ECONSTOR
Make Your Publications Visible.

A Service of

ZBW Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft
Leibniz Information Centre for Economics

Mayntz, Renate

Working Paper

Forschungsmethoden und Erkenntnispotential Natur- und Sozialwissenschaften im Vergleich

MPIfG Discussion Paper, No. 05/7

Provided in Cooperation with:
Max Planck Institute for the Study of Societies (MPIfG), Cologne

Suggested Citation: Mayntz, Renate (2005) : Forschungsmethoden und Erkenntnispotential Natur- und Sozialwissenschaften im Vergleich, MPIfG Discussion Paper, No. 05/7, Max Planck Institute for the Study of Societies, Cologne

This Version is available at:
https://hdl.handle.net/10419/19921

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

WWW.ECONSTOR.EU

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR GESELLSCHAFTSFORSCHUNG
MAX PLANCK INSTITUTE FOR THE STUDY OF SOCIETIES

MPIfG Discussion Paper 05/7

Forschungsmethoden und Erkenntnispotential
Natur- und Sozialwissenschaften im Vergleich

Renate Mayntz

MPIfG Discussion Paper

Renate Mayntz

Forschungsmethoden und Erkenntnispotential:
Natur- und Sozialwissenschaften im Vergleich

MPIfG Discussion Paper 05/7
Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung Köln
Max Planck Institute for the Study of Societies Cologne
September 2005

© 2005 by the author(s)

MPIfG Discussion Paper | ISSN 0944-2073

MPIfG Discussion Papers are refereed scholarly papers of the kind that are publishable in a peer-reviewed disciplinary journal. Their objective is to contribute to the cumulative improvement of theoretical knowledge. The papers can be ordered from the institute for a small fee (hard copies) or downloaded free of charge (PDF).

Downloads
http://www.mpifg.de
Go to *Publications* / *Discussion Papers*

Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung
Max Planck Institute for the Study of Societies
Paulstr. 3 | 50676 Cologne | Germany

Tel. +49 221 2767-0
Fax +49 221 2767-555

www.mpifg.de
info@mpifg.de

Abstract

All empirical sciences must be able to observe and measure their objects of cognition. In many natural sciences, steady progress in research technology has led to cumulative advances in scientific knowledge. Due to the nature of social phenomena, technical artifacts and procedures cannot significantly improve scientific observation and measurement in the social sciences. Here scientific progress follows from advances in data evaluation and interpretation rather than from increases in observation and measurement. It is in the evaluation phase of the research process that technology, in the form of the modern computer, has become important for social science development. Since the computer is used for data analysis also in the natural sciences, this particular research technology bridges the methodological divide between natural and social sciences, playing a similarly important role in both.

Zusammenfassung

Alle Wissenschaften, die nachprüfbare Aussagen über reale Phänomene machen wollen, müssen in der Lage sein, diese zu erfassen. In vielen naturwissenschaftlichen Forschungsgebieten hat der ständige Fortschritt in der Mess- und Beobachtungstechnik zu einer kumulativen Wissensentwicklung geführt. In den Sozialwissenschaften hat es dagegen aufgrund der Beschaffenheit ihrer Erkenntnisobjekte nur vergleichsweise geringe technisch bedingte Fortschritte bei ihrem beobachtenden und messenden Erfassen gegeben. Hier findet der Wissensfortschritt deshalb weniger durch immer tiefenschärferes Beobachten und genaueres Messen als im Bereich der Datenauswertung und der theoretischen Interpretation statt. Dabei spielt moderne Forschungstechnik in Gestalt des Computers eine wichtige Rolle. Da der Computer auch in den Naturwissenschaften schwergewichtig bei der Auswertung empirischer Daten eingesetzt wird, hat diese Form der Forschungstechnik heute für den Erkenntnisfortschritt in Natur- und Sozialwissenschaften eine vergleichbar große Bedeutung.

Wenn man als Sozialwissenschaftler, etwa durch die regelmäßige Lektüre von Zeitschriften wie *Nature,* die jeweils neuesten Entwicklungen in den verschiedenen Naturwissenschaften verfolgt, kann man sich des Eindrucks nicht erwehren, dass es in Wissenschaften wie Genetik, Festkörperphysik, Astronomie und Molekularbiologie alle paar Jahre einen deutlich erkennbaren Wissensfortschritt gibt, während in den Sozialwissenschaften alle paar Jahre die Themen und die Interpretationen wechseln. Natürlich gibt es auch in der Soziologie, der Politikwissenschaft und der Wirtschaftswissenschaft Wissensfortschritte, aber im Großen und Ganzen scheint es, dass die wissenschaftliche Entwicklung in den Naturwissenschaften kumulativ, in den Sozialwissenschaften dagegen eher additiv ist. Zugleich kann man feststellen, dass der Wissensfortschritt in Naturwissenschaften wie den eben genannten eng mit der Entwicklung neuer Forschungstechnik – von Instrumenten, Apparaten und Verfahren – zusammenhängt, während forschungstechnische Innovationen in den Sozialwissenschaften keine nennenswerte Rolle zu spielen scheinen. Diesen Eindruck vermittelt unter anderem das Heft *Forschungsperspektiven der Max-Planck-Gesellschaft 2005* (Max-Planck-Gesellschaft 2005). In den Abschnitten, in denen naturwissenschaftliche Forschungslinien dargestellt werden, wird ständig ganz ausdrücklich vom Erkenntnisgewinn durch neue Forschungstechnik gesprochen – durch noch auflösungsstärkere Elektronenmikroskope, neue Detektoren, neue katalytische Verfahren oder den Forschungsreaktor ITER. Dagegen werden forschungstechnische Innovationen bei der Darstellung von Forschungsperspektiven, an denen vor allem sozialwissenschaftliche Institute beteiligt sind, kein einziges Mal erwähnt. Gibt es zwischen diesen beiden Beobachtungen einen Zusammenhang? Oder anders gefragt: Wie ist der Zusammenhang zwischen Wissensfortschritt und forschungstechnischer Entwicklung? Kann es sein, dass Technik in den Naturwissenschaften, aber *nur* in den Naturwissenschaften eine zentrale Rolle bei der kognitiven Innovation spielt?

