entitäten zu arbeiten, anstatt Computermodelle zu erstellen, deren Erklärungswert gering ist. Bezogen auf den Nutzen der Interpretationsmöglichkeiten von fMRT<sup>(4)</sup>-Daten merkt der Neurowissenschaftler Nikos Logothetis an: »The answer obviously depends on the scientific question and the spatial scale at which this question could be addressed – >it makes no sense to read a newspaper with a microscope<, as neuro-anatomist Valentino Braitenberg once pointed out.« (Logothetis 2008, 871) Damit ist angesprochen, dass nicht jede Ebene von Komplexität beliebig untereinander verknüpfbar ist. Dennoch gewinnen die sogenannten bildgebenden Verfahren und Computersimulationen immer mehr an forschungsrelevanter Bedeutung. Dabei vollzieht sich auch hier das Öffnen und Schließen verschiedener Black-Boxes. Für Simulationen machen sich die Wissenschaftler die Eigenschaften des Computer zunutze, große Datenmengen berechnen zu lassen, die allein durch ihre Masse (Quantität) einen Qualitätssprung

(2) Geistes- und Sozialwissenschaften sind dagegen nur ausgesprochen peripher oder gar nicht in den Forschungszusammenhängen vertreten. Interdisziplinarität ist damit in diesem Zusammenhang fast ausschließlich auf Naturwissenschaften begrenzt.

(3) Die Unterscheidungen *in vivo*, *in silicio* und *in vitro* beschreiben die jeweiligen Forschungsumgebungen beziehungsweise –eigenschaften des Forschungsobjekts. *In vivo* bezeichnet Untersuchungen mit lebenden Forschungsobjekten (z.B. durch Tierversuche o.ä.). *In vitro*-Untersuchungen bezeichnen Untersuchungsobjekte im Reagenzglas oder auf Petrischalen. *In silicio* ist eine Wortschöpfung, die sich auf computerbasierte Forschungen bezieht, zum Beispiel durch Computersimulationen.

(4) fMRT (funktionale Magnetresonanztomographie) bezeichnet eine bildgebende Methode, bei der im Bezug auf die Hirnforschung Schwankungen des Sauerstoffgehalts im Gehirn darstellbar gemacht werden. Dadurch lässt sich zeigen, an welchen Stellen zu einem bestimmten Zeitpunkt im Gehirn vermehrt sauerstoffreiches Blut fließt. Die lokale und zeitlich begrenzte Erhöhung gibt Hinweise auf die Aktivität bestimmter Hirnzentren bei unterschiedlichen kognitiven Leistungen.

ausmachen: »The authority of scientific simulation relies on an analytical knowledge of the underlying >theoretical< mathematics, while the pragmatic utility of simulation relies on the scientist's ability to black-box the program, to delegate the computations to the machine and to interact >experimentally< with the surface« (Dowling 1999, 271). Es ist für das wissenschaftliche Vorgehen also notwendig, ein mathematisches Modell zu erstellen, auf dessen Grundlage eine Simulation entwickelt wird und dessen Prozess ein Simulationsexperiment ist.

Der Einsatz von Computersimulationen als eine Form der Wissensproduktion in den Neurowissenschaften führt zu einer Veränderung der Heuristiken gegenüber der experimentbasierten Forschung. Es ist notwendig, das gewählte Forschungsproblem mathematisch abzubilden und einen maschinentauglichen Algorithmus daraus erstellen zu können (vgl. Gramelsberger 2010, 220). Die entwickelten Modelle unterliegen sowohl in der Konzipierung als auch im Simulationsbetrieb Anpassungen und Änderungen. Das strikte Vorgehen Modellierung-Programmierung-Simulation ist also ein Ideal, das praktisch nicht vorkommt. Der US-amerikanische Wissenschaftsphilosoph Eric Winsberg beschreibt dies in der Unterscheidung zwischen empirischer und mathematisch-logischer Epistemologie: »The epistemology of simulation [...] is very much an empirical epistemology, and not merely a mathematico-logical one.« (Wins-

