UWE SAINT-MONT

Statistik im Forschungsprozess

Eine Philosophie der Statistik als Baustein einer integrativen Wissenschaftstheorie

Physica-Verlag

Ein Unternehmen von Springer

Statistik im Forschungsprozess

Uwe Saint-Mont

Statistik im Forschungsprozess

Eine Philosophie der Statistik als Baustein einer integrativen Wissenschaftstheorie

Physica-Verlag

Prof. Dr. Uwe Saint-Mont
Fachhochschule Nordhausen
Fachbereich Wirtschafts- und
Sozialwissenschaften
Weinberghof 4
99734 Nordhausen
Deutschland
saint-mont@fh-nordhausen.de

ISBN 978-3-7908-2722-4 e-ISBN 978-3-7908-2723-1
DOI 10.1007/978-3-7908-2723-1
Springer Heidelberg Dordrecht London New York

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

Einbandentwurf: WMXDesign GmbH, Heidelberg

Gedruckt auf säurefreiem Papier

Physica-Verlag und Springer-Verlag sind Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media (www.springer.com)

There is no escaping the fact that statistics, unlike most disciplines, demands philosophical investigation.

(Healy 2000)

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkungen

E Pluribus Unum

(Über die Aufgabe von Wissenschaftstheorie und Philosophie)

Wege durch das Buch

Dieses Buch wurde für einen breiten Leserkreis geschrieben. Je nach Vorkenntnissen und Interessen gibt es deshalb verschiedene Wege durch die Kapitel. Kapitel 1 ist ein kurzer Abriss wissenschaftlicher Prinzipien, insbesondere betont es die Bedeutung der Mathematik. Kapitel 2 erläutert am Beispiel der Messtheorie den „Forschungszirkel" und die Invarianzidee. Kapitel 3 ist eine „tour de force" der klassischen Statistik: von den Grundbegriffen geht es über Hypothesentests zu Modellen. Kapitel 4 diskutiert das grundlegende Induktionsproblem und interpretiert die statistischen Vorgehensweisen als Strategien, ihm erfolgreich zu begegnen. Kapitel 5 führt Entwicklungen statistischer, philosophischer und fachwissenschaftlicher Provenienz unter dem Informationsgesichtspunkt zusammen. Kapitel 6 schließt mit einer integrativen Wissenschaftstheorie. Dem entsprechend könnte der Titel des Buches auch

> Statistik im Forschungszirkel: Induktion, Information und Invarianz
> (Saint-Mont 2009)

lauten, und man sollte auf keinen Fall die Synthese in Kapitel 5 überschlagen. Kapitel 4 dürfte ebenfalls für (fast) alle Leser interessant sein. Kapitel 6 wendet sich primär an Philosophen, Kapitel 3 an jene, die die Ideengeschichte der Statistik nachvollziehen wollen. Kapitel 2 ist eher für Spezialisten gedacht und kann deshalb bei einer ersten Lektüre übergangen werden. Kapitel 1 sollte zumindest für Wissenschaftler Allgemeingut sein.

Schwerpunktsetzung und mathematische Ausführungen

In dieser Schrift geht es vordergründig um Statistik: ihre Stellung im Kanon der Wissenschaften, ihre aktuelle Positionierung und Ausrichtung sowie ihre „philosophische" Fundierung. Tatsächlich handeln die Ausführungen jedoch nicht minder von Wissenschaftstheorie sowie deren aktueller Situation, auch wenn dieses Thema zunächst eher im Hintergrund steht und erst im letzten Kapitel explizit behandelt wird. Neben der Wissenschaftstheorie sehen wir die Wissenschaftsforschung. Darüber hinaus sind es die empirischen Wissenschaften, die sich ihrer bestimmenden Rolle bewusst sind und in den Vordergrund drängen. Der gesamte Ablauf wird umrahmt von Erkenntnistheorie, die mit ihren weitverzweigten und historisch gewachsenen Fragen dem Bild die nötige Tiefe verleiht.

Doch es ist die Mathematik, welche dem Ganzen Struktur verleiht, die Geschehnisse klärt, mit ruhiger Hand ordnet, Argumenten logischen Halt gibt und ihnen Schärfe verleiht. Omnipräsent und zugleich an der Oberfläche weniger sichtbar, das ist die Rolle der Mathematik in diesem Buch. Viele der entscheidenden Ideen sind tatsächlich inhaltlicher, nicht formaler Natur und lassen sich anhand typischer Beispiele und mit geringem formalem Aufwand erläutern. Hinzu kommen jedoch Heuristiken, rationale Argumente und logische Figuren, die ihre Kraft erst voll entwickeln, wenn sie in Form gebracht, in ein Modell gegossen und mathematisch präzisiert worden sind. Wie die Logik und die erfolgreichsten Naturwissenschaften ist die Statistik untrennbar mit Mathematik verwoben. Würde man diese entfernen, büßte das Gebäude nicht nur seine Stabilität, sondern gleichzeitig auch seinen abstrakten Kern und seine Fundamente ein. Es kommt also nicht nur darauf an, an einigen entscheidenden Stellen exakt zu sein. Die Bedeutung der Mathematik reicht viel weiter: Sie ist die logisch strenge, alles verbindende Argumentationsebene. Damit ermöglicht sie gegenseitiges Verständnis, Kommunikation und Zusammenarbeit. Dazu gleich mehr im nächsten Kapitel.

Es ist m.E. kein Zufall, dass die textorientierte Philosophie cum grano salis zu pointierten Positionen neigt, welche sich gerne zu Dogmen verhärten und deren Protagonisten sich häufig mit spitzen Argumenten begegnen, während Wissenschaftler ihre Meinungsdifferenzen mithilfe der neutralen Mathematik besprechen und klären können. Während Gegensätze im Bereich der Philosophie denn auch häufig zu „Ismen“ und Frustration führen, ist ihre Rolle im Bereich der empirischen Wissenschaften viel öfter konstruktiv und fruchtbar. Mit mathematischen Methoden werden zudem Einsichten und Gesetze zugänglich, die mit verbalen Mitteln unerreichbar bleiben. Mit revolutionär neuen, exakten Methoden beginnen schließlich auch wirkliche Lösungen klassischer Fragen zu reifen[1] und bislang gänzlich neue Felder lassen sich erschließen. So begann mit Newtons (und Leibniz') Differential- und Integralrechnung die klassische Physik und mit der Wahrscheinlichkeitsrechnung die traditionelle Statistik. Heute erleben wir, wie fundamentale Auseinandersetzungen um den zentralen Kausalitätsbegriff von einem systematischen Studium einschlägiger Zusammenhänge abgelöst werden, eben weil es den neuen Formalismus gerichteter Graphen gibt.

---

[1] Man denke nur an Achilles' Wettrennen mit der Schildkröte oder Epimenides' Lügner-Paradoxon.

Aus all diesen Gründen habe ich die für den Fortgang der Argumentation notwendige Mathematik eher ausführlich erläutert. Mein Ziel war dabei, einem formal wenig vorgebildeten Wissenschaftler den Zugang zu ermöglichen. Der mathematisch versierte Leser möge diese Erläuterungen überblättern und bei Interesse die Quellen konsultieren, wo er eine Vielzahl zumeist weit formalerer Argumentationen findet.[2] Im Vordergrund steht jedoch ganz eindeutig das Bemühen, die vorliegende Arbeit einem möglichst breiten Leserkreis zugänglich zu machen. Würde man sie zu sehr mathematisieren, so stünde der erzielte Gewinn an formaler Exaktheit in keinem Verhältnis zum Verlust an intuitiver Einsicht. Interdisziplinarität heißt nicht zuletzt, seine Gedanken so darzulegen, dass sie Vertretern möglichst vieler verschiedener Disziplinen auch zugänglich sind.

Dank

Der angenehmen Pflicht, mich bei all jenen zu bedanken, die dieses Buch möglich gemacht haben, komme ich gerne nach. An erster Stelle ist Prof. Klaus Fischer zu nennen, der den Weg von der ersten Skizze bis zum fertigen „Produkt“ maßgeblich unterstützt hat. Durch seinen Ansporn ging es schnell voran und mir blieben zahlreiche fruchtlose Wege erspart. Er und seine Kollegen Prof. Krieger, Prof. Hellhammer und PD Gómez-Tutor (alle Universität Trier) sowie Prof. Rahnenführer (TU Dortmund) haben das Manuskript gründlich geprüft und viele Verbesserungsvorschläge gemacht.