Um dieser Frage nachzugehen, muss man zunächst zwischen Forschungs*technik* und Forschungs*logik* unterscheiden. Unter Forschungstechnik verstehe ich materielle Artefakte, mit deren Hilfe wir Gegenstände unserer wissenschaftlichen Neugier erfassen, das heißt, direkt oder indirekt beobachten und messen, und gegebenenfalls experimentell manipulieren. Forschungslogik bezeichnet dagegen den bei der Ermittlung wissenschaftlichen Wissens benutzten methodischen Ansatz, der es erlauben soll, gültige („wahre“) – und nachprüfbare – Aussagen über Wirklichkeit zu machen. Die empirischen Sozialwissenschaften haben sich am Modell der Naturwissenschaften orientiert und damit auch die Forschungslogik der Naturwissenschaften übernommen. Sie suchten damit in einer Zeit, in der Physik mehr galt als Metaphysik, den Status von *Wissenschaften* zu reklamieren – was ihnen im englischen Sprachbereich, wo *the sciences* die Naturwissenschaften meint, semantisch bis heute nicht ganz geglückt ist.

Überarbeitete Fassung des gleichnamigen Vortrags, gehalten im Rahmen des Einstein-Kolloquiums der Max-Planck-Gesellschaft am 14. Juni 2005 in Berlin.

Gewiss ist der Königsweg der wissenschaftlichen Methode, das Experiment, für die Sozialwissenschaften nur in engen Grenzen begehbar. Sozialwissenschaftliche Laborstudien, wie sie unter anderem im Max-Planck-Institut zur Erforschung von Wirtschaftssystemen durchgeführt werden (Jahresbericht 2004: 4–6), gibt es allenfalls im Bereich individuellen Verhaltens, insbesondere von Entscheidungsverhalten, und der Kleingruppendynamik. Aber auch die Naturwissenschaften sind nicht alle Laborwissenschaften, sondern zum Teil so genannte „Feldwissenschaften", die ihre Objekte – Eisberge etwa, Ozonlöcher, Neutronensterne oder Vulkanausbrüche – nicht zu Versuchszwecken manipulieren können. Auf jeden Fall wollen die empirischen Sozialwissenschaften ebenso wie die Naturwissenschaften ihre Gegenstände durch direkte Beobachtung oder indirekt über Indikatoren erfassen, und für beide besteht wissenschaftlicher Fortschritt zum einen darin, bislang unbekannte Phänomene zu entdecken beziehungsweise bekannte genauer zu beschreiben, zum anderen aber in der Feststellung bislang nicht bekannter beziehungsweise der Korrektur bislang falsch interpretierter kausaler, genetischer und funktionaler Zusammenhänge. Dabei kann man grob die Phase der Datenerhebung von der Phase der Datenanalyse und Interpretation unterscheiden. Praktisch sind beide Phasen oft eng verbunden, zumal wenn die Datenerhebung bereits von der Suche nach Zusammenhängen gesteuert wird.[1]

Wenn sich Natur- und Sozialwissenschaften in ihrer Forschungslogik nicht unterscheiden, wie steht es dann mit dem Gebrauch technischer Hilfsmittel? Forschungstechnik hilft uns zu „sehen", was für uns nicht sichtbar ist, hilft Frequenzen, Strahlen und Partikel zu erfassen, die unsere Sinne nicht registrieren können, und sie hilft zu manipulieren, was für unsere Hände zu klein ist. In den Naturwissenschaften wird Forschungstechnik in Form von Instrumenten, Apparaten und technisch basierten Verfahren dementsprechend beim *Erfassen* von Gegenständen und bei ihrer experimentellen Manipulation genutzt. Es war die Forschungstechnik, die es uns erlaubt hat, immer tiefer in die direkter menschlicher Wahrnehmung unzugänglichen Bereiche des ganz Kleinen und des ganz Großen einzudringen. Schon am Beginn der kognitiven Neurowissenschaften in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts spielte ein Apparat, das zum Präzisionsinstrument zur Zeiterfassung entwickelte Chronoskop eine wichtige Rolle (Rötger 2004). Damit konnte man aber lediglich menschliche Reaktionsgeschwindigkeiten messen. Heute erlauben es Positronenemissionstomografie und Magnetresonanztomografie, Vorgänge im lebenden Gehirn anhand messbarer Indikatoren (zum Beispiel Stoffwechsel) zu beobachten. In der Astrophysik haben die neuen Teleskope, Raumsonden und Forschungssatelliten die rasante Entwicklung der letzten Jahrzehnte ermöglicht, während die neue Fluoreszenz-Mikroskopie es im Nano-

1 Das ist allerdings nicht immer der Fall. In der Entwicklung der Radioastronomie zum Beispiel galt alle Aufmerksamkeit zunächst der technischen *Erfassung* kosmischer Strahlung von diskreten Quellen; die Frage nach ihrem Ursprung und nach ihrer kosmologischen Bedeutung wurde erst später gestellt (Edge/Mulkay 1976).

bereich erlaubt, durch nichtinvasive Verfahren noch unverstandene Prozesse in der Physiologie der Zelle aufzuklären.[2] In den Laborwissenschaften basieren auch Fortschritte in der experimentellen Manipulation auf moderner Forschungstechnik; die Genforschung ist hierfür ein geläufiges Beispiel. Selbst bei der Erforschung von Vergangenem, das sich allenfalls aufgrund von Spuren untersuchen lässt, die es hinterlassen hat und die wir erfassen können, spielt moderne Technik eine entscheidende Rolle. Erst Satellitenaufnahmen von einer Raumfähre aus erlaubten es, den Krater zu lokalisieren, der an der Wende zwischen Kreidezeit und Tertiär durch den Einschlag eines circa 10 Kilometer großen Himmelskörpers entstand und unter anderem das lange Zeit rätselhaft gebliebene Aussterben der Dinosaurier verursachte (Lausch 2004). Und es brauchte moderne Bohrtechnik und chemische Analysetechnik, ehe es gelang, durch die Analyse meterlanger Eisbohrkerne längst vergangenes Klima zu rekonstruieren.