berg 1999, 290) Eine Experimentalanordnung benötigt also stets ergebnisoffene Eigenschaften. Die wechselseitige Anpassung von Modell, Simulation und Ergebnis haben eher den Charakter von Basteln und Ausprobieren als den eines klaren und eindeutigen Prozesses, auch in einer künstlich hergestellten Simulationsumgebung, so dass »Computersimulationen als ein Experimentieren mit Theorien zu begreifen« (Küppers & Lenhard 2005, 326) sind. Die Entscheidungen über Aufbau und Funktion des Simulationssystems liegt bei den beteiligten Forschern und ermöglicht dadurch einen Weg des wissenschaftlichen Vorgehens auf Basis von computerbasierter Künstlichkeit. Dass in den Anfangsbedingungen eines komplexen Modells nicht automatisch das Ergebnis der Simulation enthalten ist, beschreibt den Forschungscharakter des Systems. Der Grund liegt darin, dass die »in der Simulationstechnik eingesetzten Verfahren nicht numerische *Lösungen* liefern, sondern deren Dynamik mittels generativer Mechanismen *imitieren*. [...] Erst >Simulationsexperimente< gestatten es, mittels Modellen eine Dynamik zu imitieren, ohne deren Grundgleichungen zu >lösen« (ebd., 305). Die Computersimulation ist daher trotz ihrer mathematischen Grundlagen eine Form der experimentellen Forschung, gerade in Bereichen, in denen andere analytische Methoden schwer oder gar nicht durchführbar sind (vgl. Gramelsberger 2010, 211ff). Die Möglichkeiten der Forschung am und über das menschliche Gehirn legen es sowohl aus ethischen<sup>(5)</sup> wie

(5) Die Möglichkeiten der Forschung am menschlichen Gehirn sind auf bildgebende Verfahren (z.B. MRT – Magnetresonanztomographie) und einige medizinische Anwendungen (z.B. im Rahmen von hirschirurgischen Eingriffen) begrenzt. Weniger Glück haben in den Neurowissenschaften Forschungstiere. Vor allem (genetisch veränderte) Mäuse oder Tiere mit »einfachen« Gehirnen bzw. Nervensystemen (z.B. Schnecken, Fische, Fruchtfliegen) sind hoch im Kurs wissenschaftlicher Untersuchungen. Die Reizweiterleitung von Aktionspotentialen wurde Mitte des 20. Jahrhunderts erstmals durch Experimente am Nervensystem von Tintenfischen beobachtet, da die Axone der Tiere bis zu einem Millimeter Durchmesser erreichen können und damit sogar mit dem bloßen Auge sichtbar sind.

aus forschungspraktischen Gründen<sup>(6)</sup> nahe, Computersimulationen als heuristisches Mittel einzusetzen. Auch die Möglichkeit zur Reduktion von Komplexität machen Simulationen für die Forschung attraktiv. Einzelne Parameter können somit gezielt auf die jeweiligen Bedürfnisse angepasst werden. Als epistemisches Objekt funktioniert die Simulation dabei nicht nur als Antwortmaschine, sondern oft genug auch als Fragemaschine (vgl. ebd., 229). Die angesprochene Dynamik produziert in diesem Sinne auch Neues, Unbekanntes, Überraschungen und viele neue Fragen. Das Konzept von Gehirn besitzt damit ein mathematisch-informatorisches, aber damit nicht zwangsweise ein ingenieur-technisches Konzept. Inwieweit in der forschungspraktischen Auseinandersetzung mit Computersimulation auf Ebene der Grundlagenforschung eine spätere Anwendungsebene entstehen kann, ist ein Aspekt, der im Einzelfall unterschiedliche Formen annehmen kann. Die Verschränkung von Wissenschaft und Technik ist dabei eine grundlegende Voraussetzung, deren Wechselwirkungen die Unterscheidungen zwischen »wissenschaftlich« und »nicht-wissenschaftlich« aufweicht und disziplinäre Grenzen verwischt. Dabei ersetzt die Computersimulationen nicht die experimentelle Labor-

forschungen; im Gegenteil: beide ergänzen sich und sind eng miteinander verwoben.