In Nordhausen hat Dr. G. Baumbach, der beste Kollege der Welt, das Manuskript nicht nur gründlich studiert, sondern mir auch während eines Forschungssemesters den Rücken freigehalten. Ich danke ihm und der Hochschule für die gewährte zeitliche Entlastung. Die Mitarbeiterinnen der Hochschulbibliothek haben selbst unzugänglichste Literatur gefunden und ohne ihre tatkräftige Unterstützung wäre das Buch nur eine Sammlung von Thesen. Schließlich hat der Springer-Verlag das Manuskript nicht nur umgehend als „gelbe“ Publikation akzeptiert, sondern bei seiner Fertigstellung auch professionell begleitet. Hierfür spreche ich Herrn Dr. Thomas und Frau Blanck meine Anerkennung aus.

Viele Fachwissenschaftler lächeln, wenn man ernsthaft allgemeinere „fundamentale“ Fragen erörtert. Das liegt nicht zuletzt daran, dass derartige Diskussionen gerne ins Prinzipielle abgleiten und schnell wenig fruchtbare, weltanschauliche Meinungsverschiedenheiten aufbrechen. Jedoch stößt man auf reges Interesse, wenn man über das fachliche Detail hinausdenkt, punktuelle Resultate sinnvoll verknüpft, interpretiert und in einen größeren Zusammenhang stellt. Derartige „Philosophie“ war, zumindest früher, ehe Spezialisten

[2] Ein Paradebeispiel ist die Messtheorie, siehe Kapitel 2. Auch in den Fußnoten habe ich meine „formale Zurückhaltung“ etwas gelockert.

das Feld beherrschten und Interdisziplinarität zu einem *buzzword* wurde, ein selbstverständlicher Bestandteil vieler Wissenschaften.

Ich danke deshalb heute ausdrücklich all jenen Kollegen, die mir zugehört haben, für ihre Toleranz, ihr Verständnis und ihre Kommentare. Sie haben mich ermutigt, mich dem vermeintlich unmodernen Thema *Statistik und Wissenschaftstheorie* zu widmen. Selbstverständlich bin nur ich alleine für alle verbliebenen Fehler verantwortlich.

Den größten Dank schulde ich jedoch nicht zuletzt, sondern zuallererst, meiner Familie, die durch ihre liebevolle Unterstützung das ganze Projekt erst möglich gemacht hat.

Kapitel 1
Einleitung

Centuries ago, when some people suspended their search for absolute truth and began instead to ask how things worked, modern science was born. Curiously, it was by abandoning the search for absolute truth that science began to make progress, opening the material universe to human exploration. It was only by being provisional and open to change, even radical change, that scientific knowledge began to evolve. And ironically, its vulnerability to change is the source of its strength.

Pagels (1985: 370), zitiert nach Kotz und Johnson (1993: xi)

Es gibt unzählige Bücher über Wissenschaft im Speziellen wie im Allgemeinen. Auch die Literatur zur Statistik und Wissenschaftstheorie füllt (kleinere) Bibliotheken. Einige Statistikbücher streifen bei bestimmten Themen nahezu zwangsläufig die Wissenschaftstheorie. Wenn es zum Beispiel um das Testen von Hypothesen geht, fällt mit großer Wahrscheinlichkeit der Name Poppers. Andererseits greifen auch manche wissenschaftstheoretische Bücher neben der (unvermeidlichen?) Logik zuweilen auf die Wahrscheinlichkeitstheorie und darüber hinaus gehend auf die Statistik zurück.

Es gibt jedoch kaum Literatur über die Grundlagen der Statistik. Gewiss, es existieren grundsätzliche Überlegungen zum Fach, und es wurden auch schon vehemente Auseinandersetzungen über das richtige „Paradigma" der Statistik geführt. Auch einige Philosophen haben sich - vor allem mit verbalen Argumenten - mit ihr auseinandergesetzt. Jedoch gibt es fast keine systematisch betriebenen, im Fach verankerten, einigermaßen neutrale Studien, die der Statistik in ihrer Breite und Tiefe gerecht würden. Das heißt, es gibt so gut wie keine etablierten Fachbücher oder eine im Curriculum gelehrte und gelebte, allgemein akzeptierte Philosophie der Statistik. Während die Philosophie der Mathematik so alt ist wie das Gebiet, mit dem sie sich beschäftigt, und seit den Anfängen der Stochastik auch ausführlich über Interpretationen des Wahrscheinlichkeitsbegriffs diskutiert wird, ist es bezüglich der Aufgabe und der Einordnung der Statistik bemerkenswert still geblieben oder aber, die Bemühungen von Fachwissenschaft und Philosophie laufen völlig auseinander.

1.1 Ausgangspunkt

> Es besteht [...] eine ungeheure Kluft zwischen logischen und wissenschaftstheoretischen Analysen von Begriffen der Prüfung, Bestätigung und der Bewährung von Hypothesen auf der einen Seite, und von Fachleuten im Gebiet der mathematischen

U. Saint-Mont, *Statistik im Forschungsprozess*, DOI 10.1007/978-3-7908-2723-1_1,

> Statistik angestellten Untersuchungen über diese Themenkreise auf der anderen Seite. (Stegmüller 1973: 1)[1]

Jedem Gebiet seine spezielle Wissenschaftstheorie ist zur Zeit eine populäre Forschungsstrategie. Sollte also nicht neben der Philosophie der Mathematik und ihrer Teilgebiete sowie all den speziellen Wissenschaftsphilosophien, insbesondere jener der Sozialwissenschaften (Mantzavinos 2009), Naturwissenschaften, z. B. Biophilosophie (Vollmer 1995b), Philosophie der Chemie (Baird et al. 2006), Philosophie der Physik (Feynman 2007) usw., noch eine spezielle Wissenschaftstheorie der Statistik treten? *Ja, selbstverständlich!* lautet die genauso naheliegende wie einleuchtende Antwort, womit der Autor dieser Arbeit sein Thema gefunden und zufrieden ans Werk gehen könnte.

Das ist aber nicht alles, lautet die Antwort, wenn man etwas tiefer über die Problemstellung nachdenkt, also im besten Sinne des Wortes „philosophiert". Denn womit beschäftigt sich die Philosophie, was sind ihre Gegenstände? Klassischerweise werden hier Logik, Metaphysik, Ontologie, Ethik und weitere praktische Philosophien sowie Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie genannt. Die Erkenntnistheorie fragt ganz allgemein, inwiefern man in der Lage ist, einen bestimmten Gegenstand zu erkennen, also Erkenntnisse über einen Sachverhalt zu gewinnen. Wie belastbar sind unsere Erkenntnisse, wie lassen sie sich begründen oder auch kritisieren? Kann man subjektive Einflüsse vom zu Erkennenden trennen und wenn ja, wie? Warum sind wir als Subjekte in der Lage, scharf zwischen uns Selbst und dem Rest der Welt zu trennen und dabei zugleich vermeintlich stimmige und passende Einsichten über letztere zu formulieren?

Diese allgemeinen Fragen verdichten sich im Bereich der Wissenschaftstheorie, weshalb heute *Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie* als Einheit gesehen werden bzw. zu einem verbundenen, feststehenden Ausdruck geworden sind (Störig 1987: 635). Inwieweit ist eine Theorie intersubjektiv verbindlich? Lässt sich der Einfluss der speziellen Instrumente, der konkreten Messung, des sozialen Umfeldes bzw. der eingenommenen Perspektive erkennen, quantifizieren oder vielleicht sogar eliminieren? Inwiefern unterscheiden sich wissenschaftliche Erkenntnisse und Forschungsstrategien von anderen Ansätzen? Warum sind die modernen Naturwissenschaften so erfolgreich, und wo liegen die Grenzen der Erkenntnis? Fragen dieser Art habe ich in (Saint-Mont 2000) diskutiert, wobei der Fokus darauf liegt, die Wissenschaftstheorie aus der Erkenntnistheorie herzuleiten.