In allen diesen Fällen sind technische und theoretische Entwicklung in einer Art von Ko-Evolution miteinander verbunden. Zwar scheint sich die Entwicklung von Forschungstechnik, je voraussetzungsvoller sie wird, vom substantiellen Forschungsprozess zu lösen und sich zu verselbständigen, so bei der Entwicklung von Teilchenbeschleunigern, Detektoren, Tomographen oder hochempfindlichen Sensorchips, wie im Münchener Halbleiterlabor der Max-Planck-Gesellschaft (Röhlein 2004). Aber als es zum Beispiel darum ging, die komplexe Struktur von Eiweißmolekülen mit den Methoden der Röntgen-Kristallographie zu bestimmen, wussten die Forscher, was sie sehen und tun können müssten, um ihre Fragen beantworten zu können; dieses Wissen stimulierte dann die Entwicklung spezieller Apparate und Verfahren (Law 1976). Die verfügbare Forschungstechnik bestimmt, was untersucht werden kann, aber es sind die offenen Fragen der Wissenschaftler, die umgekehrt die Entwicklung von Forschungstechnik anregen.

Ohne Zweifel wurde also die naturwissenschaftliche Entwicklung der Neuzeit ganz wesentlich von der Verfügung über immer leistungsfähigere Instrumente zur Beobachtung, Messung und experimentellen Manipulation in Bereichen bestimmt, die dem Forscher nicht unmittelbar zugänglich sind. Die empirischen Sozialwissenschaften brauchen dagegen keine technischen Krücken, um sich ihrem Gegenstand zu nähern. Ihre Gegenstände sind menschlicher Erfahrung direkt zugänglich. Menschen erfahren unmittelbar nicht nur das Tun und Lassen anderer Menschen, sondern auch Ereignisse wie die Wiedervereinigung und soziale Gebilde wie das Unternehmen Siemens oder den deutschen Staat. Dennoch haben die Sozialwissenschaften beim Erfas-

2 Dafür hat Stefan Hell vom Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie einen Preis der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften bekommen (Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften 2004).

sen ihrer Gegenstände, beim Beobachten, Messen und experimentellen Manipulieren Probleme. Die Gründe dafür sind oft erörtert worden.

Da ist zum einen die Tatsache der Historizität sozialer Phänomene. Traditionen, Familienformen, Produktionsweisen und Staaten haben sich ständig verändert; sie sind gewissermaßen „moving targets", und die sind notorisch schwer zu erfassen. Aber auch HIV-Viren sind ein „moving target", und auch die Erde und die Gattung *homo sapiens* haben Geschichte. Historische Wandelbarkeit ist insofern keine prinzipielle Grenze der Erfassbarkeit. Sie zwingt allerdings dazu, eher nach Wandlungsprozessen und ihren Ursachen als nach zeitlos gültigen Eigenschaften von Phänomenen zu fragen.

Dann ist da zweitens die große Rolle schwer erfassbarer immaterieller Faktoren, von Ideen, Glaubensinhalten und Werten für soziales Verhalten und soziales Geschehen. Auch dies ist jedoch keine unüberwindbare Grenze; Ideologien, Werthaltungen oder kulturelle Leitbilder lassen sich empirisch durchaus ermitteln. Wo aber liegt dann das Problem? Das zentrale Problem ist der Konstruktcharakter sozialer Makrophänomene. Das Verhalten von Individuen und die Vorgänge in Kleingruppen wie Schulklassen oder Familien lassen sich grundsätzlich direkt erfassen, auch wenn der Zugang etwa bei kriminellem Verhalten oder zu den Zellen von Al Qaeda praktisch eingeschränkt ist. Die Sozialwissenschaften haben sogar eine Zugangsmöglichkeit, die den Naturwissenschaften fehlt: Sie können mit ihrem Gegenstand, mit Menschen sprechen. Der großen Bedeutung sprachlicher Kommunikation bei der Datenerhebung entsprechend ist vor allem das Befragen in den Sozialwissenschaften zu einer ausgefeilten Methodik entwickelt worden.[3] Technische Artefakte spielen dabei abgesehen von Aufnahmegeräten keine Rolle. Soziale Makrophänomene jedoch, soziale Gebilde wie Märkte oder Parteiensysteme existieren nicht als wahrnehmbare Ganze; sie haben keine physische Realität. Moleküle, Mikroben und ferne Galaxien sind prinzipiell sichtbar, auch wenn wir sie mit unbewaffnetem Auge nicht sehen können. Aber das deutsche Parteiensystem, der Staat oder das Unternehmen Siemens existieren nur als Strom von Aktionen, Interaktionen und Transaktionen; sie sind nur greifbar in ihren Elementen und Produkten. Unternehmen, so Gabel und Bruner (2003, X, 28–33), existieren weniger im geographischen Raum als innerhalb von Märkten; aber auch ein Markt ist nichts weiter als ein Strom von Transaktionen, die zwischen Zulieferern, Herstellern, Verkäufern und Abnehmern stattfinden.