### Laborexperimente

Experimente der »nassen« Neurowissenschaft<sup>(7)</sup> bilden gerade unter veränderten technologischen Bedingungen einen zentralen Anteil an der Forschung. Experimentalsysteme auf unterschiedlichsten Ebenen und mit den variationsreichsten Versuchsaufbauten und Fragestellungen bevölkern die neurowissenschaftliche Wissenschaftslandschaft. Durch die Allgegenwärtigkeit von Computertechnologie in den Forschungsaufbauten besitzen die Versuche eine digitale Vermittlungsebene, die aufgrund der variablen und universellen Verarbeitungsmöglichkeiten die Forschungsarbeit tiefgreifend verändert hat. Die Philosophin Sybille Krämer spricht von der digitalisierten Schrift als »Universal Münze« für computerbasierte Ausgabemöglichkeiten<sup>(8)</sup> (vgl. Krämer 2001, 356). Kaum ein wissenschaftlicher Vorgang, der ohne Computereinsatz funktioniert (oder gar erst durch ihn ermöglicht wird): von automatisierten Versuchsanordnungen über Rasterelektronenmikroskope und funktionale Magnetresonanztomographie bis hin zur weltweiten Online-Vernetzung zur Datenauswertung.

(6) Gramelsberger nennt als Gründe unter anderem die Größe, Geschwindigkeit und Komplexität von Objekten, die eine Analyse im Experiment oder in Feldbeobachtungen schwer oder unmöglich machen können, gerade im Hinblick auf die Frage nach Wechselwirkungen einzelner Entitäten (vgl. Gramelsberger 2010). In den Neurowissenschaften lassen sich Einzelphänomene im Hinblick auf Größe und Geschwindigkeit durchaus auch ohne Simulation beobachten (wenn auch mit viel Aufwand), doch gerade die Komplexität der Netzwerkphänomene macht Computersimulationen zu einer gern genutzten Technik.

(7) »Nasse« Neurowissenschaft bezeichnet Forschungen an lebenden neuronalen Objekten. Ähnlich der Unterscheidungen *in vivo* – *in vitro* – *in silico* spielt der Begriff mit einem Dreierschritt von Unterscheidungen: Das Gehirn (»*wetware*«) unterscheidet sich vom Computer (»*hardware*«) und Programmen (»*software*«) in grundlegenden Aspekten. Die Bezeichnung betont damit eine Differenz in der Informationsverarbeitung und wirkt einem Analogiedenken von Gehirn und Computer entgegen.

(8) »Und da ist schließlich die digitalisierte Schrift, die neutral ist nicht nur gegenüber der Lautsprache, sondern gegenüber jedweder Form sinnlicher Präsentation, dafür aber als eine Art >Universal Münze< dienen kann, mit der Bilder, Schriften und Töne beliebig ineinander übersetzbar werden. Diese Schrift ermöglicht als mediale Grundlage der numerischen Simulation die Herstellung computergenerierter Bilder von Theorien.« (Krämer 2001, 356)

In den Strategien der Sichtbarmachung (vgl. Heinz & Benz 2001) bleibt der Modellcharakter im Laborexperiment erhalten: »Natur selbst« wird in einem wissenschaftlichen und technischen Sinne nur »wirklich« als ein Modell. Selbstverständlich gibt es »in-vivo-Experimente«. Aber insofern sie Teil einer Versuchsanordnung sind, sind auch sie Modellsysteme.« (Rheinberger 1994, 413) Die Künstlichkeit in den Versuchsanordnungen lässt den Begriff der *Naturwissenschaften* schon fast romantisierend erscheinen, einmal mehr wird deutlich, wie die konzeptuelle Trennung zwischen Natur, Kultur, Sozialem und Technischem nicht nur an den Rändern aufweicht, sondern permanent durch Hybride hinterfragt und herausgefordert wird. Die Begrifflichkeiten halten sich allerdings dennoch hartnäckig, denn als Black Box haben sich konzeptuelle Großbegriffe über eine zu lange Zeit stabilisiert als dass sie einfach aufgegeben werden. Vielmehr verlaufen entlang ihrer Abgrenzungen die Konfliktlinien, wie beispielsweise die Diskussionen über Gehirn und Geist. Neurowissenschaftliche Beobachtungen fordern hier also nicht nur Geistes- und Sozialwissenschaften heraus, ihre Annahmen über die menschliche Selbstbeschreibung zu prüfen. Auch ihr eigenes Vorgehen, wenn es in einem naturalistisch-positivistischem Denken verharret, bleibt zu hinterfragen. Die Entstehungsbedingungen und Zirkulationen von Forschungsobjekten in Experimentalsystemen ist hierfür eine gute Quelle. Im Unterschied zu Computersimulationen bleibt das sogenannte »epistemische Objekt« an seine Materialität gebunden und dennoch unbestimmt: »Als epistemisches Objekt präsentiert es sich in einer charakteristischen, irreduziblen Vagheit. Die Vagheit ist unvermeidlich, denn—um es paradox zu sagen—ein epistemisches Ding verkörpert, was man noch