Versteht man Wissenschaftstheorie als die Metatheorie der Wissenschaften, also als jene Wissenschaft, deren Forschungsfeld gerade die Wissenschaften sind, so kommt man konsequenterweise zu sehr konkreten, empirischen Fragestellungen. Denn wie der Erkenntisgewinnungsprozess der Natur- und Geisteswissenschaften funktioniert, ist letztlich eine *empirische* Frage. Anstatt darüber nachzudenken, wie Wissen gewonnen wird und und welche

[1] Das gesamte Zitat wird im Original hervorgehoben. Soweit nicht ausdrücklich anders angegeben, sind im folgenden bei allen Zitaten *Hervorhebungen* im Original.

Probleme es dabei im Prinzip gibt, schaut man sich intensiv die Wissenschaftspraxis an. Es ist deshalb nur konsequent, dass das Studium der Wissenschaftsgeschichte im Rahmen der Wissenschaftstheorie eine immer größere Rolle einnimmt. Schon die berühmten Paradigmenwechsel (Kuhn 1962) entstammen nicht philosophischer Spekulation, sondern gründen sich auf eine (zugegebenermaßen umstrittene) Rekonstruktion der Geschichte der Physik. Auch die aktuelle wissenschaftstheoretische Kontroverse um die Frage, ob bzw. inwieweit die Maßstäbe und Methoden der Wissenschaft universell und ahistorisch sind oder aber mehr oder minder stark von nicht primär wissenschaftlichen Aspekten abhängen, lässt sich so interpretieren. Insbesondere politische, gesellschaftliche und wirtschaftliche Interessen werden von einer ganzen Reihe relativistischer Ansätze geltend gemacht (siehe Chalmers 1999, 2006), auch persönliche Faktoren wie Geschlecht (Gender Studies), sozialer Status[2] und andere persönliche Faktoren werden diskutiert.

Ganz allgemein wandelten sich in den letzten Jahrzehnten prinzipielle philosophische Diskussionen über das Wesen von Wissenschaft zu klarer umrissenen Fragen der Wissenschaftsforschung. Von besonderer Bedeutung sind dabei naheliegenderweise jene Wissenschaften, die in den letzten Jahrzehnten und Jahrhunderten außerordentlich erfolgreich waren und infolge dessen geradezu explosionsartig gewachsen sind - die Naturwissenschaften. Was ist das Geheimnis ihres Erfolges, wie funktioniert der Erkenntnisprozess der Naturwissenschaften?

Die aktuelle Wissenschaftsforschung stellt sich dieser Aufgabe. Unbestritten ist, dass das Galileo Galilei zugeschriebene Zitat

> **Miß alles, was sich messen läßt, und mach alles meßbar, was sich nicht messen läßt.**[3]

zentrale Elemente erfolgreicher Erkenntnisgewinnung zumindest anreißt:

- Eine dezidiert *empirische* Ausrichtung, welche auf aktives Forschen und Experimentieren, eng verbunden mit der Erschließung neuer Felder, großen Wert legt.[4]
- Die zentrale Bedeutung *quantitativer* Methoden und Aussagen.

Gerade den letzten Aspekt unterstreicht Galilei (1623) mit seinem berühmten Zitat

> **Die Natur spricht die Sprache der Mathematik.**[5]

[2] Wie heißt es schon bei Marx (1972a: 9): „Es ist nicht das Bewußtsein der Menschen, das ihr Sein, sondern umgekehrt ihr gesellschaftliches Sein, das ihr Bewußtsein bestimmt."

[3] Siehe Kleinert (1988), der herausarbeitet, dass Galileo dieses Zitat wohl in den Mund gelegt wurde.

[4] Selbstverständlich gab es mehr als einen „Vater" der empirischen Forschung. Besonders erwähnt werden sollte der britische Empirismus und natürlich Bacon (1620).

[5] Galilei (1623) etwas ausführlicher: „Die Philosophie steht in jenem großen Buch geschrieben, das uns ständig offen vor Augen liegt (ich spreche vom Universum). Aber dieses Buch

Heute würde man wesentlich profaner sagen, dass man es mit *Daten* zu tun hat. Alle erfolgreichen empirischen Wissenschaften sammeln, erheben und interpretieren Daten. Die Gewinnung aussagekräftiger quantitativer Daten - also letztlich von Zahlen - ist der Kern jeder empirischen Untersuchung.[6] Genau hier kommt die Statistik ins Spiel, versteht sie sich doch als die Wissenschaft von der Sammlung, Zusammenfassung, Analyse und Interpretation von Daten. Ein prototypische Definition geben Efron und Tibshirani (1993: 1):

> Statistical theory attempts to answer three basic questions: (i) How should I collect my data? (ii) How should I analyze and summarize the data I've collected? (iii) How accurate are my data summaries?

Auch viele andere Autoren heben auf einen oder alle diese Aspekte bei ihrer Begriffsbestimmung der Statistik ab. Für eine umfangreiche Sammlung siehe den ersten Abschnitt von Barnett (1999: 1ff) und Box et al. (1968). Versteht man „Daten" in einem weiten Sinn, so muss es sich dabei nicht unbedingt um Zahlen handeln. Bei Daten handelt es sich bei diesem Verständnis um *alle* Informationen, die Auskunft über einen empirischen Sachverhalt geben - seien sie qualitativ oder quantitativ, schriftlich festgehalten oder auch nicht, als Zeichnung, Zahl oder natürlichsprachlich formuliert, präzise oder unpräzise. Entscheidend ist, dass Daten den Kontakt zur Empirie herstellen, es sich also z. B. um einen gelehrten Reisebericht des 19. Jahrhunderts statt um einen fiktiven Roman Jules Vernes' handelt; man es mit einem gemessenen Wert und nicht mit einer beliebigen Zahl innerhalb einer rein mathematischen Rechenaufgabe zu tun hat.[7]

---

ist nicht zu verstehen, ehe man nicht gelernt hat, die Sprache zu verstehen, und die Buchstaben kennt, in denen es geschrieben ist. Es ist in der Sprache der Mathematik geschrieben, und die Buchstaben sind Dreiecke, Kreise und andere geometrische Figuren. Ohne diese Mittel ist es dem Menschen unmöglich, ein einziges Wort davon zu verstehen; ohne sie ist es ein vergebliches Umherirren in einem dunklen Labyrinth." Kurz zusammengefasst heißt es bei Schmutzer und Schütz (1989: 85): „Wer naturwissenschaftliche Fragen ohne Hilfe der Mathematik lösen will, unternimmt Undurchführbares. Man muss messen, was meßbar ist, und meßbar machen, was es nicht ist." Juhos und Schleichert (1966: 10f) verweisen auf einen wichtigen Vorgänger dieser eminenten Ideen, den Renaissance-Philosophen Zabarella und beschreiben Galileis konkrete Vorgehensweise.

[6] Die einzige empirische Wissenschaft, welche sich bislang konsequent gegen diese Einsicht sperrt, ist die Soziologie. Dort dominieren nach wie vor eher prinzipiell-theoretische Überlegungen, Modelle werden typischerweise nicht-mathematisch formuliert und bei der Ausbildung des Nachwuchses spielen quantitative Methoden nur eine untergeordnete Rolle. Man beachte jedoch Lieberson (1985) und die sich auf ihn berufende Literatur. Vor allem in den USA gibt es eine wachsende Gruppe quantitativ arbeitender Gesellschaftswissenschaftler, und auch viele den Wirtschaftswissenschaften nahe stehende Forscher haben keine prinzipiellen Vorbehalte mehr. Ein Blick auf den berühmten Positivismusstreit (Dahms 1994) zeigt, dass dem nicht immer so war.

[7] Will man prägnant den Unterschied zwischen Mathematik und Statistik beschreiben, so kann man sagen, dass sich die Mathematik mit *Zahlen* und darüber hinausgehend logisch in sich stimmigen Strukturen beschäftigt, während es in der Statistik um *Daten* geht, also um Zahlen mit empirischer Bedeutung.