Nun hat uns schon Max Weber eingeschärft, dass „Verband" oder „Staat" theoretische Konstrukte sind. Das gilt allerdings auch für manche naturwissenschaftliche Kategorien etwa in der theoretischen Physik: das „Atom" und der „Urknall" sind eben-

3 Im Unterschied zu Anweisungen für die Handhabung technischer Artefakte handelt es sich bei diesen sozialwissenschaftlichen Erhebungsmethoden um Regeln für die sprachliche Kommunikation.

falls theoretische Konstrukte. Phänomene wie Verbände und Staaten (und wohl auch das Atom) sind aber, ontologisch gesprochen, auch reale Konstrukte. Soziale Makrophänomene wie das Internet, die Deutsche Bank oder die SPD jedenfalls sind in einem sehr direkten Sinn *tatsächlich konstruiert*, das heißt, von realen Menschen handelnd erzeugt. Diese sozialen Konstrukte lassen sich wissenschaftlich erfassen, indem man ihre Elemente, das Handeln von Menschen, und ihre individuellen und kollektiven Hervorbringungen (zum Beispiel Gesetze, Entscheidungen) erfasst. Dabei hilft es, dass Menschen nicht nur über ihr eigenes Tun und Denken, sondern auch über Ereignisse Auskunft geben können, die sie miterlebt haben oder an denen sie aktiv beteiligt waren. Menschliche Tätigkeiten hinterlassen außerdem vielfältige schriftliche Spuren; derartige prozessproduzierte Daten – Akten, Pläne, Berichte – erlauben es uns, viele Arten von Transaktionen zu registrieren und zu zählen; zumal wo Geld involviert ist, hinterlassen Transaktionen messbare Spuren. Gespräche und schriftlich Festgehaltenes sind die wichtigsten sozialwissenschaftlichen Datenquellen, auch für die Untersuchung von Makrophänomenen.[4]

Es bleibt jedoch dem Forscher überlassen, die vielfältigen Informationen zu einem Bild des Ganzen zusammenzufügen, und es gibt keine Technik, die uns auf ähnliche Weise zusammengesetzte soziale Phänomene sichtbar machen könnte, wie das für viele der empirisch messbaren naturwissenschaftlichen Gegenstände gilt. So können wir mit technischer Hilfe nicht nur Zellen, sondern auch Organismen, nicht nur einzelne Sterne, sondern auch Galaxien „sehen". Der Sozialwissenschaftler bleibt auf die theoretisch interpretierende Rekonstruktion sozialer Makrophänomene angewiesen. Die Notwendigkeit, reale soziale Prozesse der Emergenz von Makrophänomenen gedanklich nachzuvollziehen, ist der entscheidende Grund für die große Bedeutung des so genannten Mikro-Makro-Problems in der Soziologie. Dabei gibt es natürlich immer verschiedene Möglichkeiten der Re-Konstruktion – was dazu führt, dass es in den Sozialwissenschaften viele unterschiedliche Theorien zum Beispiel über Institutionenwandel, gesellschaftliche Integration und das Funktionieren von Märkten gibt.

Im Unterschied zu den Naturwissenschaften spielt also Forschungstechnik, spielen technische Apparate beim *Erfassen* sozialwissenschaftlicher Erkenntnisobjekte keine nennenswerte Rolle. Ganz anders bei der *Auswertung* erhobener Daten. Schon immer ist Statistik in den Sozialwissenschaften benutzt worden. Die Erhebung von Massendaten basiert auf der statistischen Stichprobentheorie, und ihre Auswertung bedient sich vielfältiger statistischer Methoden. Die Statistik erlaubt sogar ein quasi-experimen-

4 Dieser wissenschaftliche Zugang ist eine Besonderheit aller Disziplinen, die es unmittelbar mit dem Menschen und seinen Hervorbringungen zu tun haben. Es ist die Sprache, die menschliche Gemeinschaften von allen anderen Bereichen der Natur unterscheidet: Ohne gesprochene und schriftlich fixierte Sprache gäbe es unseren Gegenstand nicht, gäbe es keine komplexen sozialen Gebilde – eine Tatsache, die bei den meisten Sozialwissenschaftlern zu den nicht mehr bewusst wahrgenommenen Selbstverständlichkeiten ihres Fachs gehört.

telles Vorgehen bei der Auswertung, indem Versuchs- und Kontrollgruppen statistisch nachgebildet werden. Dabei handelt es sich aber keineswegs um eine Übernahme aus den Naturwissenschaften. Vielmehr haben Natur- und Sozialwissenschaften unabhängig voneinander bei der Datenanalyse auf statistische und andere mathematische Verfahren zurückgegriffen. Die Entwicklung der aus der Moralstatistik hervorgehenden Disziplin der Statistik hing ursprünglich sehr viel stärker mit sozialpolitischen Bemühungen als mit naturwissenschaftlicher Forschung zusammen. Ganz ähnlich wurde die Entwicklung mathematischer Modelle von Diffusionsprozessen, die spieltheoretische Modellierung strategischer Interdependenz oder die Versuche sozialwissenschaftlicher Anwendungen von Katastrophentheorie und Chaostheorie von der Verfügbarkeit der betreffenden analytischen Methoden und nicht durch bestimmte naturwissenschaftliche Theorien angeregt (Mayntz 1992).

Jede Anwendung statistischer und mathematischer Methoden bei der Datenanalyse verlangt einen gewissen Rechenaufwand, und an diesem Punkt wurde Forschungstechnik auch für die Sozialwissenschaften bedeutsam – in Gestalt der modernen Rechentechnik. Den Anfang machte die Hollerith- oder Fachzählsortiermaschine. Inzwischen haben wir die modernen Rechner und Tischcomputer. Die große Rechenkapazität des Computers erlaubt nicht nur die Verarbeitung von Massendaten zum Beispiel für die Darstellung der demographischen Struktur einer Bevölkerung oder von Import-/Exportbilanzen. Anspruchsvolle Methoden wie die Regressionsanalyse, die „pooled time-series cross-section analysis“ (Beck/Katz 1995) oder die auf Boolescher Algebra basierende Analysetechnik von Ragin (1987) erlauben auch Rückschlüsse auf kausale Zusammenhänge.