nicht weiß.« (ebd., 408f) Die Paradoxie besteht darin, die Rahmenbedingungen des Experimentalsystems soweit zu formalisieren, dass die »Fabrikation von Erkenntnis« (Knorr-Cetina 1991) möglich wird, das eigentliche Untersuchungsobjekt aber offen und unfertig bleibt (vgl. Rheinberger 1994). Erst durch eine dauerhafte Verstetigung eines epistemischen Objektes kann es als Inskription wirksam werden (vgl. u.a. ebd. 414; Latour 2000, 375). Ein Beispiel hierfür ist die 1991 mit dem Nobelpreis ausgezeichnete Forschung von Bert Sackmann und Erwin Neher: Im Zuge ihrer Forschung zur Messung der Aktivität von Ionenkanälen an Nervenzellen entwickelten sie die *Patch-Clamp*-Technik, die sich zu einer wesentlichen Methode in der Zellforschung etablierte (vgl. Petit-Zeman 2009). Durch diese Methode lassen sich Ableitungen von Aktionspotentialen (kurze Stormimpulse) messen, die bei der Reizweiterleitung im Nervensystem wichtig sind. Im Entwicklungsstadium der Patch-Clamp-Methode ermöglichte die Experimentalanordnung, dass die Eigenschaften von Ionenkanälen als Möglichkeit angelegt waren: »Um produktiv zu bleiben, muß eine Experimentalanordnung genügend offen sein, um unvorhergesehene Signale zu erzeugen und um neue Techniken, Instrumente, Modellsubstanzen einsickern zu lassen. Wenn es andererseits zu starr wird, hört es auf, eine »Maschine zur Herstellung von Zukunft« zu sein; es degeneriert zu einer Testanlage im Sinne einer Produktion von Standards oder Repliken.« (Rheinberger 1992, 28) Die Patch-Clamp-Methode entwickelte sich in dem Moment zu einer Routine, in dem die Ergebnisse der Experimentalanordnung gleich blieben und sich wiederholten. Damit die Forschungsergebnisse und später die Technik als Inskription wirksam werden konnten, bedurfte es also eines Akteurs-Netzwerks

von Forschern, wissenschaftlichen Instituten (z.B. Geldgeber, Bibliotheken, Verlage, wissenschaftliche und nicht-wissenschaftliche Entscheidungsträger), Untersuchungsobjekten, Apparaturen und Methoden, um lebende Nervenzellen beobachten und manipulieren zu können. Schließlich gehört auch die Scientific Community dazu, die von den Ergebnissen in dem Maße überzeugt werden konnte, dass aus dem epistemischen Objekt ein technisches Artefakt bzw. Produkt wurde und die beiden Wissenschaftler mit der höchsten Auszeichnung der medizinischen Forschung geehrt wurden.