So gesehen ist die Mathematik nicht mehr als eine Hilfswissenschaft, mit welcher sich die notierten Zahlen effizient weiterverarbeiten lassen. Genau aus diesem Grund schreibt auch Menges (1982: 15): „Am wichtigsten sind die Daten, das zweitwichtigste ist die jeweilige Sachtheorie (z. B. Biologie, Wirtschaftswissenschaften), dann erst kommen die Methoden. Bisher hat man in der Statistik die Methoden überbewertet.“

Zahlen und mathematische Methoden, gerne *quantitativ* genannt, haben jedoch den unschätzbaren Vorteil, *präzise* zu sein. Sie sind sogar in vielerlei Hinsicht exakt:

1. In sich unscharfe verbale Aussagen werden durch Zahlenangaben zumindest ergänzt. (Man blickt also bildlich gesprochen durch eine viel schärfere Brille.)
2. Man kann Effekte, insbesondere auch bei der Beobachtung auftretende Fehler, quantifizieren.
3. Das gesamte methodische Instrumentarium der Mathematik wird nutzbar, welches von numerischen Berechnungen über symbolische Umformungen bis hin zu vollständig formalisierten Theorien reicht.
4. Vorhersagen werden messbar. Dadurch lassen sie sich leichter prüfen.
5. Der innere Aufbau von Theorien wie auch deren Formulierung sowie die Datenerhebung werden stringenter und damit sowohl einfacher als auch transparenter.
6. Experimente lassen sich gezielter und mit größerer Genauigkeit durchführen.
7. Es lassen sich logisch exakte Folgerungen ableiten.
8. Widersprüche und Artefakte aller Art werden erheblich leichter aufdeckbar.[8]

Die Geschichte der Statistik selbst liefert einen anschaulichen Beleg für die Überlegenheit quantitativer Methoden. Im Rahmen der sogenannten *Universitätsstatistik*[9] wurde mehrere Jahrzehnte, wenn nicht sogar Jahrhunderte lange dezidiert nicht-quantitativ gearbeitet. Menges (1982: 5) beschreibt die Folgen: „Die Universitätsstatistik war deskriptiv orientiert, die Politische Arithmetik analytisch; die Universitätsstatistik begnügte sich mit ungenauen Angaben, die Politische Arithmetik strebte nach Exaktheit; die Universitätsstatistik verwandte nur gelegentlich Zahlenangaben, die Politische Arithmetik basierte auf Zahlen; die Universitätsstatistik war eine Kathederlehre, die Politische Arithmetik kam aus der Praxis.“ Daraus schließt er: „Konfrontiert man diese Gegensätze mit dem Stil moderner Wissenschaftlichkeit, so erkennt man

[8] Feynman (2007: 54) fasst viele der von uns genannten Gründe wie folgt zusammen: „[...] Mathematik ist eben *nicht* allein eine andere Sprache. Mathematik ist eine Sprache plus Schlussfolgerungen; sie ist gleichsam eine Sprache plus Logik. Mathematik ist ein Werkzeug, um Schlüsse zu ziehen. Sie ist eine gewaltige Sammlung logischer Denkresultate.“ (Hervorhebung im Original)

[9] Etwa ab dem Jahr 1600, siehe z. B. Menges (1982: Kapitel 1; 2. Abschnitt).

die historische Überlegenheit der Politischen Arithmetik [...]" Sogar der Name *Statistik* wurde von der Politischen Arithmetik „usurpiert".[10] Auch Kelvin (1891: 80f), zitiert nach Michell (2003b: 7), schreibt völlig unzweideutig:

> In physical science a first essential step in the direction of learning any subject is to find principles of numerical reckoning and methods for practicably measuring some quality connected with it. I often say that when you can measure what you are speaking about and express it in numbers you know something about it; but when you cannot measure it, when you cannot express it in numbers, your knowledge is of a meagre and unsatisfactory kind; it may be the beginning of knowledge, but you have scarcely in your thoughts advanced to the stage of science, whatever the matter may be.

Nun gibt es nicht nur quantitative Methoden, sondern auch in mathematischer Sprache formulierte Theorien, insbesondere in den besonders weit entwickelten und zugleich besonders erfolgreichen Wissenschaften. Man kann die Physik seit Newton nur verstehen, wenn man in der Lage ist, die von ihr verwendete Mathematik zumindest nachzuvollziehen. Physikalische Theorien sind untrennbar mit der Mathematik verwachsen, jeder Versuch, ihre Begriffe und Strukturen umgangssprachlich zu fassen oder auch nur zu erläutern führt unweigerlich zu einem substanziellen Verlust. Häufig wurde mathematische Theorie sogar für einen bestimmtes Feld entwickelt. Was ist der Grund dieser „unvergleichlichen Leistungsfähigkeit der Mathematik in den Naturwissenschaften?"[11] Zumindest folgende Gründe sind zu nennen:

1. Präzision: Mathematische Begriffe erlauben es, sich exakt auszudrücken. Man kann auch subtilen Unterschieden gerecht werden.
2. Klarheit: Zahlen - aber auch alle anderen Begriffe der Mathematik - sind völlig unzweideutig. Es ist klar, was sie bedeuten. (Semantischer Vorteil)
3. Transparenz: Axiome legen den Rahmen fest, innerhalb dessen man sich bewegt. Deshalb sind auch sämtliche mit ihrer Hilfe errichteten mathematischen Strukturen völlig transparent. Logische Fehler lassen sich leichter aufspüren, als bei (in sich unscharfen) verbalen Formulierungen.
4. Verbindlichkeit: Die Axiome, und nichts sonst, bestimmen die Regeln. Da sie für alle Forscher gleich sind, folgt auch sofort intersubjektive Verbindlichkeit.
5. Strenge: Die Sprache der Mathematik ist logisch-streng. Dies gibt dem ganzen Projekt einen festen Halt. (Syntaktischer Vorteil)
6. Monotonie: Mathematische Ergebnisse bleiben gültig, egal wie sich verbale Diskussionen entwickeln, d.h., mathematisch tradiertes Wissen erodiert nicht.[12]

[10] Für viele weitere Details siehe Sheynin (1977: 216-231, 255).

[11] Siehe den berühmten Beitrag von Wigner (1960), der sogar von einer *unreasonable effectiveness* spricht.

[12] Das Gegenteil ist sogar der Fall: Neue Einsichten können sich problemlos an die tradierten Gewissheiten anlagern oder diese verallgemeinern. Mathematische Strenge und Systematik sorgen zudem ganz automatisch für Ordnung.

7. Konstruktion: Mathematische Kritik ist konstruktive Kritik. Zumeist trägt sie zur Problemlösung aktiv bei, indem sie ein Begriffsgebäude bereitstellt, aus dem hervorgeht, wie etwas funktioniert.[13]
8. Kalkül: Last but not least ermöglicht es die Mathematik, logisch-strenge Schlussfolgerungen zu ziehen, insbesondere kann man, ausgehend von bestimmten Voraussetzungen, etwaige Folgen berechnen.[14]

Alle wirklich großen Philosophen und Naturwissenschaftler waren derselben Ansicht. Bei Galilei begann unsere Diskussion. Einige weitere, sehr klare Beispiele mögen genügen:[15]

Leonardo da Vinci (1452-1519): „Wer die erhabene Weisheit der Mathematik tadelt, nährt sich von Verwirrung."

Newtons Hauptwerk (1687) heißt *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* und er schreibt im Vorwort:[16] "[...] the moderns, rejecting substantial forms and occult qualities, have endeavored to subject the phenomena of nature to the laws of mathematics, I have in this treatise cultivated mathematics as far as it relates to philosophy [science] ... and therefore I offer this work as the mathematical principles of philosophy [...]"

Kant (1786: 14): „Ich behaupte aber, daß in jeder besonderen Naturlehre nur so viel eigentliche Wissenschaft angetroffen werden könne, als darin Mathematik anzutreffen ist."

Einstein (1953): "Development of Western science is based on two great achievements: the invention of the formal logical system (in Euclidean geometry) by the Greek philosophers, and the discovery of the possibility to find out causal relationships by systematic experiment (during the Renaissance)."

Tukey (1969: 728): "Bear in mind a simple fact: the great majority of the useful facts that physics has learned - and recorded in numbers - are specific

---

[13] Oftmals lässt sich daraus sofort ein konkreter Bauplan für die konkrete Situation gewinnen, zuweilen sogar logisch-streng ableiten.