Die Bedeutung der modernen Rechentechnik für die Auswertung von Daten ist natürlich kein Spezifikum der Sozialwissenschaften. Auch in den von Anfang an mathematisierten Naturwissenschaften ist der Computer zu einem unentbehrlichen forschungstechnischen Artefakt geworden. Bei der Erforschung der Struktur von komplexen Eiweißmolekülen zum Beispiel, so berichtet John Law (1976), waren zwei Arten technischer Probleme zu lösen: die Erfassung der reflektierten Röntgenstrahlen und die Verarbeitung der massenhaft anfallenden Messdaten, wozu nur der Computer in der Lage war. Ähnliches gilt heute für die astrophysikalische Forschung und für die im CERN betriebene Kernforschung, die nicht nur einen Teilchenbeschleuniger, sondern auch eine riesige Rechenkapazität zur Verarbeitung der anfallenden Daten verlangt. Die moderne Rechentechnik ist die Grundlage für die heute beobachtete Mathematisierung nicht nur „der Natur“, wie es in der Vorlesungsreihe der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften im Sommer 2005 heißt, sondern in *allen* empirischen Wissenschaften.

Der Computer bietet verschiedene interessante Möglichkeiten für die Datenauswertung – die mathematische Modellierung, die Visualisierung, und die Simulation.

Mathematische Modelle bilden empirische Zusammenhänge in einem Satz von Gleichungen ab und leiten daraus abstrakte Funktionen, Maxima, Minima und Gleichgewichtsbedingungen ab. Mathematische Modellierung ist zumal in den Naturwissenschaften nichts Neues. Schon zu Beginn des 17. Jahrhunderts meinte Francis Bacon, dass wir viele Bereiche der Natur ohne die Unterstützung der Mathematik nicht mit ausreichender Schärfe beobachten könnten (Rötger 2005: 37). Der Computer hat die mathematische Modellierung enorm erleichtert; sie wird heute nicht nur in den Naturwissenschaften, sondern zunehmend auch in den Sozialwissenschaften benutzt. Dabei können die mathematisch formulierten Zusammenhänge beobachtete sein, sie können aber auch axiomatisch gesetzt werden. Derartige Modelle werden nicht nur in der Wirtschaftswissenschaft vielfach entwickelt. Auch das überraschende Auftreten von Revolutionen ist mit einem aus bestimmten theoretischen Prämissen abgeleiteten mathematischen Modell erklärt worden (Kuran 1989); das Modell zeigt, bei welchem Verhältnis von negativen privaten zu öffentlich erklärten Meinungen stiller Protest in öffentlichen Protest umschlägt.

Bildgebende Verfahren haben in den Naturwissenschaften spätestens seit Erfindung der Fotografie eine wichtige Rolle gespielt. Inzwischen haben sich die technischen Möglichkeiten der Visualisierung durch die Digitalisierung und den Computer enorm vergrößert. Computergestützte Visualisierung wird heute unter anderem in der Hirnforschung, der Strukturchemie, der Nanotechnologie und der Astronomie benutzt (Heßler 2004). Die visuelle Reproduktion von Messdaten bildet nicht nur Gegenstände wie ein komplexes Eiweißmolekül ab; sie erlaubt auch Veränderungen wie die Aktivierung bestimmter Hirnareale oder versteckte Muster zu erkennen, die sich auch der technisch unterstützten direkten Wahrnehmung entziehen. Ein schönes naturwissenschaftliches Beispiel dafür sind Arbeiten von Gregor Morfill im Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik. Morfill wollte ein Verfahren entwickeln, um Muster erkennen zu können, die sich möglicherweise in dem bei allen astrophysikalischen Messungen auftretenden Rauschen verbergen. Messdaten aus der Weltraumforschung werden dazu in mehrdimensionale Zustandsräume auf dem Computer eingetragen und sichtbar gemacht, sodass man eventuell vorhandene Muster optisch erkennen kann (Morfill/Bunk 2000). Auch die mittels MRT erzeugten farblichen Darstellungen der (über Veränderungen im Blutfluss indirekt gemessenen) neuronalen Aktivität im Gehirn sind das Ergebnis statistischer Computerberechnungen mit willkürlich festgelegten Schwellenwerten (Korte 2004: 27).

In den Sozialwissenschaften lassen sich unter anderem die ökonomischen Austauschbeziehungen zwischen Ländern oder die finanziellen Abhängigkeitsbeziehungen zwischen den Töchtern eines Konzerns mit Hilfe des Computers eindrucksvoll veranschaulichen (Krempel 2005). Während jedoch die mit Hilfe des Computers visualisierten biologischen oder geologischen Strukturen trotz künstlicher Farbkodierung physische Realität besitzen, sind die in der Soziologie aus Befragungsdaten beziehungsweise Messdaten ermittelten Netzwerkstrukturen Konstrukte, abgeleitete Beschreibungen von Transaktionen über einen Zeitraum.

Die dritte der oben genannten Möglichkeiten der Computernutzung, die Simulation, ist vermutlich die spannendste und könnte die theoretisch fruchtbarste sein. Hier werden komplexe, nichtlineare Systeme *dynamisch* modelliert. Gerade für die Sozialwissenschaften war die Komplexität ihrer Gegenstände schon immer ein Hindernis bei der Suche nach theoretischen Verallgemeinerungen. Dessen war sich offenbar auch Einstein bewusst. John Maynard Keynes, der berühmte Ökonom, berichtet, dass

> Professor Planck, of Berlin, the famous originator of the Quantum Theory, once remarked to me that in early life he had thought of studying economics, but had found it too difficult. Professor Planck could easily master the whole corpus of mathematical economics in a few days. He did not mean that. But the amalgam of logic and intuition and the wide knowledge of facts, most of which are not precise, which is required for economic interpretation in its highest form, is, quite truly, overwhelmingly difficult for those whose gift mainly consists in the power to imagine and pursue to their furthest points the implications and prior conditions of comparatively simple facts which are known with a high degree of precision.
> (Keynes 1951: 158n)