Was hier an einem prominenten Beispiel verdeutlicht werden soll, ist, dass das Zusammenwirken der beteiligten Akteure die Herstellung und Zirkulation von Fakten, Artefakten und Wissen bewirkt. Die Beobachtungsebene der STS ist jedoch keine, die sich wissenschaftsgeschichtlich an den großen Erfolgsgeschichten orientiert: »This is the first decision we have to make: our entry into science and technology will be through the back door of science in the making, not through the more grandiose entrance of ready made science.« (Latour 1987, 4) Die Forderung und der damit verbundene Aufruf Latours, die Beobachtung von Wissenschaft nicht allein vom Ergebnis zu betrachten, sondern die Prozesse im Entstehen und Aushandeln zu verfolgen, bildet die kulturanthropologische Forschung im methodischen Vorgehen ab. Denn: Die Wissenschaftsgeschichte ist nicht eine Geschichte des permanenten Erfolges, des stetigen Fortschritts, der Durchsetzung des besseren Arguments oder der besseren Technik. Ein detaillierter Blick zeigt die Ansammlung von Akteuren verschiedener Art, die untereinander Netzwerke geknüpft haben, die je nach Durchsetzungsvermögen Bestand haben und Verbreitung finden – oder auch nicht. Wissen-

schaftliche Ergebnisse sind in diesem Sinne nicht frei von den Voraussetzungen, den Umständen oder soziotechnischen Einflüssen. Durch die Befragung und Beobachtung der Entstehungsbedingungen lässt sich eine differenziertere Beschreibung dessen erreichen, was als Teil der Welt konstruiert und produziert wird.

## Literatur

- BAMMÉ, A. 2009. *Science and technology studies: ein Überblick*, Metropolis: Marburg.
- BREIDBACH, O. 1997. *Die Materialisierung des Ichs. Zur Geschichte der Hirnforschung im 19. und 20. Jahrhunderts*, Suhrkamp Verlag: Frankfurt am Main.
- DOWLING, D. C. 1999. *Experimenting on Theories*. (pp. 261-274) In: *Science in Context* 12.
- GRAMELSBERGER, G. 2010. *Computereperimente. Zum Wandel der Wissenschaft im Zeitalter des Computers*, transcript Verlag: Bielefeld.
- HEINZ, B. & BENZ, A. hrsg. 2001. *Mit dem Auge denken. Strategien der Sichtbarmachung in wissenschaftlichen und virtuellen Welten*, Voldemeer: Zürich.
- ILYES, P. 2006. *Zum Stand der Forschung des englischsprachigen Scienceand Technology (STS)-Diskurses*, <<http://www.sciencepolicystudies.de/dok/STS-Forschungsstand-1.1.pdf>>, eingesehen im Januar 2011.
- KNORR-CETINA, K. 1991. *Die Fabrikation von Erkenntnis. Zur Anthropologie der Wissenschaft*. Suhrkamp Verlag: Frankfurt am Main.
- KRÄMER, S. 2001. *Kann das geistige Auge sehen. Visualisierung und die Konstruktion epistemischer Gegenstände*. (pp. 347-364) In: Heintz, B. & Benz, A. hrsg. *Mit dem Auge denken. Strategien der Sichtbarmachung in wissenschaftlichen und virtuellen Welten*, Ed. Voldemeer et al. (Theorie - Gestaltung, 1): Zürich.
- KÜPPERS, G. & LENHARD, J. 2005. *Computersimulationen: Modellierungen 2. Ordnung*. (pp. 305-329) In: *Journal for General Philosophy of Science / Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie* 36/2.
- LATOUR, B. 1987. *Science in Action*. Open University Press: Milton Keynes.
- 2000. *Die Hoffnung der Pandora. Untersuchungen zur Wirklichkeit der Wissenschaften*. Suhrkamp Verlag: Frankfurt am Main.
- LOGOTHETIS, N. 2008. *What we can do and what we cannot do with fMRI*. (pp. 869-878) In: *Nature*, Vol. 453.
- PETIT-ZEMAN, S. 2009. *Recording Channels*, <[http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/medicine/laureates/1991/speedread.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1991/speedread.html)>, eingesehen im Januar 2011.
- RHEINBERGER, H.-J. 1992. *Experiment, Differenz, Schrift. Zur Geschichte epistemischer Dinge*. Basiliken-Press: Marburg.
- RHEINBERGER, H.-J. 1994. *Experimentalsysteme, Epistemische Dinge, Experimentalkulturen. Zu einer Epistemologie des Experiments*. (pp. 405-417) In: *Deutsche Zeitschrift für Philosophie* 42/3.
- WINSBERG, E. 1999. *Sanctioning Models: The Epistemology of Simulation*. (pp. 275-292) In: *Science in Context* 12/2.