[14] Wirtz (2007) schreibt sehr schön: „Wozu braucht der Ingenieur, Techniker oder Architekt Mathematik? [...] Merke: Mathematik ist die Sprache der exakten Naturwissenschaften und damit der Technik. Auf sie baut die Technik Effizienz und Sicherheit in komplexeren Situationen. Durch sie unterscheidet sich der Ingenieur vom Handwerker. Als Sprache der exakten Wissenschaften ist Mathematik Bedingung für interdisziplinäres Arbeiten wie auch für die Wissenskommunikation (speziell das Lesen von Fachliteratur oder Normen). Dem Ingenieur obliegt traditionell die technische Leitaufgabe: Als ‚Kopfwerker' dient er dem Handwerker - und nicht als tabellenkonsumierende oder ‚stuhlwärmende', marktschreiende Hilfskraft, der alles mangels Grundlagenkenntnissen noch erklärt werden muss, die mangels fundierten Einsichten für zentrale Anliegen nur lückenhaft Verständnis aufbringen kann und die sich auf das Vertrauen in die übernommene 'black box' stützen muss, so letztlich dem Zufall ausgeliefert statt auf Berechnungen gestützt. Ein Ingenieur muss seiner Aufgabe gewachsen sein, die übernommene Verantwortung bezüglich Sicherheit und Effizienz in allen Aspekten überprüfbar zu tragen - und nicht nur referenzbasiert mit Hilfe der Krücke von Verweisen."

[15] Für viele weitere Beispiele siehe Michell (2000).

[16] Siehe Kline (1980: 54)

and detailed, not global and general. The qualitative properties of *things* have proved much less important than the quantitative ones.”[17]

Feynman (2007: 74f): „Die Physik läßt sich in keine andere Sprache [als jene der Mathematik] übersetzen. Wenn Sie etwas über die Natur erfahren, sich ein Bild von ihr machen wollen, müssen Sie sich der Sprache bedienen, die sie spricht. Sie gibt ihr Geheimnis nur in einer Form preis [... Zuweilen stellt man einfach] eine Gleichung auf und hat damit das Gesetz entdeckt - allem Anschein nach eine recht effektive Methode, die einmal mehr beweist, wie gut sich die Mathematik eignet, die Tiefen der Natur auszuloten. Dagegen können alle Versuche, sie durch philosophische Prinzipien zu erfassen oder durch die Einbildung, sich auszudenken, einpacken.“

Hilbert (1930): „Die Mathematik ist das Instrument, welches die Vermittlung bewirkt zwischen Theorie und Praxis, zwischen Denken und Beobachten: sie baut die verbindende Brücke und gestaltet sie immer tragfähiger. [...] Wir beherrschen nicht eher eine naturwissenschaftliche Theorie, als bis wir ihren mathematischen Kern herausgeschält und völlig enthüllt haben. Ohne Mathematik ist die heutige Astronomie und Physik unmöglich; diese Wissenschaften lösen sich in ihren theoretischen Teilen geradezu in Mathematik auf.“

Bei einer so verstandenen „angewandten“ Mathematik handelt es sich also nicht um irgendeine randständige Hilfstätigkeit, die man im Prinzip auch anders ausführen oder gar vernachlässigen könnte. Ganz im Gegenteil: Bei einer mathematisch formulierten empirischen Theorie, handelt es sich um nicht weniger als um das *kristallisierte Verständnis* realer Sachverhalte - streng, deduktiv aus Prinzipien hergeleitet, komprimiert, verbindlich und unmittelbar konstruktiv verwertbar. Dies hat Rényi (1972) in seinen Dialogen meisterhaft zum Ausdruck gebracht und dem entsprechend sagt der häufig zitierte David-Report (1984): „Hochtechnologie ist im Wesentlichen mathematische Technologie!“ Lassen wir einem Philosophen in dieser Angelegenheit das letzte Wort:

> Die Vorteile der quantitativen Sprache sind so augenscheinlich, daß man sich wundern muß, warum so viele Philosophen ihren Gebrauch in den Wissenschaften kritisiert haben. (Carnap 1982: 118)

Wissenschaftstheorie, -forschung und Statistik

Was bedeutet dies alles für die von uns angestrebte Untersuchung der Grundlagen der Statistik? Geht man von der eher allgemein-philosophisch vagen

---

[17] Hervorhebung im Original, da Tukey programmatisch fortfährt: “Why should this not hold true for people? I believe that just this will prove to be so, but not without much effort. Even if the task is hard, is it not past time to begin, especially in selected, more or less well-understood, subfields?” Noch prägnanter sagt Thorndike (1918: 16), zitiert nach Michell (2000: 655): “Whatever exists at all exists in some amount. To know it thoroughly involves knowing its quantity.”

Erkenntnistheorie zu den schärfer umrissenen Problemen der Wissenschaftstheorie über, so ergibt sich ein erster Zugewinn an Präzision. Geht man den Schritt zur Wissenschaftsforschung, so gewinnt man zusätzlich die empirische Ausrichtung. Geht man schließlich einen weiteren Schritt zur Statistik, so erschließt man sich den Vorteil quantitativer und mathematisch-exakter Argumente.

(Quantitative) Wissenschaftsforschung und (empirische) Statistik sind jedoch keine Gegensätze. Der Unterschied liegt vor allem in ihrer Positionierung: Die Wissenschaftsforschung erhebt sich als Metawissenschaft über den Einzelwissenschaften und versucht gewissermaßen aus der *Vogelperspektive* die Quintessenz von Forschung zu erspähen.[18] Die Statistik betrachtet den Prozess der Erkenntnisgewinnung hingegen aus der *Froschperspektive.* Zwischen der wissenschaftlichen Theorie „oben" und dem empirischen Grund „unten" liegen die Daten, auf die sich jede empirische Wissenschaft maßgeblich stützt. Wie wir festgestellt haben, ist genau deren Erhebung, Analyse und Interpretation das Feld der Statistik. Einige Autoren bringen sogar den engen Zusammenhang zwischen Wissenschaftstheorie und Statistik explizit zum Ausdruck, etwa Hand (1998a: 245): Statistics [is] a scientific method or *applied* philosophy of science.[19] Buja (2006: 329) führt dies aus:

> Indeed, similar to the way the natural sciences replaced what was formerly the 'philosophy of nature', statistics appropriated topics that used to belong to 'epistemology'. Again similar to the natural sciences, statistics developed some aspects of epistemology beyond anything that philosophers of the past could have anticipated. In as far as the business of statistics [is] to ponder the question 'how is it possible to extract knowledge from empirical observations?,' our field is the legitimate inheritor of the quantifiable aspects of epistemology.

Das heißt, es geht bei einer Philosophie der Statistik bei weitem nicht nur um eine (weitere) spezielle Wissenschaftstheorie. Im Gegenteil: Die Fundamente der Statistik sind deshalb von besonderer Bedeutung, weil sich in ihrem exakten Rahmen allgemeine erkenntnistheoretische Probleme klären lassen.

Alle empirischen Wissenschaften, aber auch die Wissenschaftsforschung, -theorie und darüber hinausgehend die allgemeine Erkenntnistheorie bauen auf Fakten und Daten auf bzw. beschäftigen sich mit dem Gewinn von Erkenntnissen. Versteht man nun den erfolgreichen Erkenntnisprozess der Naturwissenschaften und insbesondere deren Art und Weise, mit Daten umzugehen, so sollten sich allgemeine Rückschlüsse ziehen lassen. Statistische Verfahren, Theorien und Schlussweisen können also als quantitative Modelle einer allgemeinen Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie dienen. *Statistik ist Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie im Kleinen und im Exakten.* Poetischer formuliert: In der Statistik trifft sich die Tiefe der Philosophie mit der Schärfe der Mathematik zu einem „empirischen Stelldichein."

[18] Dabei lädt ein Instrument wie der *Science Citation Index* zu statistischen, quantitativen Untersuchungen geradezu ein!

[19] Meine Hervorhebung, siehe hierzu auch die gleichlautenden Bemerkungen von Dawid, S. 124.