Im Unterschied zur statischen Repräsentation von Interdependenzen in mathematischen Gleichungssystemen erlaubt es die Computersimulation, *Abläufe* in komplexen Systemen modellartig nachzubilden. Mit solchen Modellen lässt sich auch experimentieren, indem man Parameter und postulierte Zusammenhänge verändert und die Auswirkungen auf das Verhalten des Systems prüft. Der Computer wird damit zum regelrechten Labor. Computersimulation wird heute in allen Wissenschaften benutzt, die sich für das Verhalten komplexer Systeme im Zeitablauf interessieren. So haben zum Beispiel Forscher des Max-Planck-Instituts für Gravitationsphysik die Kollision und Verschmelzung Binärer Schwarzer Löcher mit Neutronensternen im Computer simuliert, während Forscher am Institut für theoretische Biologie an der Berliner Humboldt-Universität Signalkaskaden in Zellen mit normalem und mit mutiertem RAS-Molekül simulieren, um das Entstehen von Krebs zu verstehen (Beispiele aus Gramelsberger 2004). Geläufig sind die in der Klimaforschung und der Meteorologie benutzten, überaus komplexen Simulationsmodelle. Eine der frühesten sozialwissenschaftlichen Anwendungen der Computersimulation war das „Urban Dynamics"-Modell von Jay W. Forrester (1969); bekannter ist wohl des Weltmodell des Club of Rome. Ein anderes sozialwissenschaftliches Anwendungsbeispiel ist die Computersimulation des Zusammenhangs von politischer Legitimität, internationalem Konflikt und imperialistischer Expansion unter marktwirtschaftlichen Bedingungen (Hanneman et al. 1995).

Die eben genannten wie überhaupt die meisten Simulationsmodelle operieren mit abstrahierten Variablen. Daneben gibt es die so genannten Agentenmodelle, die das Verhalten einer Vielzahl individueller Agenten nachbilden.[5] So kann man etwa die

5 Dieser Methode wurde kürzlich eine ganze Nummer des American Journal of Sociology (Band 110, Nr. 4, 2005) gewidmet.

spontanen Bewegungen von hunderten oder tausenden von Menschen bei der – hypothetischen – Evakuierung des Dortmunder Westfalenstadions simulieren (Schröder 2004: 82). In einem anderen Agentenmodell wurde das Entstehen von Innovationsnetzwerken in verschiedenen Branchen (Biotechnologie, Mobiltelefonie) auf der Basis des Handelns von Forschung treibenden Firmen, Universitätslabors und Investoren/Geldgebern simuliert (Gilbert/Pyka/Ahrweiler 2001). Die „Agenten" müssen aber keine Menschen oder soziale Einheiten sein. Forscher des Max-Planck-Instituts für die Physik komplexer Systeme haben zum Beispiel das Verhalten hunderttausender Myxobakterien-Zellen bei Nahrungsarmut im Computer simuliert (Wengenmayr 2003: 49–50), während im Forschungszentrum Jülich neue Höchstleistungscomputer eingesetzt werden, um sämtliche Wechselwirkungen zwischen mehreren Millionen einzelner Elektronen und Ionen für den Fall berechnen zu lassen, dass hochintensives Laserlicht sich in einen Festkörper bohrt (Sterling 2005: 87).

Kehren wir zur Ausgangsfrage zurück. Welche Rolle spielt Forschungstechnik beim wissenschaftlichen Fortschritt in den Naturwissenschaften und in den Sozialwissenschaften? In vielen naturwissenschaftlichen Forschungsgebieten ist der heutige Kenntnisstand dem ständigen Fortschritt in der verfügbaren Mess- und Beobachtungstechnik zu verdanken. In den Sozialwissenschaften hat es dagegen nur vergleichsweise geringe technisch bedingte Fortschritte beim Erfassen, Messen und experimentellen Manipulieren gegeben. Der Grund dafür liegt in der Beschaffenheit der sozialwissenschaftlichen Erkenntnisobjekte, die in ihren Elementen, menschlichem Handeln, dem Forscher direkt zugänglich sind, als komplexe Makrophänomene aber keine physische Realität besitzen und auch mit technischer Hilfe nicht als Ganze sichtbar zu machen sind. Wo Wissensfortschritt von Fortschritten beim beschreibenden Erfassen von Phänomenen abhängt, können technische Apparate den Sozialwissenschaften nicht helfen; hier findet Wissensfortschritt deshalb weniger beim immer tiefenschärferen Beobachten und genaueren Messen als im Bereich der Datenauswertung und der theoretischen Interpretation statt. Dabei spielt moderne Forschungstechnik in Gestalt des Computers eine wichtige Rolle. Wo Erkenntnisfortschritt auf der Manipulation und Interpretation bereits erhobener Daten basiert, erlaubt es die Rechenkapazität des Computers, Muster und Zusammenhänge aufzuspüren, die anders nicht erkennbar wären. Da der Computer auch in den Naturwissenschaften schwergewichtig bei der Auswertung empirischer Daten eingesetzt wird, hat diese Form der Forschungstechnik heute für den Erkenntnisfortschritt in Natur- und Sozialwissenschaften eine vergleichbar große Bedeutung. Die Forschungstechnik baut hier eine Brücke zwischen Natur- und Sozialwissenschaften. Hinter dieser Annäherung steht eine theoretische Erkenntnis, die Einsicht nämlich, dass wir es sowohl in der natürlichen wie in der sozialen Welt oft mit komplexen dynamischen Systemen zu tun haben, deren Analyse forschungspraktisch nur mit dem Computer zu bewältigen ist.

Das forschungstechnisch ermöglichte, ständig tiefere Eindringen in Bereiche des Großen und Kleinen vermittelt in den Naturwissenschaften den Eindruck kumulativen Wissensgewinns. Der Eindruck, dass die wissenschaftliche Entwicklung in den Sozial-

wissenschaften weniger kumulativ verläuft, hängt aber nicht nur mit der eingeschränkten Beobachtbarkeit insbesondere ihrer komplex zusammengesetzten Gegenstände zusammen, sondern auch mit deren vergleichsweise hohen Wandelbarkeit. Damit kumulativer Wissensfortschritt im Sinne immer detaillierterer Aussagen über ein gegebenes Phänomen praktisch möglich ist, muss das Erkenntnisobjekt eine gewisse Dauerhaftigkeit besitzen; es muss sozusagen „stillhalten", um immer genauer analysiert zu werden. Diese Voraussetzung ist in den Sozialwissenschaften und hier wieder speziell im Bereich sozialer Makrophänomene nicht gegeben. John Dryzek und Stephen Leonard (1988) zufolge zwingt die fortwährende Veränderung politikwissenschaftlicher Gegenstände die Disziplin, ständig neue Themen aufzugreifen, was einem kumulativen Wissensfortschritt entgegensteht.

Hier gilt es allerdings, mit Mahoney (2003) zwischen der Kumulation deskriptiven und kausalen Wissens zu unterscheiden. In allen, auch den naturwissenschaftlichen Disziplinen, die es mit relativ stark wandelbaren Phänomenen zu tun haben, bedeutet schon das genaue Erfassen der empirischen Varianz, der wechselnden Formen von Kapitalismus, von politischen Regimen oder auch von HIV-Mutanten (deskriptive) Wissenskumulation. Generalisierte Kausalzusammenhänge, ob als Wirkprinzipien, Mechanismen oder soziale Gesetzmäßigkeiten formuliert, können sich in verschiedenen Kontexten manifestieren und besitzen insofern eine größere „Dauerhaftigkeit". Auch auf dieser Ebene gibt es, wie nicht nur Mahoney betont,[6] in den Sozialwissenschaften eine (kausale) Wissenskumulation, zum Beispiel über das Entstehen von Revolutionen oder die Voraussetzungen einer stabilen Demokratie. Diese – auf der vergleichenden Analyse deskriptiv erfasster Fälle basierende – Wissenskumulation ist rein theoretischer Natur. Die so gewonnenen Verallgemeinerungen lassen sich, anders als etwa bei Kausalbeziehungen in der Zellbiologie oder der Festkörperphysik, nicht experimentell belegen und mit technischer Hilfe beobachtbar machen – was sie unsicherer und anfechtbarer erscheinen lässt als experimentell demonstrierbare Zusammenhänge.[7] Deutlich spürbar wird das nicht zuletzt bei der Erforschung von Prozessen der Emergenz in verschiedenen Wissenschaften. Wenn es mit Hilfe von Forschungstechnik gelingt, Beschaffenheit und Funktionsweise von Zellen oder von Atomen schrittweise auf ihre Elemente und deren Verhalten zurückzuführen, dann lässt sich damit auch die Emergenz von „Makro" aus „Mikro" unmittelbar als physische Realität erfassen. In den mit Makrophänomenen wie Märkten, politischen Regimen oder großen Unternehmen befassten Sozialwissenschaften ist die Mikro-Makro-Transformation nur theoretisch nachvollziehbar. Genau deshalb ist die Transformation von Mikroprozessen zu Makrophänomenen in den Sozialwissenschaften eine bislang nur unvollkommen bewältigte theoretische Herausforderung.

---

6 In dem Buch von Mahoney und Rueschemeyer (2003) schildern neben Mahoney selbst auch Goldstone und Amenta in eigenen Kapiteln die Wissenskumulation in speziellen Themenfeldern.

7 Das gilt auch für einige naturwissenschaftliche Bereiche wie zum Beispiel die Kosmologie.

Literatur

Beck, Nathaniel/Jonathan Katz, 1995: What to Do (and not to Do) with Time-Series Cross-Section Data. In: *American Political Science Review* 89, 634–647.

Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, 2004: *Medaillen, Preise und Stipendien 2004*. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.

Dryzek, John S./Stephen T. Leonard, 1988: History and Discipline in Political Science. In: *American Political Science Review* 82(4), 1245–1260.

Edge, David O./Michael J. Mulkay, 1976: *Astronomy Transformed. The Emergence of Radio Astronomy in Britain*. New York: Wiley.

Forrester, Jay W., 1969: *Urban Dynamics*. Cambridge, MA: M.I.T. Press.

Gabel, Medard/Henry Bruner, 2003: *Global Inc. An Atlas of the Multinational Corporation*. New York: The New Press.

Gilbert, Nigel/Andreas Pyka/Petra Ahrweiler, 2001: Innovation Networks – A Simulation Approach. In: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 4(3), <http://www.soc.surrey.ac.uk/JASS/4/3/8.html>

Gramelsberger, Gabriele, 2004: *Computersimulation in den Wissenschaften*. Explorationsstudie im Rahmen der BMBF-Förderinitiative „Wissen für Entscheidungsprozesse". Berlin.

Hannemann, Robert A./Randall Collins/Gabriele Mordt, 1995: Discovering Theory Dynamics by Computer Simulation: Experiments on State Legitimacy and Imperialist Capitalism. In: *Sociological Methodology* 25, 1–46.

Heßler, Martina, 2004: *Visualisierungen in der Wissenskommunikation*. Explorationsstudie im Rahmen der BMBF-Förderinitiative „Wissen für Entscheidungsprozesse". Aachen: RWTH.

Keynes, John Maynard, 1951 [1924]: Alfred Marshall: 1842–1924. In: *Essays in Biography*. London: Rupert Hart-Davis, 161–231.

Korte, Martin, 2004: Tag- und Nachtgeschichten. In: *Gegenworte*, Heft 13, Frühjahr 2004, 24–29.

Krempel, Lothar, 2005: *Visualisierung komplexer Strukturen. Grundlagen der Darstellung mehrdimensionaler Netzwerke*. Frankfurt a.M.: Campus.