Dieses „Rendezvous“ ist nicht ohne Folgen geblieben. Aus Anlass der 150-Jahr-Feier der Royal Statistical Society bemerkte einer der beiden geladenen Festredner:

> We face continuing controversy and disagreement within our own ranks concerning the deepest of all issues which we claim as our own, the methodology of scientific inference. This is not a matter which we can safely ignore. If statistics is to be more than playing with numbers, it must address itself to the basic questions of the nature of the conclusions which the mind is entitled to draw from the numbers and the so-clever analyses of them that we as statisticians devise.
>
> These questions are not new, indeed they are among the very oldest that man has chosen to set before himself, and it is possible to feel that little enough progress has been made towards answering them in a period of 2000-3000 years. I think that we can justifiably claim that, during the last 150 years, more light has been shed on them by statisticians than by followers of other disciplines, whether scientific of philosophical. Many of the most difficult problems of epistemology have been illuminated by statistical thinking, and many current discussions of the scientific method would be more productive if they took on board the conceptual innovations which we are accustomed to associate with the names of Fisher, Savage or Birnbaum - to mention only some who are no longer with us. (Healy 1984)

1.2 Abbildung der Realität

> Thought is primarily practical; and only in the second place theoretical [...] without theory there would only be a few rudimentary types of practice, but without practice there would be no theory at all. (Collingwood 1942)

Alle wirklich realistischen Positionen in der Erkenntnistheorie gehen davon aus, dass die äußere Wirklichkeit von einem erkennenden Subjekt (mehr oder minder zuverlässig) wahrgenommen werden kann. Zudem wird die Realität typischerweise als sehr unabhängig vom Subjekt angenommen. Die projektive Erkenntnistheorie (siehe z. B. Vollmer (1995a: Kapitel 5)) formalisiert diese Idee. Dabei orientiert sie sich an der Abbildung bzw. Projektion ($\Rightarrow$) eines Objektes auf einen Schirm:

$$\text{Objekt} \Longrightarrow \text{Bild} \subseteq \text{Schirm} \tag{1.1}$$

und formuliert das folgende erkenntnistheoretische Modell:[20]

$$\text{Reale Welt} \Longrightarrow \text{Empfindung / Wahrnehmung} \subseteq \text{Erkenntnisapparatur} \tag{1.2}$$

Man beachte, dass hierbei Welt und Projektion (das Signal und die Signalverarbeitung) „objektiv“ sein sollen, während Bild und Erkenntnisapparatur zum wahrnehmenden Subjekt gehören. Einfluss auf die subjektiv wahrgenommene Empfindung haben also drei Komponenten:

[20] Siehe insbesondere Vollmer (1994: 122ff)

1. Das abgebildete Objekt bzw. die reale Welt
2. Die Projektion, also die Abbildungsvorschrift
3. Die Struktur des Schirmes bzw. des Wahrnehmungsapparates

Vollmer schreibt hierzu (Hervorhebung im Original):

> Kennt man diese drei Bestimmungsstücke, so kann man das Bild bestimmen (konstruieren). Das Bild wird dabei nicht in allen Zügen mit dem Original übereinstimmen. Es bleibt jedoch immer eine gewisse *partielle Isomorphie* bestehen. Kennt man nur das Bild, so kann man deshalb „umgekehrt“ versuchen, aufgrund von Annahmen (Hypothesen!) über den eigentlichen Gegenstand, den Projektionsmechanismus und den Aufnahmeschirm das Bild zu „erklären“. Auf diese Weise ist es möglich, aus dem Bild hypothetische (!) Informationen über das projizierte Objekt zu gewinnen.

Das gerade aufgestellte Modell der subjektiven Erkenntnis ist sehr natürlich. Im wesentlichen stellt es die Gemeinsamkeiten fast aller realistischen Theorien unserer Erkenntnis anschaulich dar. Es gibt eine (äußere) Welt mit Objekten. Diese werden (zuweilen) auf unsere subjektive Welt abgebildet, wo wir sie als Sinneseindruck bzw. Empfindung wahrnehmen. Fast alle in der Erkenntnistheorie vorherrschenden realistischen Auffassung teilen diese Ansicht. Sie differieren jedoch im Ausmaß der „partiellen Isomorphie“. Während ein naiver Realist das Wort „partiell“ einfach streichen könnte, investieren kritischere Formen des Realismus viel Aufwand in die Frage, was unter „partiell“ genau zu verstehen ist.

Bereits das Wort *Projektion* ist unscharf und stellt eine Einschränkung dar. Bei der Mercator-, Peters-, Behrmann- und anderen in der Geodäsie gebräuchlichen Projektionen wird der dreidimensionale Globus auf eine zweidimensionale Karte abgebildet. Diese speziellen Abbildungsvorschriften verallgemeinert man in der sogenannten projektiven Geometrie zu einer Gruppe zulässiger Transformationen.[21] Häufig versteht man in der Mathematik jedoch unter Projektionen auch einfach Abbildungen, welche höherdimensionale Räume in Räume mit niedrigerer Dimension überführen, insbesondere wenn man aus einem n-dimensionalen Vektor $(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ gewisse der Komponenten, etwa (x_1, x_2), „ausliest.“ Versucht man diese Unschärfe zu umgehen und spricht stattdessen einfach von einer Abbildungstheorie der Erkenntnis, so ist das zwar genauer, stellt aber immer noch eine Einschränkung dar. Zum einen gibt es neben den Abbildungen im engen mathematischen Sinne noch allgemeinere Möglichkeiten, Realität und Empfindung in Relation zu setzen. Zum anderen werden - empirisch gesehen - im Allgemeinen zwei verschiedene Bilder von unseren Augen wahrgenommen, so dass offensichtlich erst eine konstruktive Leistung unseres Gehirn diese wieder zu einer Empfindung zusammensetzt.

Noch an anderen Stellen bleibt das Modell vage. Zum Beispiel beschreibt es nur ungenau, wie der Übergang von (objektiver) äußerer Welt zu (subjektiver) Empfindung erfolgt. Es wird auch nicht erläutert, welche Eigenschaften des Objektes von uns überhaupt wahrgenommen werden können (hierauf gibt

[21] Für eine klassische Darstellung siehe z. B. Courant und Robbins (2001: Kapitel IV, §2).

allerdings die evolutionäre Erkenntnistheorie eine sehr plausible Antwort).[22] Schließlich bleibt ganz entscheidend offen, wie sich denn aus der Kombination aller Informationen im wahrgenommenen Objekt die jeweiligen Einflüsse von Objekt, Projektion und Wahrnehmungsapparat *isolieren* lassen. Zur Empfindung tragen ja alle drei Komponenten etwas bei. Wie kann man aus der Mischung aller dieser Einflüsse die einzelnen Beiträge zurückgewinnen?

Hierzu ein kleines statistisches Modell: Das Objekt A werde auf die Erkenntnisapparatur B abgebildet. Die Abbildung entspreche gerade einer „Multiplikation", welche zur Empfindung C führe. In einer Gleichung: $C = A \cdot B$. Wenn man nun nur C kennt, ist man nicht in der Lage, auf A oder B zurückzuschließen. Man sagt dann, dass A und B nicht identifizierbar seien. Die Situation ist unterbestimmt, weshalb man nicht zwingend von C auf A schließen kann. Nur unter zusätzlichen Annahmen, z. B. dass B positiv ist, lässt sich aus der Kenntnis von C genaueres über A sagen. Ist z. B. das beobachtete C negativ, so muss auch $A < 0$ sein.

1.3 Empirische Wissenschaften

> The statistician cannot excuse himself from the duty of getting his head clear on the principles of scientific inference, but equally no other thinking man can avoid a like obligation. (Fisher 1966: 2)

Die empirischen Wissenschaften gehen im Prinzip ebenfalls von Modell (1.1) aus. Ein empirischer Sachverhalt, eine Struktur, ein Objekt wird beobachtet, und das Ergebnis sind gewisse Daten. Damit steht auch die Wissenschaft vor demselben erkenntnistheoretischen Grundproblem: Wie lassen sich - aufgrund der zur Verfügung stehenden Daten - Abbildung und Objekt trennen bzw. wie unterscheidet man zwischen den Eigenschaften der Abbildung und des Objekts?

1.3.1 Subjektunabhängigkeit

Die Situation ist insofern einfacher, weil man - anders als in der Erkenntnistheorie - in den meisten Fällen vom erkennenden Subjekt absehen kann. Der in der Erkenntnistheorie immer sehr problematische Übergang von objektiven

[22] Eine Präzisierung des Modells findet sich in Saint-Mont (2000: 36-64). Dort wird zum einen Shannons Theorie der Signalübertragung, welche zwischen Signal und Fehler unterscheidet, verwendet. Zudem wird diskutiert, dass nur ein Teil der im Prinzip vorhandenen Informationen beim Subjekt ankommt (Selektionseffekte) und schließlich wird argumentiert, dass das Subjekt die empfangenen Informationen noch (in einem Kontext) interpretieren muss. Ein anderer Versuch der Präzisierung mithilfe der modernen mathematischen Abbildungstheorie ist Saint-Mont (2000), Anhang A.

Fakten zu subjektiven Anschauungen entfällt, da die Daten - z. B. notiert in einem Labortagebuch, einer elektronischen Datei oder aber auch einem wissenschaftlichen „Paper“ - genauso *objektiv* wie die anderen Komponenten des Modells sind.

Handelt es sich bei den Ergebnissen um Zahlen, so hat dies einen weiteren Vorteil. Der „Schirm“ ist dann nämlich streng genommen die gesamte *Mathematik*. Alle empirischen Strukturen, die sich in Form von Zahlen und deren Beziehungen abbilden, können mit den genauso exakten wie umfangreichen Methoden der Mathematik analysiert werden. Dies ist ein immenser Vorteil gegenüber vagen Anschauungen oder gar einer subjektiven Empfindung! Intersubjektive Verbindlichkeit, sowohl was die Daten als auch was die Ergebnisse der numerischen Analyse anbelangt, wird so möglich. Auch sehr große Datenmengen können bequem gespeichert und ausgewertet werden, wobei die Präzision lediglich von der Güte der Messung, also der Genauigkeit der Übertragung von der empirischen Welt auf den uns zur Verfügung stehenden Datenträger abhängt. Das Grundmodell nimmt somit für die empirischen Wissenschaften die folgende Gestalt an:

$$\text{Empirische Struktur} \Longrightarrow \text{Daten} \subseteq \text{Mathematik} \tag{1.3}$$

Das Potenzial dieser Art der Aufzeichnung und Auswertung von Informationen ist immens. Zum ersten demonstrieren zahlreiche Naturwissenschaften, dass äußerst aussagekräftige Daten gewonnen werden können. Zum zweiten ist die Mathematik der einzige Bereich unserer Erkenntnis mit sicherem Wissen,[23] und es lassen sich alle zuvor genannten Vorzüge der Mathematik ausspielen. Zum dritten ist aufgrund der Theorie der Berechenbarkeit (Turing 1936) sichergestellt, dass unsere Computer - Universalrechenmaschinen - aus Daten im Prinzip alles berechnen können, was überhaupt sinnvollerweise berechenbar genannt werden kann.

Auch hier wäre es wünschenswert, die „Projektion“ ($\Rightarrow$) präziser zu beschreiben. Wie man sich leicht klar macht, handelt es sich im einfachsten Fall um eine Beobachtung ohne weitere Hilfsmittel, etwa wenn ein Arzt zählt, wie oft das Herz eines Patienten pro Minute schlägt, oder ein Astronom mit dem „unbewaffneten Auge“ die Positionen von Sternen bestimmt. Im Allgemeinen wird man den Übergang von realer Welt in das Universum der formalen Strukturen als *Messung* bezeichnen, an der auch mehr oder minder sophistizierte Instrumente beteiligt sein können. Den Extremfall stellen womöglich die tonnenschweren Detektoren der Teilchenphysiker oder die riesigen Teleskope der Astronomen dar. Wie auch immer die Details im konkreten Fall aussehen - Der zentrale Punkt ist, dass bei einer Messung eine reale Gegebenheit oder Struktur in Zahlen und formale Zusammenhänge überführt wird.

[23] Dem Autor ist bewusst, dass nicht jeder zeitgenössische Philosoph diese Ansicht teilt, siehe Kline (1980) und Zimmermann (1995). Der Leser, dem der Begriff „sicher“ zu weitgehend ist, wähle stattdessen die schwächere, aber wohl unstrittige Formulierung „Mathematische Erkenntnisse sind die sicherste Art von Wissen, die der Mensch kennt.“

Genau das ist auch die mittlerweile klassische und sehr weite Definition von Stevens (1951: 29): “The most liberal and useful definition of measurement is the assignment of numerals to things so as to represent facts and conventions about them.”

1.3.2 Replikation

Die Ergebnisse eines einzelnen Experiments, einer isolierten Untersuchung oder Studie sind in den seltensten Fällen für sich genommen überzeugend. Der Grund ist ebenfalls in Modell (1.1) bzw. (1.3) zu erblicken: Untersucht man einen Sachverhalt nur ein einziges Mal, so vermengen sich im Ergebnis überdauernde, permanente Effekte und spezifische Faktoren. Beide determinieren das Ergebnis, doch sind die einen vorübergehend oder der speziellen Situation geschuldet, und damit letztlich unerheblich, während die anderen über das konkrete Experiment hinaus stabil und von erheblicher Bedeutung sein können. Zudem können sich bei einer einzelnen Untersuchung leicht Fehler einschleichen. Bei einem beobachteten Effekt könnte es sich schon deswegen schlicht um ein Artefakt handeln, der auf „glücklichen“ Umständen, Messungenauigkeiten oder aber auch Auswertungsfehlern beruht. Umso mehr drängt sich die Frage auf, wie man im Prinzip zwischen Wesentlichem und Unwesentlichem, Objekt und Abbildung, Struktur und Zufall bzw. Stabilem und Vorübergehendem unterscheiden kann.

Replikation lautet die ganz zentrale, konstruktive Antwort der empirischen Forschung:

> Replication on fresh data, preferably by another group of experimenters, is a mainstay of ‘the scientific method.’ (Diaconis 2006: 18)[24]

Wenn sich ein Ergebnis zuverlässig reproduzieren lässt, so ist ein wesentlicher „realer“ Einfluss auf Dauer weit plausibler als eine fortgesetzte „Glückssträhne“, also spezifische und sich zugleich ständig ändernde Faktoren, die das Resultat ebenfalls beeinflussen. Tritt ein Effekt immer wieder auf oder lässt er sich sogar gezielt herbeiführen, so wird man ihn kaum auf ständig wirksame Störfaktoren, Messfehler oder gar Wahrnehmungstäuschungen zurückführen können. Ist er darüber hinaus interessant, so tut man sogar gut daran, ihn genauer zu untersuchen.

Bei potenziell wichtigen Resultaten bedeutet das in aller Regel, dass andere Forscher versuchen werden, ein Ergebnis mit ihren Mitteln zu replizieren. Nicht immer ist dies ganz einfach. Zum Beispiel gab es jahrhundertelange

[24] Für eine Sammlung ähnlich griffiger Zitate siehe Falk (1998: 313ff) und die S. 384 genannte Literatur. Judson (2004) wirft einen kritischen Blick auf die aktuelle Wissenschaftspraxis, bei der nur allzu oft auf die Replikation von Ergebnissen verzichtet wird. (Siehe S. 553.)

sehr glaubwürdige Berichte über Kugelblitze. Viele, auch naturwissenschaftlich geschulte und sehr kritische Beobachter bezeugten, dass sie Kugelblitze gesehen hätten. Allein, es gelang nie, diese Objekte unter kontrollierbaren Umständen zu erzeugen, geschweige denn eingehend zu studieren. So führte der Kugelblitz ein Dasein am Rande der Wissenschaft, ähnlich wie die Homöopathie, die Parapsychologie oder die Astrologie. Dies könnte sich nun geändert haben, da vor kurzem brasilianische Wissenschaftler ein nachvollziehbares Verfahren angegeben haben, mit dem sich Kugelblitze zuverlässig erzeugen lassen (siehe Muir (2007)).

Zweifelsfreie Replikation ist notwendig für einen potenziell beachtenswerten wissenschaftlichen Effekt, denn lässt sich eine interessante Beobachtung nicht replizieren, so wird ihn die Fachwelt kaum ernst nehmen. In der Physik spricht man dann von einem *okkulten Effekt*, den man auf unbekannte Faktoren, zufällige Randbedingungen, Fehler oder sonstige unwesentliche Umstände zurückführt. Man denke an die Parapsychologie: Seit Jahrzehnten wird behauptet, es gäbe einschlägige Effekte wie Hellsehen, Psychokinese oder außersinnliche Wahrnehmung. In sorgfältig kontrollierten Experimenten konnten diese jedoch nie dingfest gemacht werden. Zusammengefasst heißt das:

> Substantive replication is required by science in order to help ensure objectivity. (Guttman 1985: 9)

1.3.3 Wechsel der Perspektive

Replizieren heißt wiederholen, womit sich vorübergehende Fluktuationen von permanenten Effekten unterscheiden lassen sollten. Ein Blick auf Modell (1.1) bzw. (1.3) zeigt, dass die Replikation jedoch das Grundproblem nicht vollständig löst. Selbst wenn alle Wiederholungen erfolgreich sind, also von einem ernstzunehmenden Effekt gesprochen werden kann, so sind die Daten doch noch immer vom Objekt als auch seiner speziellen Abbildung, z. B. dem konkreten Messinstrument, abhängig. In den Daten vermengen sich nach wie vor die Einflüsse von realem Objekt und Messvorgang, von Abzubildendem und der vom Beobachter eingenommenen Perspektive, wie auch das obige „statistische Modell“ verdeutlicht.