Kuran, Timur, 1989: Sparks and Prairie Fires: A Theory of Unanticipated Political Revolution. In: *Public Choice* 61, 41–74.

Lausch, Erwin, 2004: Streit um das Ende der Dinosaurier. In: *Spektrum der Wissenschaft*, August 2004, 62–69.

Law, John, 1976: The Development of Specialties in Science: The Case of X-ray Protein Cristallography. In: Gerard Lemaine et al. (Hrsg.), *Perspectives on the Emergence of Scientific Disciplines*. Chicago: Aldine Publishing Co., 123–152.

Mahoney, James, 2003: Knowledge Accumulation in Comparative Historical Research: The Case of Democracy and Authoritarianism. In: James Mahoney/Dietrich Rueschemeyer (Hrsg.), *Comparative Historical Analysis in the Social Sciences*. Cambridge: Cambridge University Press, 131–174.

Max-Planck-Gesellschaft, 2005: *Forschungsperspektiven der Max-Planck-Gesellschaft 2005*. München: Max-Planck-Gesellschaft.

Mayntz, Renate, 1992: The Influence of Natural Science Theories on Contemporary Social Science. In: Meinolf Dierkes/Bernd Biervert (Hrsg.), *European Social Science in Transition: Assessment and Outlook*. Frankfurt a.M.: Campus, 27–79.

Morfill, Greg/Wolfram Bunk, 2000: New Designs on Complex Patterns. In: *Physics World*, April 2000, 41–45.

Ragin, Charles C., 1987: *The Comparative Method. Moving Beyond Qualitative and Quantitative Strategies*. Stanford: University of California Press.

Röhlein, Brigitte, 2004: Sensoren für das Unsichtbare. In: *MaxPlanckForschung* 4/2004, 30–34.

Rötger, Antonia, 2004: Chronos und Psyche – vom Zeitmaß des Denkens. In: *MaxPlanckForschung* 1/2004, 36–41.

——, 2005: Zahlenstrahl zündet Geistesblitze. In: *MaxPlanckForschung* 1/2005, 33–37.

Schröder, Tim, 2004: Stau im Stadion. In: *Spektrum der Wissenschaft*, Juni 2004, 82–83.

Sterling, Thomas, 2005: Supercomputer – die jüngsten Entwicklungen. In: *Spektrum der Wissenschaft*, März 2005, 85–89.

Wengenmayr, Roland, 2003: Wie Zellen Wellen schlagen. In: *MaxPlanckForschung* 1/2003, 48–52.

Recent Titles in the Publication Series of the MPIfG

MPIfG Discussion Papers

DP 05/6
J. Beckert
The Moral Embeddedness of Markets

DP 05/5
S. Ganghof
High Taxes in Hard Times How Denmark Built and Maintained a Huge Income Tax

DP 05/4
R. Boyer
How and Why Capitalisms Differ

DP 05/3
A. Trif
Explaining Diversity in Industrial Relations at Company Level in Eastern Europe: Evidence from Romania

DP 05/2
B. Ebbinghaus
Can Path Dependence Explain Institutional Change? Two Approaches Applied to Welfare State Reform

DP 05/1
C. Woll
Learning to Act on World Trade: Preference Formation of Large Firms in the United States and the European Union

MPIfG Working Papers

WP 05/8
F. W. Scharpf
No Exit from the Joint Decision Trap? Can German Federalism Reform Itself?

WP 05/7
A. Trif, K. Koch
Strategic Unionism in Eastern Europe: The Case of Romania

WP 05/6
F. W. Scharpf
Recht und Politik in der Reform des deutschen Föderalismus

WP 05/5
W. Streeck
Vom "kurzen Traum" zum langen Alptraum?

WP 05/4
W. Streeck
Nach dem Korporatismus: Neue Eliten, neue Konflikte

WP 05/3
C. Trampusch
Sequenzorientierte Policy-Analyse: Warum die Rentenreform von Walter Riester nicht an Reformblockaden scheiterte

WP 05/2
W. Streeck, C. Trampusch
Economic Reform and the Political Economy of the German Welfare State

WP 05/1
R. Mayntz, F.W. Scharpf
Politische Steuerung – Heute?

MPIfG Books

L. Krempel
Visualisierung komplexer Strukturen. Grundlagen der Darstellung mehr-dimensionaler Netzwerke
Campus, 2005

S. Leiber
Europäische Sozialpolitik und nationale Sozialpartnerschaft
Campus, 2005

S. Ganghof, P. Manow (Hg.)
Mechanismen der Politik. Strategische Interaktion im deutschen Regierungssystem
Campus, 2005

M. Hartlapp
Die Kontrolle der nationalen Rechtsdurchsetzung durch die Europäische Kommission
Campus, 2005

A. Sorge
The Global and the Local: Understanding the Dialectics of Business Systems
Oxford University Press, 2005

W. Streeck, K. Thelen (eds.)
Beyond Continuity: Institutional Change in Advanced Political Economies
Oxford University Press, 2005

J. Beckert
Unverdientes Vermögen. Soziologie des Erbrechts
Campus, 2004

Ordering Information

MPIfG Discussion Papers
Order printed copies from the MPIfG (you will be billed) or download PDF file from the MPIfG website (free).

MPIfG Working Papers
Online at the MPIfG website.

MPIfG Books
At bookstores; abstracts on the MPIfG website.

www.mpifg.de
Go to *Publications*.

New Titles
Consult our website for the most complete and up-to-date information about MPIfG publications and publications by MPIfG researchers. To sign up for newsletters and mailings, please go to *Service* on the MPIfG website. Upon request to info@mpifg.de, we will be happy to send you our *Recent Publications* brochure.

ERPA
MPIfG Discussion Papers and MPIfG Working Papers in the field of European integration research are included in the *European Research Papers Archive (ERPA)* which offers full-text search options:
http://eiop.or.at/erpa.