Systematische Variation ist die zentrale, konstruktive Antwort der empirischen Forschung an dieser Stelle. Man muss die Perspektive systematisch verändern, um zwischen (den Eigenschaften von) Objekt und Abbildung unterscheiden zu können. Das läuft darauf hinaus, ein und dieselbe Sache mit verschiedenen Instrumenten, einer anderen Messmethode, in einem externen Labor, unter anderen Randbedingungen, zu beobachten. Zielt die Replikation eines Ergebnisses primär darauf ab, einen Effekt überhaupt erst zweifelsfrei zu fassen, ihn sozusagen zu fixieren, möchte man mit der „Variation der Situation“ so genau wie möglich zwischen all’ jenen Faktoren trennen, die auf äußere

Einflüsse zurückzuführen sind und jenen Eigenschaften, die auf das Objekt selbst zurückgehen. Wie wir schon deutlich gemacht haben, ist man an letzteren weit mehr interessiert als an ersteren. Man möchte einen Aspekt der Welt besser verstehen - die Instrumente und Methoden sind hingegen letztlich nur geeignete Hilfsmittel. Selbstverständlich ist es auch nötig, deren Verhalten zu kennen, die Erhebungsverfahren und Messmethoden zu begreifen, doch lediglich, um zum Kern der Angelegenheit - der Realität - vorzustoßen.

Die grundlegende Entscheidungsregel ist, völlig analog zur Replikation, auch hier ganz einfach: Alle Eigenschaften, die sich bei einer Variation der Situation, also bei einem Wechsel der Perspektive, nicht verändern, sozusagen „innert“ bleiben, sollten als Eigenschaften des untersuchten Objekts betrachtet werden, während alle Merkmale, die sich mit der Situation verändern, spezifisch für die Situation sind, von dieser zumindest (in gewissem Maße) abhängen und damit nicht zum eigentlich interessierenden Objekt gehörig.

Im einfachsten, aber typischen Fall entdeckt man unter speziellen Umständen, vielleicht sogar einem einmaligen Entdeckungszusammenhang, auf jeden Fall aber unter einer ganz bestimmten Perspektive, ein neues Phänomen. Erfolgreiche Replikationen zeigen, dass das Phänomen nicht okkult ist. Variiert man die Bedingungen mehrfach und bleibt es dabei stabil, so hat man es isoliert. Dies gilt erst recht, wenn man schließlich zu einem interessanten Phänomen gerade die Klasse all jener Situationen angeben kann, in denen es sich zeigt. Man kann auch von einer *Generalisierung* sprechen, da es gelungen ist, von einer einzigartigen, konkreten Situation auf eine ganze Reihe von Beobachtungszusammenhängen überzugehen, in denen die gemachte Entdeckung von Bedeutung ist. Das mag sich hier noch trivial anhören, doch ist gerade die Generalisierung eine der wichtigsten Antriebsfedern wissenschaftlichen Fortschritts.

Der Schluss von den Daten auf die Struktur in der realen Welt ist natürlich immer hypothetisch. Bei der soeben skizzierten Strategie handelt es sich ja um nicht mehr als eine sehr nahe liegende und oftmals erfolgreiche Heuristik, um den Einfluss von Objekt und Instrument auseinander zu halten. Diese Strategie der (systematischen) Perspektive-Wechsel funktioniert nicht, wenn sich die Situation gar nicht variieren lässt. Astronomen können z. B. nur den Himmel beobachten, der sich über ihnen erhebt. Häufiger noch ist, dass ein originelles Experiment unter neuen, bislang nicht untersuchten Randbedingungen zeigt, dass eine Eigenschaft eben gerade nicht - wie bislang angenommen - zum Objekt, sondern zur Situation gehört bzw. von dieser wesentlich beeinflusst wird. Einige Beispiele:

1. In der Physik misst man grundlegende Naturkonstanten in ganz verschiedenen Situationen. Die Elementarladung eines Elektrons lässt sich zum Beispiel mithilfe der Bewegung von Elektronen in elektrischen Felder bestimmen, aber auch mithilfe von elektrochemischen Experimenten. Die Tatsache, dass die Elementarladung in allen untersuchten Situationen immer exakt dieselbe ist, lässt sie uns als eine Eigenschaft des Elektrons erscheinen.

2. Ein historisch und philosophisch sehr wichtiges Beispiel ist die Bestimmung der Avogadroschen Zahl (siehe Nye (1972), Perrin (1990)). In den Jahren 1908-1913 maß Perrin die fragliche Größe mit 13 voneinander unabhängigen und völlig verschiedenen Methoden. Im Rahmen der Messungenauigkeit führten alle Messungen zu ein und demselben Wert der fraglichen Zahl.
3. Die Chemie widmet sich dem Studium der Elemente und ihrer Beziehungen. Zu jedem chemischen Element lassen sich lange Listen von Eigenschaften, wie z. B. Atommasse, -Radius, Dichte, Magnetismus, Wärmeleitfähigkeit, Elektronegativität usw. angeben. Schaut man genau hin, so werden bei manchen der vermeintlichen Elementeigenschaften jedoch zusätzliche Bedingungen genannt, welche angeben, in welcher Situation ein bestimmter Wert gültig ist. Von besonderer Bedeutung sind die sogenannten „Standard-“ und „Normalbedingungen“.
4. Die Biologie teil sich im Wesentlichen in zwei „Reiche“. In der Molekular-, Zell- und Entwicklungsbiologie sowie der Physiologie betrachet man den jeweiligen Organismus als solches und seine Entwicklung, also seine Veränderung mit der Zeit. Die Ökologie, Verhaltens- und Evolutionsbiologie beschäftigen sich hingegen ganz spezifisch mit den Wechselwirkungen von Organismus und Situation, also der Umwelt, in der er lebt. Eine spezielle Eigenschaft, z. B. „Agressivität“ wird man einer Art nur dann zuschreiben, wenn sie oft oder sogar unter (nahezu) allen Umweltbedingungen zu beobachten ist.
5. In der Sozialpsychologie ist die Trennung von Umwelt- bzw. Situationsvariablen auf der einen Seite und personenbezogenen Merkmalen auf der anderen Seite von besonderem Interesse. Zum Beispiel ist eine wichtige Frage der Entwicklungspsychologie, inwieweit beobachtete Fähigkeiten auf individuelle Prädispositionen, etwa genetischer Art, zurückzuführen sind und inwieweit sie von Umwelteinflüssen „moduliert“, also beeinflusst werden.[25] Zwillings- und Geschwisterstudien sind genau deshalb besonders wichtig, weil man mit ihrer Hilfe den jeweiligen Einfluss zumindest abschätzen kann. Wer würde nicht von individuellem, angeborendem Talent ausgehen, wenn zwei eineiige Zwillinge, die bei der Geburt getrennt wurden, und in völlig unterschiedlichen sozialen Verhältnissen groß wurden, später genau denselben Beruf ergriffen?
6. Die allgemeine Psychologie, und hier speziell die Intelligenzmessung, liefert ein Beispiel, was geschieht, wenn die Trennung von Objekt und Randbedingungen nicht befriedigend möglich ist. Intelligenz sollte - genauso wie die Körpergröße - eine Eigenschaft des Indivduums sein, egal wie man sie misst. Leider konnte man sich auch nach vielen Jahrzehnten der Intelligenzforschung auf keine allgemein verbindliche Definition einigen. Eher spricht man von vielen Facetten der Intelligenz (z. B. numerisch-mathematischer, sprachlicher, emotionaler, sozialer usw.), die alle zum

[25] Die Biologie spricht völlig analog vom „Phänotyp“, dessen Ausprägung sowohl vom „Genotyp“ als auch von der jeweiligen Umwelt abhängt.